

УДК 54+628+66.017+502/504](06)

ISBN 978-966-695-595-4

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО**

**ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**ALGOL CHEMICALS SIA, RIGA, LATVIA**

**EMO FRITE COMPANY, CELJE, SLOVENIA**

**CM.PROJECT.ING GmbH, GERMANY**

**GOLDEN TILE CERAMIC GROUP**

**ПрАТ «ТРЕСТ ЖИТЛОБУД-1»**

## **МАТЕРІАЛИ**

**МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ ДЛЯ МОЛОДИХ  
ВЧЕНИХ, АСПРАНТІВ ТА МАГІСТРІВ**

**«Бекетівські хімічні читання. Теорія та  
практика кризових ситуацій»**

**Харків – 2023**

УДК 54+628+66.017+502/504](06)

Б42

**Редакційна колегія:**

**Саввова О. В.** – д-р техн. наук, проф. кафедри хімії та інтегрованих технологій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова;

**Гуріна Г. І.** – канд. хім. наук, зав. кафедри хімії та інтегрованих технологій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова;

**Фесенко О. І.** – канд. техн. наук, ст. викладач кафедри хімії та інтегрованих технологій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова;

**Пилипенко О. І.** – канд. техн. наук, доц. кафедри хімії та інтегрованих технологій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова;

**Зайцева І. С.** – канд. хім. наук, доц. кафедри хімії та інтегрованих технологій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова.

Б42

**Бекетівські хімічні читання. Теорія та практика кризових ситуацій :** матеріали Міжнар. конф. для молодих вчених, аспірантів та магістрів, Харків, 7–9 листоп. 2023 р. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, Algol Chemicals SIA (Riga, Latvia), EMO Frite Company (Celje, Slovenia) [та ін. ; редкол.: О. В. Саввова, Г. І. Гуріна, О. І. Фесенко та ін.]. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – 161 с.

ISBN 978-966-695-595-4

У збірнику надруковані матеріали Міжнародної конференції для молодих вчених, аспірантів та магістрів «Бекетівські хімічні читання. Теорія та практика кризових ситуацій», що відбулася 7–9 листопада 2023 року в Харківському національному університеті міського господарства імені О. М. Бекетова. Збірник буде корисним для наукових співробітників, аспірантів та студентів, які цікавляться актуальними питаннями хімії та екології, проблемами розвитку хімічної інженерії, інноваційними дослідженнями у сфері матеріалознавства та нанотехнологій, тенденціями розвитку та вдосконалення виробництв хімічної галузі, вивченням електрохімічних процесів і технологій, питаннями корозійної стійкості конструкційних матеріалів в агресивних середовищах.

УДК 54+628+66.017+502/504](06)

© Колектив авторів, 2023

© Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, 2023

ISBN 978-966-695-595-4

## Організаційний комітет

### Голова оргкомітету

**Бабаєв В. М.**, д-р наук з держ. упр., проф., ректор Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова.

### Заступники голови оргкомітету:

**Сухонос М. К.** – д-р техн. наук, проф., проректор з наукової роботи;

**Старостіна А. Ю.** – канд. техн. наук, доц., начальник науково-дослідної частини;

**Планковський С. І.** – д-р техн. наук, проф., директор навчально-наукового інституту енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури;

**Гуріна Г. І.** – канд. хім. наук, доц., завідувачка кафедри хімії та інтегрованих технологій;

**Савцова О. В.** – д-р техн. наук, проф., професор кафедри хімії та інтегрованих технологій.

### Склад оргкомітету:

**Казиміренко Ю. О.** – д-р техн. наук, проф., професор кафедри матеріалознавства і технології металів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

**Колос Н. М.** – д-р хім. наук, проф., професор кафедри органічної хімії Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (за згодою);

**Корогодська А. М.** – д-р техн. наук, проф., завідувачка кафедри загальної та неорганічної хімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

**Шалигіна О. В.** – канд. техн. наук, доц., представник міжнародної компанії EMO FRITE D.O.O.;

**Гожа М. М.** – інженер проєктів компанії sm.project.ing GmbH, Німеччина;

**Кот А. Г.** – заступник генерального директора з питань розвитку компанії Algol Chemicals SIA Рига, Латвія;

**Грудз В. Я.** – д-р техн. наук, проф., професор кафедри газонафтопроводів та газонафтоосховищ Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

**Дорошенко Я. В.** – д-р техн. наук, проф., професор кафедри газонафтопроводів та газонафтоосховищ Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

**Зайчук О. В.** – д-р техн. наук, проф., проректор Державного вищого навчального закладу «Український державний хімікотехнологічний університет»;

**Луцюк І. В.** – д-р техн. наук, проф., заступник завідувача кафедри хімічної технології силікатів Національного університету «Львівська політехніка»;

**Логвінков С. М.** – д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри технологій і безпеки життєдіяльності Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця;

**Свердліковська О. С.** – д-р хім. наук, проф., професор кафедри технологій палив, полімерних та поліграфічних матеріалів Державного вищого навчального закладу «Український державний хіміко-технологічний університет»;

**Фик М. І.** – д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри видобування нафти, газу та конденсату Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

**Черваков О. В.** – д-р техн. наук, проф. завідувач кафедри технології природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції Державного вищого навчального закладу «Український державний хіміко-технологічний університет»;

**Зайцева І. С.** – канд. хім. наук, доц. кафедри хімії та інтегрованих технологій;

**Пилипенко О. І.** – канд. техн. наук, доц. кафедри хімії та інтегрованих технологій.

*Секретар оргкомітету*

**Фесенко О. І.** – канд. техн. наук, ст. викладач кафедри хімії та інтегрованих технологій.

## **СЕКЦІЯ 1**

# ***ІННОВАЦІЙНІ НАПРЯМКИ РОЗРОБКИ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА МАТЕРІАЛІВ АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ***

УДК 666.3-13+666.762.1

## НАДВИСОКОЧАСТОТНА РАДІОПРОЗОРА КЕРАМІКА КОРДІЄРИТОВОГО СКЛАДУ

**Зайчук Олександр Вікторович,**

доктор технічних наук, професор, професор;

**Амеліна Олександра Андріївна,**

кандидат технічних наук, старша наукова співробітниця, старша дослідниця;

**Гордєєв Юрій Сергійович,**

PhD, старший науковий співробітник;

**Калішенко Юлія Русланівна,**

аспірантка

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

[amelinaalex1@gmail.com](mailto:amelinaalex1@gmail.com)

Відсутність сучасного ракетного озброєння українського виробництва нині спонукає для пошуку різних технологічних рішень для розширення номенклатури зазначених виробів. Одним з таких є розроблення нових матеріалів для носових обтічників літальних апаратів (ЛА), які здатні значно збільшити дальність польоту ракет різних класів. До таких матеріалів висувається комплекс вимог щодо міцності, термостійкості, діелектричних властивостей тощо.

Найбільш перспективними для виробництва носових обтічників ЛА є склокристалічні матеріали кордієритового складу ( $2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$ ), які завдяки низьким ( $(15-25)\cdot 10^{-7}$  град<sup>-1</sup>) значенням температурного коефіцієнту лінійного розширення (ТКЛР) характеризуються високою термічною стійкістю (на рівні 800–1000 °С). Крім того, для кордієриту характерна невисока питома вага 2,50–2,70 г/см<sup>3</sup>, температура деформації  $\geq 1300$  °С, низькі діелектричні втрати, висока механічна міцність і ерозійна стійкість у порівнянні з іншими видами безлужних алюмосилікатних матеріалів [1].

Високий ступінь спікання забезпечує високу стійкість до пилової і дощової ерозії радіопрозорих склокристалічних матеріалів. Щільноспечені склокристалічні матеріали в системі  $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  (MAS) переважно отримують за двома технологіями: класичною скляною і керамічною (порошковою). Обидві технології виготовлення склокристалічних матеріалів передбачають високі температури варіння вихідних стекол (для стекол системи MAS 1550–1600 °С) та мають ряд недоліків.

Скляна технологія вимагає додержання жорстких вимог і обмежень щодо варильних і формувальних властивостей стекол, а також фазового складу

матеріалів і складності форм самих виробів [2]. Суттєвим недоліком порошкової технології одержання склокристалічних матеріалів є складність забезпечення заданих реологічних властивостей і різниця в зерновому складі дисперсної фази водних шлікерів. Це може бути причиною отримання виробів (особливо крупногабаритних) з ділянками різної щільності, що значно ускладнює забезпечення стабільності і відтворюваності фізико-хімічних характеристик виробів [3, 4].

У зв'язку з тим, що температура спікання кордієритової кераміки обмежується порівняно невисокою температурою плавлення кристалічної фази кордієриту ( $1430\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), досягнення високого ступеня спікання кордієритової кераміки, яка отримана традиційним способом, не є можливим. Також утворення до 20 мас. % домішкових фаз, а саме шпінель, муліт, кліноенстатит, в процесі випалу погіршують експлуатаційні властивості кордієритової кераміки.

Таким чином, існуючі технології отримання щільноспечених склокристалічних чи керамічних матеріалів кордієритового складу переважно базуються на високотемпературній тепловій обробці або не забезпечують необхідний рівень фізико-технічних показників. Саме тому проблема створення енергоефективного технологічного прийому при розробці щільноспечених матеріалів кордієритового складу є актуальною. Суть прийому полягає в тому, що частину компонентів кордієритової кераміки вводять за допомогою порівняно легкоплавкого скла евтектичного складу, яке синтезоване в псевдопотрійній системі  $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  (MAS) [5].

Метою досліджень є визначення фізико-хімічних закономірностей формування фазового складу і мікроструктури радіопрозорої кордієритової кераміки в умовах низькотемпературного випалу при введенні частини компонентів за допомогою евтектичного скла псевдопотрійної MAS системи.

Для отримання кордієритової кераміки в якості сировинних матеріалів використовували скло евтектичного складу в псевдопотрійній MAS системі, каолін збагачений марки zgef-1 (Україна), магній гідроксид марки «А3» ( $\text{Mg}(\text{OH})_2 \geq 99$  мас. %), глинозем технічний марки «Г-00» (Україна), шамот кордієритовий та шамот каоліновий. Для варіння MAS-скла використовували тальк марки «5SSW» (Індія), глинозем технічний марки «Г-00» ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 98$ ), кремній діоксид марки «А» ( $\text{SiO}_2 \geq 99,5$  мас. %) та для додаткового зниження температури варіння боратну кислоту ( $\text{H}_3\text{BO}_3 \geq 99,8$  мас. %).

Керамічні шлікери готували методом спільного мокрого помелу сировинних матеріалів в фарфоровому кульовому млині до повного проходження через сито з розміром вічка 63 мкм. З приготовлених шлікерів вологістю 26–27 % відливали зразки в гіпсові форми. Висушені до залишкової

вологості 1 % зразки випалювали в електричній печі в середовищі повітря згідно заданого режиму. Випал зразків проводили за максимальних температур 1250, 1300 і 1350 °С з ізотермічною витримкою на протязі 1 год.

Для одержання кордієритової кераміки скло вводили в кількості 25, 30 і 35 мас. % (склади С-1, С-2, С-3). Продукти кристалізації скла кліноенстатит і тридиміт, зв'язували в кордієрит – фазу з низьким ТКЛР. У процесі випалу кордієритової кераміки за рахунок введення скла частково реалізується принцип реакційного формування структури. Внаслідок взаємодії компонентів скла з кристалічними наповнювачами ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) формується остаточний мінералогічний склад кераміки.

Для всіх дослідних зразків визначали уявну густину  $\rho$ , водопоглинання  $W$ , відкриту пористість  $P$ , ТКЛР та міцність на стискання  $\sigma_{\text{ст}}$ . Результати вимірювання властивостей представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Властивості кордієритової кераміки

Номер складу	Властивості матеріалів				
	W, %	P, %	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\sigma_{\text{ст}}$ , МПа	ТКЛР <sub>20-400</sub> , $\times 10^{-7}$ град <sup>-1</sup>
1250 °С					
С-1	16,0	26,5	1,74	158	14,0
С-2	13,0	23,0	1,77	172	13,5
С-3	11,0	22,2	1,85	207	13,0
1300 °С					
С-1	2,8	5,6	2,02	252	14,0
С-2	0	0	2,34	294	13,5
С-3	0	0	2,37	314	13,0
1350 °С					
С-1	0	0	2,33	283	13,8
С-2	0	0	2,30	263	13,5
С-3	0	0	2,29	267	13,2

Аналіз результатів вимірювання властивостей (табл. 1) показав, що підвищення температури випалу дослідної кераміки, яка містить скло в межах 30–35 мас.%, до 1300 °С дозволяє отримати матеріал з нульовими значеннями водопоглинання і відкритої пористості. Як наслідок, до максимальних значень зростає уявна густина кераміки з 1,77–1,87 г/см<sup>3</sup> до 2,34–2,37 г/см<sup>3</sup> і межа міцності на стискання з 158–207 МПа до 294–314 МПа. Подальше підвищення температури випалу до 1350°С викликає покращення фізико-технічних показників лише для кераміки складу С-1, який містить мінімальну кількість скла (25 мас. %). У результаті отриманий матеріал, який характеризується нульовими значеннями водопоглинання і відкритої пористості, а також  $\rho$  і  $\sigma_{\text{ст}}$



на рівні  $2,33 \text{ г/см}^3$  і  $283 \text{ МПа}$  відповідно.

Для зразків кордієритової кераміки, яка характеризувалась комплексом найвищих фізико-технічними показників, досліджували діелектричні властивості (відносну діелектричну проникність, тангенс кута діелектричних втрат), а також термічну стійкість і число вогнетривкості.

Встановлено, що розроблена кордієритова кераміка має низьку відносну діелектричну проникність ( $\epsilon = 4,3$ ). Значення  $\text{tg}\delta$  не залежить від складу кордієритової кераміки і дорівнює  $0,001$  за точності вимірювання  $\pm 3 \cdot 10^{-4}$ . Кордієритова кераміка характеризується високим показником термічної стійкості  $900 \text{ }^\circ\text{C}$ , який не залежить від речовинного складу матеріалу, що досліджувався. Крім того, кордієритова кераміка має достатньо високе число вогнетривкості  $R$  ( $1350\text{--}1370 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

У результаті проведених досліджень синтезована кордієритова кераміка, яка має комплекс високих фізико-технічних показників (нульові значення водопоглинання і відкритої пористості, висока механічна міцність на стискання (до  $314 \text{ МПа}$ ), число вогнетривкості ( $1350\text{--}1370^\circ\text{C}$ )). Кордієритова кераміка характеризується низьким ТКЛР  $(13\text{--}14) \cdot 10^{-7} \text{ град}^{-1}$ , що обумовлює її високу термічну стійкість ( $900 \text{ }^\circ\text{C}$ ). За рівнем відносної діелектричної проникності ( $4,3$ ) і діелектричних втрат ( $0,001$ ) синтезована кераміка відповідає вимогам до сучасних надвисокочастотних радіопрозорих матеріалів, у тому числі і конструкційних. Розроблену кордієритову кераміку можна використовувати для виготовлення обтічників літальних апаратів та ракет різних класів.

### Список використаних джерел

1. Guignard M., Cormier L., Montouillout V. Environment of titanium and aluminum in a magnesium alumino-silicate glass. *J. Phys.: Condens Matter*. 2009. 21. P. 1–10.
2. Luo W., Zhenhong B., Jianga W., Liub J., Fengb G., Xua Y., Tanga H., Wanga T. Effect of  $\text{B}_2\text{O}_3$  on the crystallization, structure and properties of  $\text{MgO}\text{--}\text{Al}_2\text{O}_3\text{--}\text{SiO}_2$  glass-ceramics. *Ceram. Int*. 2019. 45. P. 24750–24756.
3. Aşkin A., Tatar I., Kiliñç Ş., Tezel Ö. The utilization of waste magnesite in the production of the cordierite ceramic. *Energy Procedia*. 2016. 107. 137–143.
4. Goren R., Gocmez H., Ozgur C. Synthesis of cordierite powder from talc, diatomite and alumina. *Ceram. Int*. 2006. 32. P. 407–409.
5. Zaichuk, A.V, Amelina A.A., Hordieiev Y.S, Kalishenko Y.R. Ultra-high-frequency radio-transparent ceramics of cordierite composition doped with  $\text{MgO}\text{--}\text{Al}_2\text{O}_3\text{--}\text{B}_2\text{O}_3\text{--}\text{SiO}_2$  glass: Synthesis, microstructure, thermal and physical properties. *Open Ceramics*. 2023. 15. P. 10307.

УДК 666.65

**ТЕРМОДИНАМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ХІМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ФАЗ  
В МЕЖАХ СИСТЕМИ BaO–ZnO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub>  
ПО ВІДНОШЕННЮ ДО РІЗНИХ РЕАГЕНТІВ**

**Білогубкіна Карина Володимирівна,**

аспірантка;

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

*karyna.bilohubkina@iht.khpi.edu.ua*

Радіопрозорі керамічні матеріали є конструкційними матеріалами, призначеними для експлуатації в агресивних середовищах. Тому важливим показником їх якості являється хімічна стійкість, що показує здатність протистояти впливу реагентів та середовища, що знаходиться у взаємодії з керамікою, та визначається в першу чергу природою фаз, що взаємодіють, та їх хімічним складом. Згідно з проведеним аналізом наукової та патентної літератури в напрямку розробки радіопрозорих керамічних матеріалів [1, 2] для дослідження було обрано чотирикомпонентну систему BaO–ZnO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> та визначено кристалічні фази, які можуть існувати в їх межах системи, а саме: BaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>, ZnO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>, BaO·SiO<sub>2</sub>, BaO·2SiO<sub>2</sub>, 2BaO·SiO<sub>2</sub>, 2BaO·3SiO<sub>2</sub>, 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>, 2ZnO·SiO<sub>2</sub>.

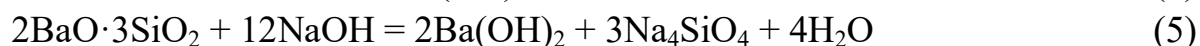
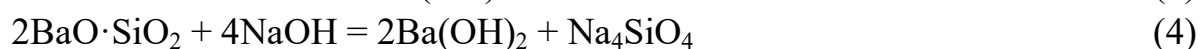
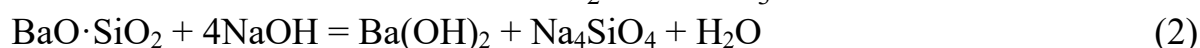
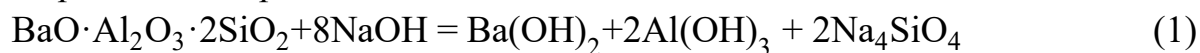
Для визначення кристалічних фаз, які дозволять одержати керамічний матеріал з необхідним рівнем хімічної стійкості, доцільним є проведення термодинамічних розрахунків, а саме змін вільної енергії Гіббса хімічних реакції взаємодії кристалічної фази з агресивним середовищем з подальшим порівнянням значень хімічної стійкості.

Термодинамічні константи та константи теплоємності сполук для розрахунків реакцій в обраних системах були взяті з літературних даних [3].

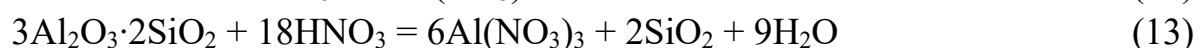
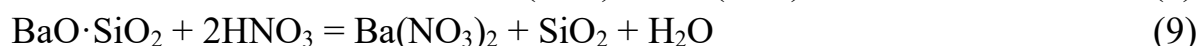
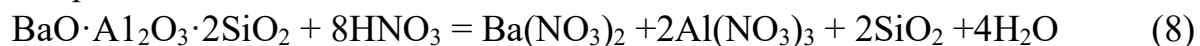
Під час вибору кристалічних фаз важливою складовою є дотримання комплексу фізико-хімічних та експлуатаційних вимог до радіопрозорих матеріалів. Серед них є низькі значення діелектричних властивостей (значення діелектричної проникності < 10, тангенс кута діелектричних втрат  $\text{tg}\delta \leq 0,01$ ) та стабільність фізичних і радіофізичних характеристик за високих температур у широкому частотному діапазоні. Тому, як найбільш оптимальні для визначення кислотостійкості були обрані нітратна, хлоридна та сульфатна кислоти, а для визначення лугостійкості – гідроксид та карбонат натрію. Розрахунки проводили, в умовах наближених до умов експлуатації, а саме за температури 298 К за методикою [4].

У процесі досліджень було складено хімічні рівняння за температури експлуатації.

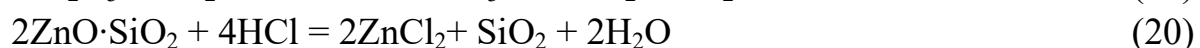
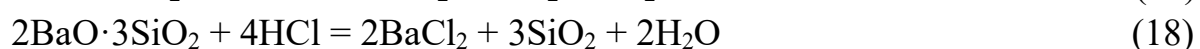
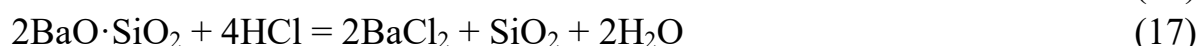
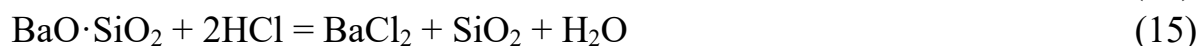
Гідрооксид натрію:



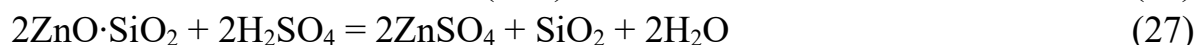
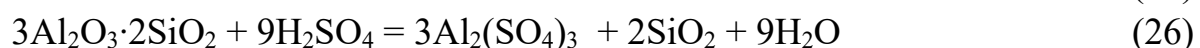
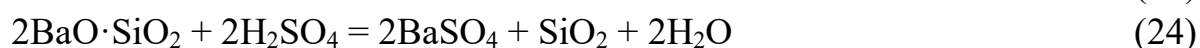
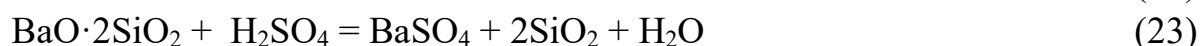
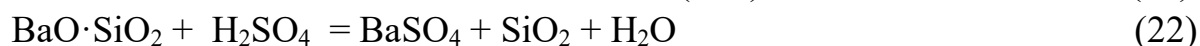
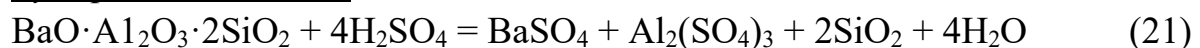
Нітратна кислота:



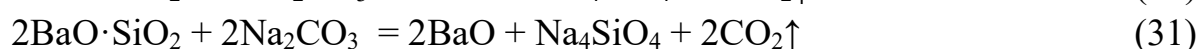
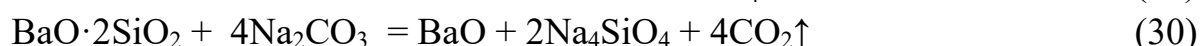
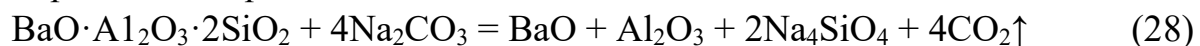
Хлоридна кислота:



Сульфатна кислота:



Карбонат натрію:



Відповідно до з того, що оксид силіцію не вступає в реакції з водою та кислотами, крім фторидної, та відноситься до групи кислотних оксидів, вірогідним є його наявність у продуктах реакції у вигляді  $\beta$ -кварцу. Враховуючи розрахунок перебігу реакцій у стандартних умовах, продуктом реакції визначених кристалічних фаз з NaOH буде саме  $\text{Na}_4\text{SiO}_4$ , який утворюється лише за температур вище 1173 К. Для проведення розрахунків змін вільної енергії Гіббса реакцій на основі відомих літературних даних визначені термодинамічні дані вихідних речовин і продуктів реакції (табл. 1).

Таблиця 1. Вихідні термодинамічні дані

Роль компонента	Сполука	$-\Delta H^0_{298}$ , кДж/моль	$S^0_{298}$ , Дж/(моль·К)	$C_p = a + b \cdot T + c \cdot T^{-2}$ , Дж/(моль·К)		
				$a$	$b \cdot 10^3$	$-c \cdot 10^{-5}$
Вихідні компоненти	$\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	4273,58	200,73	260,75	61,40	-
	$\text{BaO} \cdot \text{SiO}_2$	389,18	26,8	24,5	5,9	-
	$\text{BaO} \cdot 2\text{SiO}_2$	610,18	36,8	41,28	3,13	6,92
	$2\text{BaO} \cdot \text{SiO}_2$	549,03	43,5	34,5	8	-
	$2\text{BaO} \cdot 3\text{SiO}_2$	1002,47	63,6	50,53	9,18	0,17
	$3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1631,62	60,8	115,9	11,2	37
	$2\text{ZnO} \cdot \text{SiO}_2$	391,09	31,4	-	-	-
	NaOH	495,93	64,43	-	-	-
	$\text{HNO}_3$	174,10	155,60	26,53	4,60	1,09
	HCl (p)	163,70	56,50	-	-	-
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	907,50	17,20	-	-	-
	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	1129,40	134,90	-	-	-
Продукти реакції	$\text{Ba}(\text{OH})_2$	947,05	100,83	70,71	91,63	-
	$\text{Al}(\text{OH})_3$	1276,97	82,90	8,65	45,60	-
	$\text{Na}_4\text{SiO}_4$	2106,64	195,81	-	-	-
	$\text{NaAlO}_2$	1133,2	70,4	73,6	-	-
	$\text{H}_2\text{O}$ (p)	285,83	69,95	39,02	76,64	11,96
	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	991,60	213,70	125,70	149,40	16,78
	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$	2850,10	468,00	149,93	27,38	35,67
	$\text{SiO}_2$ , $\beta$ -кварц	911,07	42,09	46,94	34,31	11,30
	$\text{Zn}(\text{OH})_2$	153,42	19,4	-	-	-
	$\text{BaCl}_2$	844,00	123,70	-	-	-
	$\text{AlCl}_3$	704,20	109,30	-	-	-
	$\text{BaSO}_4$	1465,20	132,20	125,10	5,70	-
	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	3431,70	239,30	368,60	61,90	113,5
	$\text{ZnCl}_2$	63,5	66,1	14,4	0,2	-
	BaO	558,15	70,29	53,30	4,35	8,30
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	1675,61	50,92	114,77	12,08	35,44
	$\text{ZnSO}_4$	234,9	28,6	17,07	20,8	-
	ZnO	83,24	10,43	11,71	1,22	2,18
$\text{BaCO}_3$	1211,00	112,1	86,9	48,95	11,97	
$\text{CO}_2$	393,51	213,94	44,14	9,04	8,54	

Результати термодинамічних розрахунків змін ентальпії, ентропії та вільної енергії Гіббса реакцій наведені у таблиці 2.

Таблиця 2. Результати термодинамічних розрахунків

Номер реакції	$\Delta H_{298}$ , кДж/моль	$\Delta S_{298}$ , Дж/(моль·К)	$\Delta G_{298}$ , кДж/моль
1	526,75	-57,92	509,4898
2	-966,62	82,07	-942,1631
3	-1440,2	150,06	-1395,482
4	-1467,99	96,25	-1439,308
5	-2403,71	232,13	-2334,535
6	-4784,37	247,94	-4710,484
7	-38,67	-54,51	-54,91398
8	-3990,88	68,15	-3970,571
9	-1451,12	-12,26	-1454,773
10	-2141,19	19,83	-2135,281
11	-2220,5	-56,51	-2237,34
12	-4111,5	474,37	-3970,138
13	-16729,8	660,13	-16533,07
14	1276,39	11,46	1279,805
15	-1488,02	152,44	-1442,593
16	-2014,39	128,03	-1976,237
17	-1966,9	159,89	-1919,253
18	-3335,6	223,97	-3268,857
19	-4041,59	291,73	-3954,654
20	-563,84	56,79	-546,9166
21	41,22	465,95	180,0731
22	-1365,42	200,24	-1305,748
23	-2055,49	232,33	-1986,256
24	-2049,1	368,49	-1939,29
25	-3417,8	432,57	-3288,894
26	-4890,59	1216,03	-4528,213
27	253,56	173,39	305,2302
28	770,1	628,26	957,3215
29	-803,83	397,38	-685,4108
30	-1217,69	741,27	-996,7915
31	-1202,13	450,97	-1067,741
32	-2018,41	1138,65	-1679,092
33	-4664,93	799,74	-4426,607
34	-410,25	343,35	-307,9317

Одержані результати свідчать про можливість протікання реакцій (2–4, 6–13, 15–20, 22–26, 29–34), тобто хімічна стійкість матеріалів до агресивних середовищ буде проявлятися в реакціях (1, 5, 14, 21, 27, 29). Візуально розраховані дані представлені на діаграмі (рис. 1).

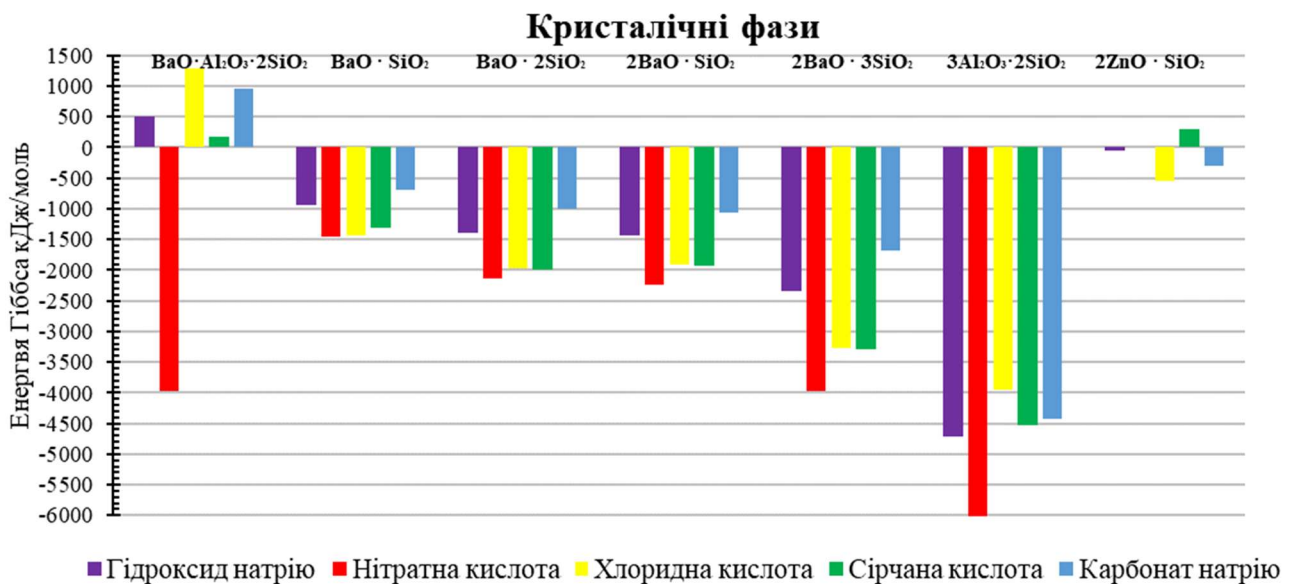


Рисунок 1 – Енергія Гіббса реакцій взаємодії кристалічних фаз з різними агресивними реагентами

Порівнюючи одержані дані можна зазначити, що нітратна кислота має найбільшу реактивну здібність з досліджених реагентів і впливає на всі сполуки.

Сульфатна кислота  $H_2SO_4$  також взаємодіє з майже усіма обраними сполуками, крім  $BaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$  та  $2ZnO \cdot SiO_2$ . Згідно отриманих даних цельзіан являється сполукою, що є хімічно стійкою до впливу агресивних компонентів середовища експлуатації радіопрозорого керамічного матеріалу, що обумовлюється достатньо низкою вірогідністю її взаємодії з кислотами та лугами.

### Список використаних джерел

1. Wen G., Wu G.L., Lei T.Q. Co-enhanced  $SiO_2$ -BN Ceramics for Hightemperature Dielectric Application. J. Euro Ceram.Soc. 2000. 11. P.19–23.
2. Q. Meng, Z. Zhao, Y. Sun, X. Lie, H. Ji. Low temperature pressureless sintering of dense silicon nitride using  $BaO-Al_2O_3-SiO_2$  glass as sintering aid. Ceramics International. 2017. 43. P. 10123–10129.
3. Peter Linstrom NIST Chemistry WebBook - SRD 69, National Institute of Standards and Technology. 2017 <https://doi.org/10.18434/T4D303>
4. Хімічна технологія тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів у прикладах і задачах : навч. посіб. : у 2 ч. – Ч.2 : Фізико-хімічні системи, фазові рівноваги, термодинаміка, ресурсо- та енергозбереження в технології ТНСМ / О. Ю Федоренко, Я. М. Пітак, М.І. Рищенко [та ін.] ; за ред. М.І. Рищенко. – Х. : Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ»», 2013. 326 с.

УДК 666.3

## КЕРАМІЧНА ПЛИТКА ЯК ВАЖЛИВИЙ ЦІЛЬОВИЙ ПРОДУКТ ДЛЯ ГАЛУЗІ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

**Саввова Оксана Вікторівна**

доктор технічних наук, професорка, професорка;

**Бражник Григорій Олександрович,**

студент

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[Grygorii.Brazhnyk@kname.edu.ua](mailto:Grygorii.Brazhnyk@kname.edu.ua)

Керамічна плитка широко використовується в житлових, комерційних приміщеннях та у промисловості завдяки своїй доступності, простоті форм та розмірів, нескладності застосування як підлогових покриттів, внутрішнього або зовнішнього облицювання стін приміщень, невисокої вартості, можливості придання естетичності поверхні застосування, а також захисту від різних видів цвілі та бактерій. Означене вказує на перспективність використання у промисловості та побуті керамічної плитки та цілеспрямованість розвитку технологій, що обумовлює її одержання та використання в залежності від виду та призначення.

Керамічну плитку умовно класифікують на глазуровану керамічну плитку, керамогранітну плитку, керамічну плитку без подряпин та іншу; залежно від застосування – на підлогову та стінову; від виду кінцевого використання – на житлову та комерційну. Керамічна плитка також буває згідно класифікації підлоговою, настінною, покрівельною та стіноюю.

Обсяг світового ринку керамічної плитки у 2021 р. оцінювався у 355,31 мільярда доларів США, а зростання CAGR (сукупний середньорічний темпи зростання) становитиме 7,1 % з 2022 по 2030 рік [1]. Спалах пандемії COVID-19 у 2020 році значно вплинув на ринок через припинення будівельних робіт через стратегії карантину, які були запроваджені урядами у всьому світі для стримування поширення. У другій половині 2020 року ринок суттєво відновився. Але загроза наступних хвиль у країнах-виробниках керамічної плитки обмежує зростання ринку.

Автори [2] спрогнозували, що виробництво керамічної плитки досягне 210,3 млрд доларів США до кінця 2031 р. Очікується, що виробники будуть інвестувати в технологічні рішення одержання керамічної плитки за рахунок їх екологічної складової та забезпечення специфічних властивостей (самоочисна здатність, антибактеріальні та фотолюмінесцентні властивості, декоративні характеристики тощо) [3].

Розповсюдженість та легкість доступу до використання природної сировини впливає та ціну кінцевого продукту, на що вказують [2] – ціна одного квадратного футу варіюється від 15 (найнижча ціна) до 60 (найдорожча плитка) доларів США. З точки зору використання плитки для підлоги, ціна може досягати 1 долару за 1 квадратний фут, що пов'язано зі зменшенням декоративності обробки продукту незважаючи на більший об'єм самої плитки, на що впливає зріст об'єму використання сировини.

Відповідно до наведеного [2] аналізу Future Market Insights, Inc. Об'єм ринку керамічної плитки досягне 97,45 млрд доларів США, а в кінці 2033 року ринок досягне росту доходу 195,31 млрд доларів США завдяки залученню користувачів, їх обізнаності в характеристиках керамічної плитки – екологічності, доступності, довговічності. Середньорічний темп зростання (CAGR) галузі прогнозується 7,20 % починаючи з 2023 р. по 2033 р.

Слід зазначити, що керамічна плитка також приваблює потенційних користувачів у будівлях реконструкції, оскільки вона економічно ефективна та довговічна. Попит на керамічну плитку зріс також у зв'язку з можливістю заміни каменю, скла, фарб.

Значний вплив на виробництво керамічної плитки надало використання передового цифрового друку. Виробники мають можливість розробляти та виконувати нові складні продукти, що підвищує естетичні властивості плитки, а нові форми, текстура полегшує її застосування. Компанії розробляють нові узорі, кольори, які схожі на природні матеріали. Очікується, що ці інноваційні технології сприятимуть розширенню використання керамічної плитки у комерційному секторі та багато-бюджетних проектах будівництва. Використання цифрового друку є ключовою тенденцією для зростання попиту на керамічну плитку завдяки розробки нових гібридних конструкцій.

У галузі виробництва керамічної плитки спостерігається тенденція використання технологій цифрового струминного друку для декорування плитки.

Окрім того, очікується, що значні досягнення в конструкції друкувальних головок та рецептурах чорнила сприятимуть проникненню вищезгаданої технології на ринок протягом прогнозованого періоду (до 2033 р.).

До найбільш відомих компаній на світовому ринку керамічної плитки слід віднести [1]:

- ATLAS CONCORDE S.P.A.;
- Mohawk Industries, Inc.;
- Crossville Inc.;
- RAK Ceramics;
- Cerámica Saloni;
- Florida Tile, Inc.;



- Porcelanosa Group;
- Kajaria Ceramics Limited;
- Ricchetti Group;
- China Ceramics Co., Ltd.;
- Guangdong Monalisa Industry Co., Ltd.;
- Guangdong Newpearl Ceramics Group Co., Ltd.;
- Florim Ceramiche S.p.A.

Ключові гравці галузі об'єднуються з численними сервісними компаніями, включаючи графічні студії, які допомагають розробити нову графіку для виробництва більш естетично привабливої плитки. Крім того, до його складу входять постачальники кінцевої лінії обробки для остаточної обробки кінцевого продукту за допомогою різання, шліфування та притирання.

Керамічна плитка поширюється в основному через посередників, до яких входять дистриб'ютори, оптовики та великі роздрібні торговці. Крім того, дистриб'ютори та роздрібні торговці також співпрацюють з будівельними компаніями та постачальниками клеїв та клеїв для укладання плитки, а також з архітекторами та дизайнерами, щоб задовольнити очікування кінцевих споживачів.

Тісна співпраця наукових установ та виробників керамічної плитки забезпечує інноваційні напрямки розвитку виробництва та підвищення конкурентної здатності вітчизняної керамічної плитки на світовому ринку.

Ріст виробництва керамічної плитки в Україні є стратегічним напрямком розвитку будівельної галузі.

### **Список використаних джерел**

1. Ceramic Tile Market (Products: Floor Tiles, Wall Tiles, Roof Tiles, Ceiling Tiles; Applications: Residential Replacement, Commercial, New Residential, Industrial) – Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecasts 2022-2031 URL: <https://www.transparencymarketresearch.com/ceramic-tiles-market.html>. (дата звернення 25.10.22 р.).

2. A detailed analysis of the ceramic tile market by floor tiles, wall tiles and other tiles URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/ceramic-tiles-market>. (дата звернення 25.10.22 р.).

3. Savvova O.V., Shevetovsky V.V., Pokroeva Ya.O., Zinchenko I.V., Babich O.V., Voronov H.K. Development of antibacterial glazing for ceramic tiles. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2022. No. 3. P. 60–66. <http://dx.doi.org/10.32434/0321-4095-2022-142-3-60-66>

УДК 666.9:519.816

**ЗАСТОСУВАННЯ ПЛАНІВ БОКСА-БЕНКЕНА У РОЗВ'ЯЗАННІ  
ОПТИМІЗАЦІЙНИХ ЗАДАЧ СИНТЕЗУ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ****Гайдаєнко Оксана Володимирівна**

кандидат технічних наук, доцентка, доцентка

**Пархомова Наталія Сергіївна**

студентка магістратури

**Зальотін Віталій Сергійович**

студент магістратури

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

[okotsur80@gmail.com](mailto:okotsur80@gmail.com)

В умовах воєнного стану поступово змінюється традиційний погляд на науково-технічні принципи розробки будівельних матеріалів. Накопичення великої кількості відходів руйнації з відсутністю можливості їх утилізації призводить до суттєвих змін щодо формування сировинної бази, що викликає необхідність вторинного використання відходів від знесених та пошкоджених будівель, промислових об'єктів тощо. Тобто розробка оптимізаційних заходів з ресурсозбереження та переробки будівельних відходів є важливою науково-технічною проблемою, вирішення якої вимагатиме проведення багатьох видів міждисциплінарних досліджень із застосуванням інформаційних технологій.

Однією із задач синтезу матеріалів є удосконалення методів розрахунків складу та параметрів технологічних процесів, що й обрано за мету роботи. Як методичне підґрунтя для досліджень використано авторській доробок з визначення інтегральної вартості будівельного проєкту [1]; досвід авторів роботи [2] з підвищення ефективності рециклінгу скляних відходів; методики експериментальних досліджень з армованих фібробетонів [3], які ґрунтуються на постановочних варіантах планування експерименту із застосуванням планів Бокса-Бенкена. Запропоновано узагальнений алгоритм синтезу суміші для фрагментального дорожнього ремонту з додаванням як сировини червоного шламу та продуктів руйнації, а саме механічно здрібненого бою силікатних матеріалів. За основу було взято рецептуру суміші [4], яка пройшла апробацію у реальних умовах на подвір'ї Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (м. Миколаїв). Її стійкість визначено часом і екстремальними умовами: на рисунку 1, а наведено світлину, зроблену взимку 2023 р. Алгоритм побудовано на принципах вибору та ранжування факторів з наступною постановкою експерименту з використанням трьохфакторного та трирівневого плану Бокса-Бенкена другого порядку. Як фактори розглянуто

масову частку ( $X_1$ ) і зернистість розмелу ( $X_2$ ) зруйнованої силікатної цегли та масову частку ( $X_3$ ) червоного шламу. Оптимальне поєднання цих показників впливає на адгезійну міцність та зниження собівартості суміші (рис. 1, б). Для реалізації алгоритму планування експерименту розроблено програмне забезпечення для написання якого застосовано мову програмування Python [5].



*а*



*б*

Рисунок 1 – Світлини покриття (*а*) і формувальної суміші (*б*):

*а* – фото, зроблене авторами, 2023; *б* – фото В. Ф. Царан

Висновок: в роботі показана доцільність застосування планів Бокса-Бенкена для розвитку методик планування експерименту з розв'язання задач синтезу матеріалів для будівництва з написанням програмного застосунку мовою Python.

### Список використаних джерел

1. Nakhimi M., Savina O., Bielova O., Haidaienko O. Method for determining the integrated value of a construction project. The scientific heritage, Budapest. 2021. Vol. 1, № 61 (61). P. 63–71.
2. Казимиренко Ю. О., Дрозд О. В. Системно-аналітичний підхід до підвищення ефективності рециклінгу виробничих скляних відходів. Вісник Львівського торговельно-економічного університету. 2022. № 29. С. 13–20.
3. Андрійчук О. В., Швець І. В. Методика експериментального дослідження зчеплення арматури з фібробетоном. Сучасні технології та методи розрахунку в будівництві. 2019. № 12. С. 13–20.
4. Казимиренко Ю. О., Царан Ф. В. Розвиток нових технологій матеріалів як перспективний напрямок імобілізації червоного шламу. Фізико-хімічні проблеми в технології тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів: матеріали міжнародної науково-технічної конференції: X: ДІСА ПЛЮС 2020. С. 36–38.
5. Alyoshin S., Vorodina E., Kikot A., Zabran I. Особливості програмування та нові можливості мови програмування Python. Системи управління, навігації та зв'язку. 2018. Т. 4 (50). С. 95–98.

УДК 666.295.5

**ОПТИМАЛЬНІ ШЛЯХИ ЗНЕБАРВЛЕННЯ СКЛЯНОЇ ТАРИ****Гожа Максим Миколайович,**

аспірант;

**Саввова Оксана Вікторівна,**

доктор технічних наук, професорка, професорка;

**Воронов Геннадій Костянтинович,**

кандидат технічних наук, доцент, доцент;

**Тимошук Ігор Васильович**

магістрант

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

maksym.hozha@kname.edu.ua

Виробництво тарного скла є однією з найбільш ресурсо- та енергоємних промислових галузей. Одним із шляхів вирішення проблеми ресурсо- та енергозбереження є застосування сучасних методів скорочення витрат вартісної сировини та застосування зворотнього бою кольорового скла при варці забарвлених стекол. У зв'язку з цим питання ресурсо- та енергозбереження, при умові зберігання конкурентної здатності продукції, є найбільш актуальними щодо підвищення рентабельності галузі, особливо у сучасних економічних умовах України.

Під час варіння прозорого тарного скла ефективним є фізичне знебарвлення із застосування у шихті селену (переважно застосовується металевий селен або натрію селеніт  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ), який, разом з оксидом кобальту, забарвлюють скло в колір, додатковий до існуючого. Однак застосування селену пов'язане зі значними труднощами через його підвищену летючість.

Відомо, що співвідношення заліза до загального Fe, а також загальна кількість сульфату відіграють важливу роль у втратах Se. Для шихти з вмістом заліза не більше 0,05 мас. %, кількість введеного сульфату повинна бути близько 0,4 мас. % та співвідношення  $\text{Fe}^{2+}$ /загальний Fe не повинне перевищувати 0,12. У іншому випадку втрати селену досягають 100 %. Умови окислення (окисно-відновне число 14–17) є найбільш доцільними умовами для отримання найвищих колірних властивостей скла. Порівняння спектрів пропускання між склом, що не містить заліза (залишковий Se становив 220 ppm) і промисловим зразком (залишковий Se становив лише 2 ppm, вміст заліза становив 0,025 %), показало однакове положення піків поглинання [1]. У комерційній практиці FeSe є домінуючим барвником. Це узгоджується з розрахованими діаграмами стійкості для системи Na–O–Se. Вони передбачають за  $t < 1000$  °C, для  $\log p(\text{O}_2)$  від 0 до –8,  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  як основні стабільні фази з

незначною кількістю  $\text{Na}_2\text{Se}$ . За вищої температури ( $t = 1400\text{--}1500\text{ }^\circ\text{C}$ ),  $\text{Na}_2\text{Se}$  разом із  $\text{Se}$  стають основними фазами за  $\log p(\text{O}_2) = -1$  у відновних умовах. За температури плавлення скла для умов атмосфери з  $p(\text{O}_2)$  від 0 до  $-5$  основними фазами є  $\text{Na}_2\text{Se}$  та  $\text{Se}$ . Активність  $\text{Na}_2\text{O}$  скоригована як  $10^{-8}$  у розрахунках з реакцією. Основні реакції для утворення  $\text{FeSe}$  виглядають так:



Щоб компенсувати випаровування селену (може випаруватися до 75 % кількості селену, введеного в шихту) у виробництві скляної шихти завищують процентний вміст цього вартісного компонента. Для утримання селену у шихті використовують спеціальні способи її підготовки: селен попередньо змішують з рідким склом і обробляють у НВЧ-печі; поміщають у желатинові капсули або пелети та спікають із шихтою, що містить підвищену кількість лужноземельних оксидів, створюють інтеркальовані сполуки на основі  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  або  $\text{ZnSeO}_3$  та шаруваті структури (сапоніту, діатоміту тощо), використовують механоактивовану суміш  $\text{SiO}_2 + \text{Se}$ . Однак все це ускладнює процес приготування шихти та вимагає додаткового трудомістких технологічних операцій та незначно підвищує утримання селену (40–60 %). Вирішенням цієї проблеми може бути вирішено шляхом попереднього перемішування водного розчину селеніту натрію з наноструктурованими філосилікатами, що характеризуються високими адсорбційними властивостями, з наступним одержанням на їх основі фрити, що містить легкоплавкі компоненти, які додатково обволікають первинним розплавом інтеркальовані сполуки  $\text{Se}$  [2, 3].

Застосування селенвмісної фрити-преміксу дозволить інтенсифікувати процеси скловаріння, суттєво знизити летючість селену, та, поряд з одночасним введенням оксиду церію до складу скла знизити загальну потребу селену для забезпечення знебарвлення при розробці прозорої склотари. Ці положення визначають актуальність та доцільність розробки екологічної, енерго- та ресурсозберігаючої технології одержання прозорої склотари.

### Список використаних джерел

1. Optimization and Control of Selenium Chemistry and Color in Flint Glass Melts. Univ. – Prof. Dr.rer.nat. Reinhard Conradt D Dr.rer.nat. Andreas Kasper Tag der mündlichen Prüfung, 2005. P. 102.
2. Müller-Simon H., Bauer J., Bauman P. Redox behavior of selenium in industrial soda-lime-silica glasses. *Glastech. Ber. Glass Sci.* 2001. №74. P. 283.
3. Beerkens R. G. C.; Kahl K. Chemistry of sulfur in soda-lime-silica glassmelts. *Physics and Chemistry of Glasses.* 2002. № 43. P. 189.

УДК 666.266.61

## БІОАКТИВНІ СКАФФОЛДИ ДЛЯ ТКАНИННОЇ ІНЖЕНЕРІЇ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ

**Гопко Андрій Олексійович**,

аспірант;

**Саввова Оксана Вікторівна**,

доктор технічних наук, професорка, професорка;

**Байрамов Емін Салех**

бакалавр

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,

[andrii.hopko@kname.edu.ua](mailto:andrii.hopko@kname.edu.ua)

На сьогоднішній день в умовах надзвичайних та кризових ситуацій: військових конфліктів, стихійних лих та катастроф важливим етапом забезпечення соціального захисту та збереження здоров'я людини є створення біокерамічних скаффолдів для тканинної інженерії з високою здатністю до остеоінтеграції для швидкого відновлення втраченої кісткової тканини. Необхідність своєчасного протезування в умовах ведення бойових дій дає можливість зайняти вітчизняним виробникам лідируючі позиції на ринку біосумісних скаффолдів та вирішити проблеми необхідності забезпечення якісними медичними виробами з подовженим терміном експлуатації.

Основними проблемами на шляху практичного застосування продуктів тканинної інженерії є складності розробки ефективних процесів їх застосування, що гарантують життєздатність та задовольняють необхідним нормативним вимогам. Нові тенденції та технології, які позитивно впливають на цю сферу, включають розумні біоматеріали, нові джерела стовбурових клітин, передовий тривимірний біодрук, судинну інженерію, біореактори, органоїди, фізіологічні платформи на основі мікрофлюїдики. Очікується, що наступне десятиліття позначиться проривом для створення та впровадження біоматеріалів для регенерації тканин. Успіх тканинної інженерії полягає у реалізації синергії науково-технічного прогресу із застосуванням основних фундаментальних засад та практичних застосувань медицини, біології, біофізики, генної інженерії, комп'ютерних технологій, біоматеріалознавства та хімічної технології.

Перспективи ринку спрямовані на залучення інвестицій до галузі біотехнологій при створенні «штучної кістки» із застосуванням ткане-інженерних конструкцій на основі біосумісних скаффолдів на основі наноструктурованих біоактивних склокристалічних матеріалів з регульованою резорбцією та формуванням міцного апатитоподібного шару впродовж 1 місяця. Розробка скаффолдів з архітектонікою природної кістки заснована на принципах

біоміметики та стимуляції природного процесу відновлення. Це реалізується за рахунок розробки нових видів біоактивних матриць та їх додаткового насичення біоактивними компонентами, що дозволяє активізувати природні репаративні процеси кісток та пришвидшити процес зрощування. Аналіз конкурентної продукції дозволив встановити, що більшість біоактивних скаффолдів відноситься до композитних матеріалів на основі фосфатів кальцію, які відрізняються низькою механічною міцністю та резорбцією та не можуть бути використані при розробці конструкцій для заміщення значних ділянок кісткової тканини. Саме використання біоактивних склокерамічних матриць у поєднанні з природними полімерами (колаген, хітозан, альбумін, глобулін) та факторами росту (стовбурові клітини) дозволяють досягти синергетичного ефекту біосумісності за рахунок керування біохімічними процесами та конструкційної міцністю в інженерії тканини. Саме розробка інноваційних біоматеріалів на основі склокристалічних матеріалів з високою здатністю до остеоінтеграції, можливістю застосовуватися на навантажуваних ділянках кісткової тканини та ефективних технологій їх одержання дозволить забезпечити нові підходи при створенні ткане інженерних конструкцій нового покоління.

Безумовними перевагами застосування розроблених скаффолдів у порівнянні з іншими матеріалами для заміщення кісткових дефектів є можливість проведення більш щадної тактики лікування, економної резекції та мінімальна декортікація. Усі ці фактори забезпечують зменшення кількості пацієнтів із ампутацією кінцівок та пришвидшують процес відновлення пацієнтів.

Соціально-економічний ефект від впровадження скаффолдів полягає у реалізації доступності протезування, забезпеченні повноцінного лікування, зниженні витрат за рахунок скорочення періоду реабілітації пацієнтів, зокрема, за рахунок виключення запальних процесів та прискорення остеоінтеграції.

### **Список використаних джерел**

1. Denis Fabricio Viera Rey, Jean-Philippe St-Pierre. Fabrication techniques of tissue engineering scaffolds. Handbook of Tissue Engineering Scaffolds. 2019. Vol. 1. P. 109–125
2. Kamboj N., Ressler A., Hussainova I., Koh Yo.-H. Bioactive Ceramic Scaffolds for Bone Tissue Engineering by Powder Bed Selective Laser Processing: A Review. Materials (Basel). 2021. Vol. 14(18). P. 5338.
3. Kharbikar B.N., Mohindra P., Desai T.A. Biomaterials to enhance stem cell transplantation. Cell Stem Cell, 2022. Vol. 29, Iss. 5. P. 692–721.
4. Zhu L., Luo D., Liu Y. Effect of the Nano/Microscale Structure of Biomaterial Scaffolds on Bone Regeneration. Int. J. Oral Sci. 2020. Vol. 12:6. <https://doi.org/10.1038/s41368-020-0073-y>

УДК 622.4.076:620.197.6

## ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ ПОЛІМЕРВМІСНИХ ІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ У МІСЬКОМУ БУДІВНИЦТВІ

**Григоров Андрій Борисович,**

доктор технічних наук, професор, професор;

**Гордієнко Денис Олександрович,**

студент

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

[grigorovandrey@ukr.net](mailto:grigorovandrey@ukr.net)

Полімервмісні будівельні матеріали завдяки своїм властивостям (міцності, водостійкості, стійкості до впливу різних агресивних середовищ, вартості тощо) за останні десятиріччя набули досить широкого поширення в Україні. Вони застосовуються у різних сферах будівництва та постійно вдосконалюються шляхом введення до їх складу різних добавок, що підвищують їх експлуатаційні та споживчі властивості. До числа найбільш затребуваних будівельних матеріалів, що використовуються у будівництві, належать гідроізоляційні матеріали, що захищають будівельні конструкції та матеріали споруд від негативного впливу різних рідин (води або агресивних сумішей) [1].

Ринок будівельних матеріалів наповнений безліччю матеріалів та технологій їх застосування. Існують різні види гідроізоляції, вони мають різні способи та варіанти застосування. Однак, на нашу думку, найбільш перспективними (застосовується на різних поверхнях, можливість нанесення матеріалу на елементи споруд складної конструкції, можна наносити на поверхню способом напилювання, простота та зручність у застосуванні, високий рівень адгезії до поверхні, стійкість до кислот та агресивних середовищ, широка сфера застосування матеріалів) є обмазувальна гідроізоляція, яка включає два основних види гідроізоляційних матеріалів: бітумні мастики і полімер-цементні матеріали [2].

Сучасні бітумні мастики представлені однокомпонентними або багатокомпонентними матеріалами на основі бітуму, каучуку, акрилу, синтетичної смоли (ці компоненти використовуються для створення водонепроникного шару ізоляції). До складу мастик входять спеціальні органічні розчинники, наповнювачі та волокна для збільшення еластичності та характеристик міцності матеріалу. Однак бітумні гідроізоляційні мастики мають суттєві недоліки, що пов'язані, насамперед, з їх високою вартістю, низькою міцністю та теплостійкістю [3].



Означені недоліки були враховані нами у створенні нового полімервмісного гідроізоляційного матеріалу на основі вторинної сировини – відходів виробництва та споживання. Залучення вторинної сировини для виробництва нових матеріалів сьогодні є найбільш перспективним напрямком розвитку економіки країн Європейського Союзу та України, що дозволяє значно розширити сировинну базу процесу, знизити собівартість товарного продукту, отримати продукт з високими експлуатаційними властивостями при одночасному зниженні екологічного навантаження на навколишнє середовище.

Серед вторинної сировини найбільш перспективною є та, що має вуглеводневий склад, не відноситься до числа небезпечних речовин та має схильність до технологічної переробки. Такою сировиною є відпрацьовані нафтопродукти (змащувальні оливи), залишки від переробки нафти (шлами, важкі залишки, відходи селективної очистки нафтопродуктів) та відпрацьовані автомобільні шини (вторинний вулканізований каучук) та вироби з поліолефінів: поліетиленів високої (HDPE) та низької (LDPE) густини та поліпропілену (PP).

Використовуючи означену вище вторинну сировину, нами у лабораторних умовах було отримано гідроізоляційний матеріал, сполучною речовиною в якому виступають відпрацьовані змащувальні оливи, а наповнювачами – подрібнені полімерні вироби та вторинний вулканізований каучук.

Схема отримання гідроізоляційного матеріалу, представлена на рисунку 1.

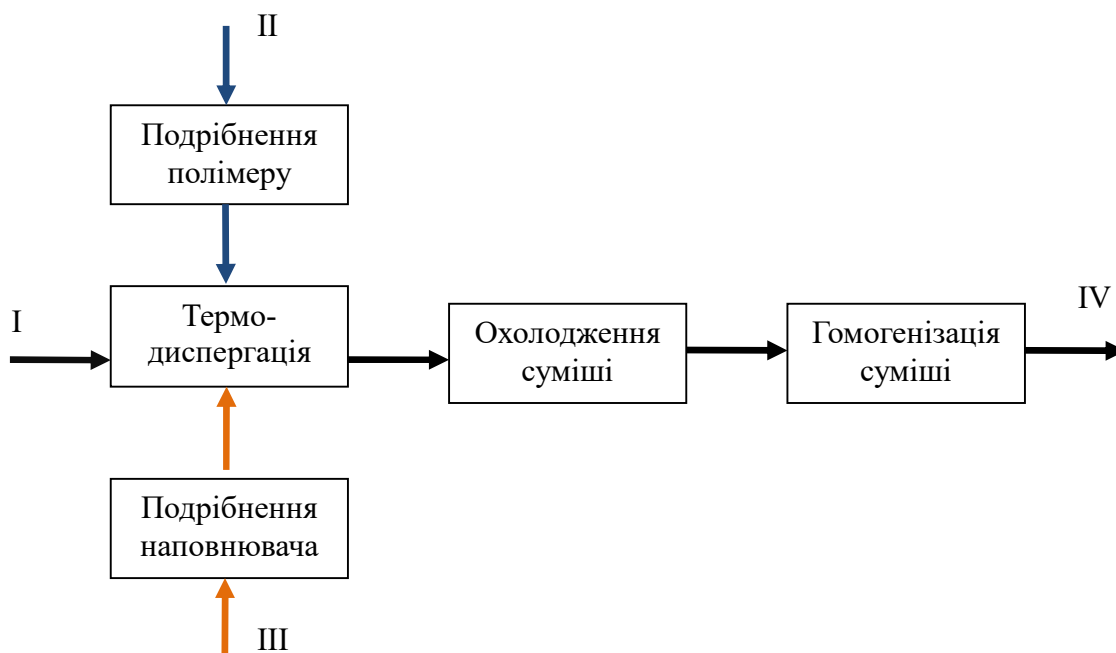


Рисунок 1 – Схема отримання полімервмісного гідроізоляційного матеріалу

I – відпрацьована олива; II – полімерні вироби;

III – наповнювач; IV – гідроізоляційний матеріал

За наведеною схемою, відпрацьована змащувальна олива SAE 15W-40 API SN (потік I) подається на змішування з попередньо подрібненим (розмір частинок до 1 мм) полімером (потік II) та наповнювачем (потік III). Зазначимо, що в якості наповнювача для придання еластичності суміші доцільно використовувати відпрацьовані вторинний вулканізований каучук – подрібнені автомобільні шини.

Термодиспергація компонентів відбувається за температури на 15–20 °С вище, ніж температура плавлення полімеру протягом 30–60 хв за рахунок використання механічного перемішуючого пристрою – лопатевої мішалки. Швидкість обертання мішалки знаходилась в межах 800–1000 об./хв. Далі отримана суміш подається на охолодження до температури 40–60 °С та подальшу гомогенізацію для отримання однорідної структури матеріалу. Після гомогенізації утворюється гідроізоляційний матеріал (потік IV), який за своїми властивостями (наприклад, залежно від обраних компонентів та їх вмісту у складі матеріалу, температури розм'якшення – 85–125 °С; водонасичення за 24 години – 0,04–0,10 %) буде використовуватися для нанесення у розігрітому стані на металеву поверхню технологічного обладнання для його захисту як від атмосферної, так і від електрохімічної корозії.

В окремих випадках, для підвищення антикорозійних, адгезійних та споживчих властивостей (кольору) до гідроізоляційного матеріалу на стадії його виробництва можна додатково вводити відповідні присадки та барвники.

Таким чином, запропонований нами новий гідроізоляційний матеріал завдяки своїм властивостям (температурі розм'якшення та водонасичення за 24 години) є досить перспективним та може в подальшому знайти досить широке застосування в будівельній практиці. Наприклад, замінити собою бітумно-гумові ізоляційні мастики МБР-65 та МБР-75, які використовуються для ізоляції підземних сталевих трубопроводів і інших споруд з метою їх захисту від негативного впливу навколишнього середовища.

### **Список використаних джерел**

1. Лівінський О. М., Дудар І. Н., Терновий В. І., Москаленко В. І., Петровський А. Ф., Прилипко Т. В., Потапова Т. Е., Стоян О. В. Ізоляційні роботи в будівництві : навч. пос. Київ, 2010. 206 с.

2. Новомлинець О. О. Будівельне матеріалознавство : навч. посіб. для здобувачів вищої освіти спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія. Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2021. 420 с.

3. Крижанівський Є. І., Полутренко М. С. Підвищення ефективності пасивного захисту підземних споруд від корозії. Науковий вісник ІФНТУНГ. 2012. № 1(31). С. 55–59.

УДК 691.434.3

## ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СВІТЛОНАКОПИЧУВАЛЬНИХ ПІГМЕНТІВ ДЛЯ ФОТОЛЮМІНЕСЦЕНТНИХ ОБЛИЦЮВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

**Єфімов Олександр Олександрович,**

аспірант;

**Саввова Оксана Вікторівна,**

доктор технічних наук, професорка, професорка;

**Воскобойник Михайло Володимирович**

магістрант

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,

[oleksandr.iefimov@kname.edu.ua](mailto:oleksandr.iefimov@kname.edu.ua)

На сьогодні важливого значення набуває саме розробка облицювальних матеріалів для будівельної індустрії, які здатні до тривалого післясвітіння та можуть застосовуватися для аварійного освітлення. Вирішенням цієї проблеми є застосування керамічної плитки як надійного та екологічного матеріалу.

Розвиток ринку керамічної плитки на 2020 рік, який складав 343,9 billion у.о до 633,5 billion у 2030 р з GAGP 6,3 %, вказує на тенденцію до розширення асортименту функціональності кераміки та застосування будівельних матеріалів у різних галузях промисловості у тому числі для інформування в умовах надзвичайних ситуацій (покажчики, аварійні знаки, різноманітні інформаційні табло. Це вказує на необхідність впровадження нових технологічних методів синтезу ефективних невагісних фотолюмінофорів на основі доступної сировини, вдосконалення їх властивостей та дослідження особливостей їх застосування в технології керамічної плитки. Одержання люмінесцентної кераміки, яка може стати дешевшою альтернативою сучасним джерелам світла базується на вирішенні теоретичної та практичної задачі формування наукових основ синтезу люмінесцентних глазурей з високими експлуатаційними властивостями та технологічних параметрів їх синтезу з урахуванням екологічних аспектів, технологічності та вартості, що і визначає актуальність даної роботи.

Ефективність застосування алюмінату стронцію прослідковується при оцінці глобального ринку, який оцінювався в 210 мільйонів доларів США у 2021 році та, як очікується, досягне 310,27 мільйонів доларів до 2029 року (рис. 1), зареєструвавши CAGR 5,0 % протягом прогнозованого періоду 2022–2029 років [1]. Однак, негативний вплив стронцію на навколишнє середовище при виробництві люмінофорів та висока вартість додатково знижує

схильність споживачів до даного продукту та перешкоджає розширенню ринку. Це вказує на необхідність впровадження нових технологічних методів синтезу фотолюмінофорів та вдосконалення їх властивостей.

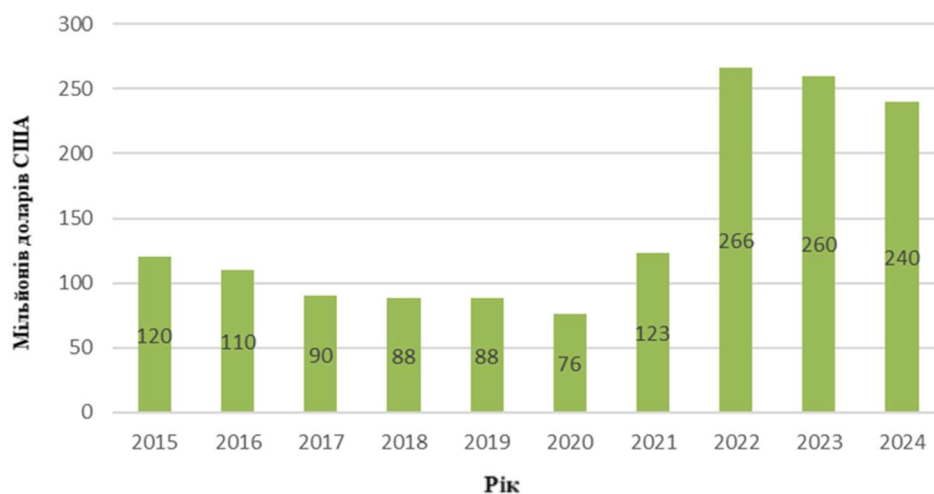


Рисунок 1. Ріст ринку алюмінату стронцію за період 2015–2024 рр.

Альтернативою алюмінату стронцію, допованого РЗЕ є  $\text{MgAl}_2\text{O}_4:\text{Dy}^{3+}$ . Під ультрафіолетовим опроміненням (283 нм) спектр флуоресценції чистого  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  демонструє максимальне випромінювання в зелено-жовтій області, яка є безпечною для зорового сприйняття, та є енергоефективним матеріалом білого світла.

Для одержання фотолюмінесцентної керамічної плитки, яка може застосовуватися для аварійного освітлення необхідною умовою є:

- розробка ефективного невартісного фотолюмінофору на основі технологічних керамічних матеріалів (шпінелі, віллеміту або фосфату кальцію);
- розробка складу спеціальної прозорої фрити на основі природної вітчизняної сировини,
- забезпечення синергетичної дії фрити і фотолюмінофору та її пролангацію впродовж тривалого часу.

Отже забезпечення ефективного застосування фотолюмінесцентної кераміки у будівництві з урахуванням зростаючого попиту на керамічну плитку з світлотехнічними властивостями для експлуатації умовах надзвичайних ситуацій потребує ґрунтовного наукового теоретичного та практичного підходу.

### Список використаних джерел

1. Werner J., Kratz N. Passive and Active Optical and Luminescent Ceramics in Research and Development. Ceramic applications. 2016. № 4. P. 46–51.
2. Ghamsari M.S., Park H.-H. (ed.) Luminescent Ceramics: Fundamentals, Properties. Processing and Applications, 2024. (in press).

УДК 666.75

## МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРИ СТЕКЛОКОМПОЗИТІВ СТРАТЕГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

**Казмиренко Юлія Олексіївна,**

доктор технічних наук, доцентка, професорка;

**Таранущенко Віталій Вікторович,**

студент магістратури

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

[yuliia.kazymyrenko@nuos.edu.ua](mailto:yuliia.kazymyrenko@nuos.edu.ua)

Зростання світового попиту на композиційні матеріали зумовлено необхідністю їх застосування в технологіях проєктування і виготовлення суден, підводних технічних засобів, зокрема трубопровідного транспорту, об'єктів енергетики та інфраструктури, авіа- і ракетобудування тощо. На часі використання легковажних тепло- та звукоізоляційних матеріалів, здатних працювати в умовах іонізуючих випромінювань, підвищених температур, вібрацій, термоциклічних і всебічних гідростатичних навантажень [1]. Для їх виготовлення найкращою сировиною є неорганічні, зокрема скляні мікросфери, виробництво яких поставлено на потік у США, Японії, Німеччині.

Це є замкнені сферичні оболонки, у більшості випадків натрійборсилікатного і натрійборкальційсилікатного складу, технологія виготовлення яких ґрунтується на здатності розчинів Na і K спінюватися при нагріванні з різким збільшенням об'єму і наступній грануляції у воду. Як спінювачі застосовуються карбонати, бікарбонати, сульфіти, органічні кислоти тощо. Під час високотемпературної обробки шихти, мікрочастинки одночасно оплавляються та наповнюються газом (сірчаним ангідридом, воднем, гелієм тощо), вибір якого безпосередньо залежить від призначення мікросфер. Для згладжування мікрodefektів мікросфери зазнають поверхневої обробки силановими апретами, що на 10–20 % підвищує їх міцність за всебічного гідростатичного стискання. На відбивній здатності та оптичних властивостях ґрунтуються технології виготовлення радіопрозорих та рентгенозахисних композиційних матеріалів [2]. Через теплоізоляційну здатність ( $\lambda \approx 0,022\text{--}0,03 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ) скляні мікросфери застосовуються для формування теплозахисних покриттів у ракетній техніці.

На рисунку 1 наведено оптичну мікрофотографію скляних мікросфер натрійборсилікатного складу (фірми «ЗМ Со») з дисперсністю 20–100 мкм і товщиною стінки 1 мкм.

Більшість видів композиційних матеріалів і покриттів за участю скляних

мікросфер одержують за технологіями холодного твердіння з використанням полімерних сполучників. Щільність таких матеріалів знаходиться у діапазоні 450–700 кг/м<sup>3</sup>, вони характеризуються теплоізоляційною здатністю ( $\lambda \approx 0,45\text{--}0,65 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ) і можуть бути використані на глибинах до 12000 м, проте через деструкційні процеси та плинність полімерної матриці не спроможні працювати в умовах підвищених температур та теплових ефектів.



Рисунок 1. Скляні мікросфери (темне поле,  $\times 200$ )

Сучасною альтернативою є композиційні матеріали за авторською назвою «синтактичне піноскло» [1], які одержані спіканням скляних мікросфер натрійборсилікатного складу без сполучників. Їх густина складатиме 300–700 кг/м<sup>3</sup>, коефіцієнт теплопровідності наближається до 0,40 Вт/(м·К); у складі комбінованих блоків плавучості вони здатні працювати в умовах всебічного гідростатичного навантаження до 20 МПа. В основу створення радіопоглинаючих композиційних матеріалів і покриттів покладено ефект металізації скляних мікросфер, що створює додатковий шар у структурно неоднорідному середовищі та підвищує їх електро- та теплопровідність. Проте процес металізації є дуже складним та дорогавартісним, через технологічні особливості характеризується великим відсотком відбракуваних мікросфер. Альтернативним рішенням є додавання скляних мікросфер до складу сталевих і алюмінієвих електродугових покриттів, що значно підвищило їх рентгенозахисні характеристики [2].

Спеціальні властивості розглянутих стеклокомпозитів обумовлено особливостями їх структури, а можливість створення композицій із завданими фізико-механічними і експлуатаційними характеристиками вимагатиме розробки комп'ютерних моделей геометрії елементарної комірки. Для цього в роботі застосовано фрактальний підхід до опису структури гетерогенних матеріалів [3], фізичну модель процесів гідростатичного навантаження зачиненопористої комірки матеріалу плавучості [4], фізико-хімічні положення формування

поверхні поділу фаз у гетерогенних неорганічних матеріалах [5], а також результати власних спостережень з вивчення поведінки композитів в реальних умовах експлуатації та досліджень їх мікроструктури [1, 2]. Геометричне моделювання розглянуто як напрямок математичного моделювання з описом геометричних образів у двомірному просторі. Як приклад, на рисунку 2 наведено геометричну модель елементарної комірки метал-скляного покриття (а) і модель розподілу теплової енергії по його товщині (б).

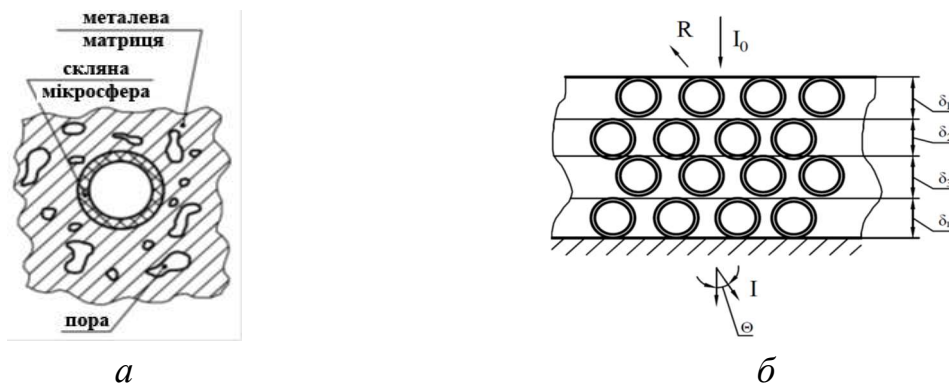


Рисунок 1. Геометрична модель елементарної комірки метал-скляного покриття (а) і розподілу теплової енергії по товщині покриття (б)

Результати подальших досліджень пов'язані з розробкою спеціального програмного середовища для чисельного моделювання з метою прогнозування функціональних властивостей розроблених стеклокompозитів.

### Список використаних джерел

1. Kazymyrenko Yu., Solomoniuk N., Drozd O. Glass microspheres thermo-deformation sintering processes in the technologies of obtaining materials for underwater technical equipment. Polish maritime research. 2023. Vol. 30 Pp. 174–180.
2. Kazymyrenko, Y. Patterns and Mechanisms of interaction of Radioactive Cargo Radiation with Metal-Glass Layer of Watercrats Structure. The advanced science journal. 2014. Iss. 12. P. 45–48.
3. Большаков В. И., Волчук В. М., Котов М. А., Фісуненко Д. П. Аспекти застосування фрактального моделювання. Металознавство та термічна обробка металів. 2022. № 2 (97). С. 7–18.
4. Коробейнікова В. О., Соломонюк Н. С. Теплопровідність блоків плавучості підвищеної теплостійкості на базі піноскла. Збірник наукових праць НУК. 2018. № 3-4 (474). С. 13–18.
5. Корнілович Б. Ю., Пилипенко І. В., Ковальчук І. А. Фізико-хімія сучасних неорганічних матеріалів. Ел. мережеве навч. вид. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2021. 134 с. URL: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42130/1/Neorh\\_material.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42130/1/Neorh_material.pdf) [Назва з екрана]

УДК 666.61

**ВИКОРИСТАННЯ ЛУЖНИХ КАОЛІНІВ У ВИРОБНИЦТВІ  
КЕРАМОГРАНІТНИХ ПЛИТ****Картишев Сергій Вікторович,**

аспірант;

**Федоренко Олена Юріївна,**

доктор технічних наук, професорка, професорка;

**Плохотнікова Катерина Андріївна,**

студентка

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

[kartyshev@ukr.net](mailto:kartyshev@ukr.net)

Вітчизняні виробники керамограніту вимушені використовувати польовошпатову сировину альбітового складу, яку імпортують переважно з Туреччини. Втім альтернативу їм можуть скласти лужні каоліни вітчизняних родовищ, запаси яких лише на п'яти основних проявах складають ~46 млн т [1]. Найбільш потужними родовищами лужних каолінів в межах каолінової провінції Українського кристалічного щита є Дубрівське, Майдан-Вільське, Грузливецьке, Катеринівське та Йосипівське. Слід зазначити, що лужні каоліни практично не використовуються вітчизняними підприємствами через їх недостатню вивченість та брак інформації щодо особливостей хіміко-мінерального складу і технологічних властивостей.

Лужні каоліни є цінною комплексною сировиною, використання якої вводить до керамогранітної маси всі необхідні складові. Перспективність використання лужних каолінів у виробництві керамічних плиток підтверджені дослідженнями авторів [1], які наголошують на підвищеній реакційній здатності катеринівського лужного каоліну та вказують на перспективність його використання в технології керамічної плитки. За свідченням фахівців [2] використання лужних каолінів в комбінації з пегматитом дозволяє інтенсифікувати процеси спікання і фазоутворення при знижених температурах випалу виробів. Дослідження хіміко-мінерального складу лужних каолінів Йосипівського родовища, а також продуктів їх збагачення [3] свідчать про доцільність їх використання як комплексної сировини в технології щільноспеченої кераміки у незбагаченому вигляді.

Враховуючи вищевикладене, актуальним є дослідження технологічних властивостей лужних каолінів вітчизняних родовищ, що дозволить розширити сировинну базу виробництва керамічних плиток, які згідно класифікації за ISO 13006:1998 належать до групи ВІа.



Ефективність використання польовошпатвмісної сировини, виходячи з її ролі плавня, обумовлена, перш за все її флюсуючою здатністю, тобто спроможністю утворювати максимальну кількість розплаву за певних умов випалу виробів. Швидкісний випал керамогранітних плит накладає додаткові вимоги як стосовно кількості розплаву, який утворюється під час випалу, так і його властивостей, зокрема в'язкості ( $\eta = 10^{3,0-3,7}$  Па·с); поверхневого натягу ( $\delta \leq 0,3$  Н/м) та високої активності, як здатності розчиняти рештки глинистих мінералів і кварцові зерна.

Метою роботи є оцінка флюсуючої здатності лужних каолінів чотирьох найбільш потужних вітчизняних родовищ та визначення умов їх використання у виробництві керамогранітних плит.

Для лужних каолінів Майдан-Вільського, Дубрівського, Єкатеринівського і Грузливецького родовищ визначали хіміко-мінеральний склад (табл. 2) і флюсуючу здатність (табл. 3).

Таблиця 2. Характеристика хіміко-мінерального складу лужних каолінів

Родовище лужних каолінів	Вміст оксидів за результатами хімічного аналізу, мас. %			K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	Мінеральний склад, %			
	K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	CaO + MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		<i>kl</i>	<i>or</i>	<i>ab</i>	<i>qv</i>
Дубрівське	7,6	0,70	0,81	7,54	30-34	24-35	0-2	25-38
Єкатеринівське	6,7	1,22	1,05	5,6	26-30	25-28	1-3	39-42
Майдан-Вільське	7,9	0,34	0,41	1,93	25-30	26-30	10-18	31-35
Грузливецьке	7,4	0,09	0,98	5,46	30-35	38-40	8-12	18-24

Таблиця 3. Кількісні і якісні характеристики плавкості лужних каолінів

Показники плавкості	Температура випалу, °С	Родовище лужних каолінів			
		Дубрівське	Єкатеринівське	Майдан-Вільське	Грузливецьке
Кількість розплаву <i>Q</i> , %	1100	90,42	67,3	91,0	68,90
	1150	92,02	81,2	93,75	84,2
	1200	92,36	87,6	95,39	89,8
В'язкість розплаву, Па·с ( $lg\eta$ )	1100	5,11	5,13	5,15	5,07
	1150	4,87	4,91	4,90	4,85
	1200	4,67	4,69	4,68	4,64
Поверхневий натяг $\delta$ , Н/м	1100	0,289	0,281	0,274	0,292
	1150	0,292	0,283	0,276	0,294
	1200	0,295	0,285	0,278	0,297
Активність, ум. од.	1100	0,089	0,112	0,084	0,087
	1150	0,090	0,112	0,088	0,089
	1200	0,094	0,104	0,091	0,093

Як видно з поданих даних, досліджені лужні каоліни суттєво відрізняються за калієвим модулем, який визначає співвідношення альбітової та ортоклазової складової, а отже суттєво впливає на плавкість породи та властивості розплаву. Найнижчий показник калієвого модуля (співвідношення  $K_2O/Na_2O$ ) характерний для Майдан-Вільського лужного каоліну, тоді як Дубрівський лужний каолін відноситься до переважно калієвих. Встановлено, що дослідні лужні каоліни містять значну кількість польових шпатів (від 38 до 60 мас. %) з переважним вмістом ортоклазу ( $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$ ).

Флюсуючу здатність лужних каолінів оцінювали за результатами аналізу характеристик їх плавлення (табл. 3), визначення яких здійснювали за методикою, основою на графо-аналітичних розрахунках в системах породоутворюючих оксидів  $Na_2O-Al_2O_3-SiO_2$  і  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2$ . Детальний опис методики та алгоритм розрахунків наведено в роботі [2].

Прогнозна оцінка флюсуючої здатності дослідних лужних каолінів свідчить про те, що достатньо висока кількість розплаву (понад 80 %) утворюється під час нагрівання лужних каолінів до температури 1150 °C і вище. Розрахунки показали, що найбільша кількість розплаву в дослідному температурному інтервалі (1100–1200 °C) виникатиме при плавленні Дубрівського та Майдан-Вільського каолінів (90–95 %).

Комплексний аналіз якісних та кількісних характеристик плавлення дозволив розташувати дослідні лужні каоліни за збільшенням їх флюсуючої здатності в наступний ряд:

*Екатеринівський < Грузливецький < Дубровський < Майдан-Вільський.*

Втім слід звернути увагу на те, що в'язкість розплавів, які утворюватимуться за нагрівання порід навіть до 1200 °C, є зависокою для отримання керамограніту в умовах швидкісного випалу. Найнижчі показники в'язкості розплавів, здатних утворитись під час нагрівання в дослідному температурному інтервалі належать Грузливецькому лужному каоліну ( $lg\eta = 4,64 \div 5,07$ ). Це свідчить про необхідність корегування складу технологічної суміші, яка міститиме лужний каолін як флюсуючу складову, з використанням модифікуючих добавок, здатних прискорити утворення розплаву та зменшити його в'язкість.

Ще одним способом отримання керамогранітних плит з водопоглинанням  $W \leq 0,5\%$  є використання лужного каоліну як основної сировини за часткової або повної заміни глинистої складової керамічної маси.

Абстрагуючись від окремих показників якості польовошпатвмісної сировини згідно ГОСТ 15045-78 можна сказати, що досліджені лужні каоліни є

безумовно перспективними для використання в технології щільноспеченої кераміки будівельного призначення. У першу чергу це стосується виробництва керамограніту, а також санітарно-технічного фарфору. Втім, враховуючи той факт, що вказані технології передбачають шлікерний спосіб підготовки технологічних сумішей, в подальшому слід приділити увагу реології суспензій, що містять лужний каолін як основну речовину, оскільки його особливості у великій мірі визначатимуть процеси іонообміну та коагуляційного структуроутворення, а отже і такі важливі властивості як текучість і схильність до тиксотропного зміцнення.

### **Список використаних джерел**

1. Федоренко О. Ю., Щукіна Л. П., Рищенко М. І., Присяжна Л. В. Клінкерні керамічні матеріали на основі природної і техногенної сировини України : монографія. Харків : ТОВ «Планета Прінт». 2018. 185 с.
2. Федоренко О. Ю., Дайнеко К.Б., Покроєва Я.О., Худенко А.Г., Чиркіна В.Ю. Оцінка ефективності використання лужних каолінів Майданвільського родовища в технології керамічних плиток. Науковий вісник будівництва. 2017. Т. 90. № 4. С. 120–126.
3. Рева В. І. Огляд технологічних властивостей сировини з Йосипівського родовища для керамічного виробництва. Кераміка: наука та життя. 2014. №4(25). С. 4–9.

УДК666.3.05

## МЕТАЛІЗОВАНІ ГРАНІЛІ ДЛЯ ДЕКОРУВАННЯ КЕРАМОГРАНІТУ

**Климов Максим Володимирович,**

аспірант;

**Саввова Оксана Вікторівна,**

доктор технічних наук, професорка, професорка;

**Шаповал Вікторія Миколаївна,**

студентка

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,

Шалигіна Оксана Володимирівна,

ЕМО FRITE COMPANY, Celje, Slovenia

[maksym.klymov@kname.edu.ua](mailto:maksym.klymov@kname.edu.ua)

Стрімкий розвиток керамічної промисловості реалізується завдяки зростанню чисельності населення, зростанню капіталу, впровадженню інновацій у будівельній галузі та архітектурі, а також збільшенню індивідуальних і корпоративних інтересів. У 2020 році ринок керамічної плитки становив 207,7 мільярда доларів США, і очікується, що розмір ринку зросте на 6,5 відсотка з 2020 по 2025 рік. Очікується, що до 2025 ринок керамічної плитки становитиме 285,1 мільярда доларів США.

Одним з важливих чинників росту ринку є зростання попиту на вартісну екологічну продукцію, яка має високий естетичний вигляд та художню цінність і може задовольнити зростаючі вимоги платоспроможного населення.

Декорування плиток може здійснюватися методом сериграфії, набризкування, нанесення глазурей з різним поверхневим натягом тощо. Методи декорування значно розширюються у напрямку використання нових видів матеріалів та технологій. Так на ПрАТ «ХПЗ» – лідерів з випуску керамічної плитки Східної Європи – освоєно кольоровий друку на керамічній плитці із застосуванням струменевих керамічних принтерів, які дозволяють отримати зображення найвищої якості. Одним з інноваційних способів рельєфного декорування керамічних плиток є різновид методу надглазурного декорування. при якому на поверхню попередньо покритого глазур'ю керамічного виробу наноситься спеціальний склад (реакційний флюс), створюючи малюнок будь-якої складності. У ході випалу виробу відбувається взаємодія флюсу з глазур'ю, результатом чого є опускання ділянок поверхні з нанесеним флюсом на глибину близько 50 мкм з формуванням чіткої межі з залишками глазури. Таким чином, виникає об'ємний малюнок, флюс оскловується на поверхні глазури, збільшуючи ступінь її блиску, та забезпечуючи ефект «гри світла».

Не менш вражаючий декоративний ефект мають металізовані гранілі на основі високотемпературних прозорих стекел для декорування керамограніту. Декорування реалізується шляхом додавання до гранілі застосуванням різних наповнювачів, які дозволяють створювати структурні та оптичні декоративні ефекти у тому числі металізовані. Однак, більшість металізованих гранілей для декорування керамограніту є закордонного виробництва та відрізняються високою вартістю.

Відомі склади металізованих глазурей, які відрізняються високими естетико-декоративними характеристиками [1]. В у системі  $K_2O-CaO-Al_2O_3-V_2O_5-Fe_2O_3-P_2O_5-SiO_2$ , ефект металізації в них забезпечується за рахунок кристалізації фосфіду заліза ( $FeP_4$ ) та гематиту ( $Fe_2O_3$ ) та фритовані металізовані глазурі для керамограніту синтезовані у системі  $SiO_2-Al_2O_3-CuO-Na_2O-ZnO-CaO$ , вміст  $CuO$  у якій становить 12 мол. % з декоративним ефектом шляхом утворенням тенориту та сегрегації металевої міді на поверхні глазури.

На основі червоної глини, каоліну, кварцу,  $MnO$ ,  $CuO$  та  $CoO$ , розробляється золото-бронзові сирі металеві глазурі для керамічних виробів, які випалювались при температурі  $1160\text{ }^\circ\text{C}$  [2].

Широко відоме застосування флейків при декоруванні глазурей. Матеріал розкладають світловий потік, створюючи унікальні колірні ефекти на поверхні. Метод виробництва декоративної слюди марки DekorFlake (LKAB Minerals) забезпечує дуже стабільний продукт для декорування глазури. Матеріал DekorFlake зберігає стабільність кольору та форми при температурах до  $900\text{ }^\circ\text{C}$  на етапі випалу плитки. Однак під час застосування таких флейків у складі гранілей в умовах однократного високотемпературного випалу керамограніту не дозволить забезпечити високі декоративні властивості

Вирішенням цієї проблеми є розробка металізованих гранілей на основі високотемпературного прозорого магнійалюмосилікатного скла, яке характеризується вмістом металізованого флогопіту, який рівномірно розподілений у структурі покриття [3].

Розробка склакомпозиційного матеріалу на основі металізованої слюди та прозорого скла із застосуванням вітчизняної сировини дозволить забезпечити неповторний декоративний ефект гранілі з блисківками та підвищити абразивостійкість та хімічну стійкість керамограніту.

### Список використаних джерел

1. Pekkan K., Taşçı E., Uz V. Production of Metallic Glazes and Their Industrial Applications. J. of the Australian Cer. Soc., 2015. Vol. 51(1) P. 110–115.
2. Pekkan K., Başkırkan H., Çakı M. Development of gold-bronze metallic glazes in a clay-based system for stoneware bodies. Cer. Int. 2018. Vol. 44, Iss. 5. P. 4789–4794.
3. Faeghi-Nia A. Fabrication of machinable phlogopite–glass composite using microwave processing. Cer. Int. 2012. Vol.38, Iss. 4. P. 2653–2658.

УДК 614.8

## ВПЛИВ ОРТОФОСФАТНОЇ КИСЛОТИ НА ВЛАСТИВОСТІ ВОГНЕЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ НА ПОВЕРХНІ ПІНОПОЛІСТИРОЛУ

**Лисак Наталія Михайлівна,**

аспірантка, викладачка;

**Скородумова Ольга Борисівна,**

доктор технічних наук, професорка, професорка;

**Чернуха Антон Андрійович,**

кандидат технічних наук, доцент, доцент

Харківський національний університет цивільного захисту України

[n.m.lysak@gmail.com](mailto:n.m.lysak@gmail.com)

Сьогодні все більшої актуальності набуває проблема збереження тепла в оселях. Тому широкого попиту набувають теплоізоляційні матеріали, особливо пінополістирол, який характеризується волого- та морозостійкістю, а також легкістю в обробці. Розрізняють два види пінополістиролу: спінений (EPS) та екструдований (XPS). XPS є більш щільним та міцним матеріалом, порівняно з EPS, але має суттєвий недолік – високий ступінь горючості. Отже, вивчення шляхів зниження займистості енергоефективних будівельних матеріалів є перспективним напрямом досліджень.

Відомо, що силікофосфатні полімерні покриття можуть забезпечити ефективний вогнезахист [1–3]. У ході дослідження використовували покриття на основі силікатної кислоти, добуті за допомогою золь-гель технології реакцією обміну між натрій силікатом та оцтовою кислотою. Як модифікуючу добавку додавали розчин ортофосфатної кислоти різної концентрації (11, 22, 44 та 85 %). Отримані композиції наносили на поверхню екструдованого полістиролу.

Дослідження мікроструктури покриттів на поверхні пінополістиролу показало, що найбільш щільне та однорідне покриття можна отримати, додаючи розчин  $H_3PO_4$  концентрації 11 та 22 %.

Аналіз залежностей оптичної густини від часу дозволив встановити, що зростання концентрації  $H_3PO_4$  сприяє збільшенню тривалості застигання композиції, а час прихованої коагуляції, до початку якої доцільно покривати золем будівельний матеріал, при цьому навпаки зменшується. Зважаючи на отримані результати, було визначено, що як модифікуючу добавку доцільно використовувати 22 % розчин  $H_3PO_4$ .

Було порівняно результати попередньої обробки ортофосфатною та сульфатною кислотами поверхні полістиролу – підвищення гідрофільності та

змочуваності спостерігали в обох випадках.

Відомо про здатність полістиролу до адсорбції фосфат-йонів з одночасним набуттям його поверхнею негативного заряду [4, 5]. Отже, можна забезпечити покращення адгезії покриття до основи завдяки електростатичному притяганню позитивно зарядженого золю кремнієвої кислоти до поверхні.

Проте під дією різних умов заряди на поверхні покриття та пінополістиролу можуть компенсуватися. Тому більш надійним закріплення покриття є у випадку утворення ковалентних зв'язків. Цього можна досягти шляхом обробки поверхні будівельного матеріалу сульфатною кислотою, що забезпечуватиме утворення гідроксильних груп [6]. Подальша конденсація між групами  $\equiv\text{Si}-\text{OH}$  гелю та  $-\text{CH}_2\text{OH}$  полістиролу сприятиме хімічному зв'язуванню та кращому закріпленню захисного покриття на поверхні.

Факт вбудовування ортофосфатної кислоти в структуру гелю підтверджено результатами кислотно-основного титрування розчином натрій гідроксиду інтерміцелярної рідини, виділеної внаслідок синерезису гелю.

#### Список використаних джерел

1. Zong-Min Zh., Ying-Jun Xu, Wang L., Shimei, Xu, Yu-Zhong W. Highly fire-safety expanded polystyrene foams by phosphorous-nitrogen-silicon synergistic adhesives. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2017. Vol. 56. № 16. P. 4649–4658. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.6b05065>
2. Wei Z., Hai-Bo Z., Jin-Bo C., Wenxiong Li, Jiayan Zh., Yu-Zhong W. A green, durable and effective flame-retardant coating for expandable polystyrene foams. *Chemical Engineering Journal*. 2022. № 440. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3973648>
3. Meng-En Li, Yuan-Wei Yan, Hai-Bo Zh., Rong-Kun J., Yu-Zhong W. A facile and efficient flame-retardant and smoke-suppressant resin coating for expanded polystyrene foams. *Composites Part B: Engineering*. 2020. Vol. 185. № 15. P. 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.107797>
4. Greluk M., Hubicki Z. Evaluation of polystyrene anion exchange resin for removal of reactive dyes from aqueous solutions. *Chemical Engineering Research and Design*. 2013. Vol. 91. № 7. P. 1343–1351. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2013.01.019>
5. Zhang Q., Zhang Z., Teng J., Huang H., Peng Q., Jiao T., Hou Li, Bingbing Li. Highly efficient phosphate sequestration in aqueous solutions using nanomagnesium hydroxide modified polystyrene materials. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2015. Vol. 54. № 11. P. 2940–2949. <https://doi.org/10.1021/ie503943z>
6. Cox R. A. Styrene hydration and stilbene isomerization in strong acid media. An excess acidity analysis. *Canadian Journal of Chemistry*. 1999. Vol. 77. № 5–6. P. 709–718.

УДК 666.32/.36: 504

## ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ У ВИРОБНИЦТВІ КЕРАМОГРАНІТУ

**Луговой Ігор Іванович,**

аспірант;

**Саввова Оксана Вікторівна,**

доктор технічних наук, професорка, професорка;

**Воскобойник Михайло Володимирович**

магістрант;

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,

*[ihor.luhovoi@kname.edu.ua](mailto:ihor.luhovoi@kname.edu.ua)*

Ефективність розвитку будівельної галузі може бути ускладнена через невизначеність, яка спричинена коливаннями цін на сировину, дефіцитними матеріалами, зростаючим попитом, очікуваннями споживачів, відсутністю належної інфраструктури утилізації відходів і використанням неправильних технологій переробки. Принципи циркулярної економіки пропонують цілісний підхід до вирішення екологічних проблем, одночасно сприяючи економічному зростанню, інноваціям й добробуту суспільства [1]. Циркулярна економіка взаємопов'язана з принципами сталого розвитку, є важливою для мінімізації глобального впливу та збереження природних ресурсів та забезпечує довгострокову стійкість, дозволяючи матеріалам циркулювати вздовж критично важливих ланцюгів постачання.

Утилізація відходів дозволить ефективно використовувати невідновлювані ресурси, зменшити площі та мінімізувати негативний вплив на довкілля. Це сприяє збереженню природних ресурсів, зменшенню викидів шкідливих речовин та виробництву вторинної сировини. Значні обсяги накопичених в Україні відходів та відсутність ефективних заходів, спрямованих на запобігання їх утворенню, утилізації, знешкодження та видалення, поглиблюють екологічну кризу і стають гальмівним фактором розвитку національної економіки. Вирішення цієї проблеми є ключовим у вирішенні питань енерго- та ресурснезалежності держави, економії природних матеріальних та енергетичних ресурсів і актуальним стратегічним завданням (пріоритетом) державної політики.

Керамічна промисловість вже активно залучена до переходу до циркулярної економіки. Однак основною перешкодою для широкого використання переробки відходів є відсутність знань про її вплив на виробництво керамічної плитки. Зокрема до складу шихти монопорози входить білий облицювальний керамамічний плитки до 3–5 %, а також відходи ректифікату



1–2 % до шихти керамограніту. Однак основною перешкодою для широкого використання переробки відходів є відсутність знань про її вплив на керамічне виробництво, зокрема технологію керамограніту [2, 3].

Дослідженнями підтверджено ефективність застосування на ПрАТ «Харківський плитковий завод» відходу механічної обробки керамограніту (150 т/місяць) для його виробництва. Однак, використання відходу в технології виготовлення керамічної плитки суттєво обмежується малою кількістю відходу (до 2 %), який може бути повернутий до технологічного циклу.

На сьогоднішній день у зв'язку з повномаштабним вторгненням Російської Федерації багато кар'єрів природної сировини знаходяться в зоні бойових дій, що є критичною проблемою для керамічних підприємств України.

Для стабільного функціонування вітчизняних підприємств в умовах циркулярної економіки винятково важливим є не лише випуск конкурентоздатної продукції, а й розширення сировинної бази виробництва та розв'язання проблем ресурсо- та енергозбереження. Також обмежений доступ до глин на Північно-Західному Донбасі визначає необхідність альтернативної заміни сировиною на базі Українського кристалічного щита. Значні запаси пегматитів, а також необмежені ресурси гранітоїдних порід, які складають основу (УКЩ) інтенсивно розробляються.

На сьогодні перспективним шляхом вирішення проблеми постачання сировини та підвищення конкурентоздатності вітчизняного керамограніту є застосування відходів при видобутку пегматиту. Це дозволить суттєво знизити собівартість продукції за рахунок економії ресурсів та забезпечення охорони навколишнього середовища. Тому розробка ресурсо- та енергоощадної технології керамограніту із використанням відходів збагачення кварц-польовошпатової сировини є актуальною задачею, яка дозволить не лише підвищити конкурентоздатність вітчизняної керамічної плитки, але і вирішити проблеми екологічної безпеки.

### **Список використаних джерел**

1. Ghufraan M. Circular Economy in the Construction Industry: A Step towards Sustainable Development. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 349. P. 131335. <https://doi.org/10.3390/buildings12071004>
2. Zanelli C., Conte S., Molinari C., Soldati R., Dondi M. Waste recycling in ceramic tiles: a technological outlook. *Resources, Conservation and Recycling*. 2021. Vol. 168. P. 105289. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105289>
3. Воронов Г.К., Фесенко О.І., Саввова О.В., Мельник С.О., Дегурко О.П. Перспективи використання відходів каменеобробки для одержання архітектурно-будівельної кераміки. *Кераміка наука та життя*. 2019. № 4 (45). С. 7–13.

УДК 539.3:534.1

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДЕФОРМУВАННЯ БАГАТОШАРОВОГО СКЛА У БУДІВНИЦТВІ ПРИ УДАРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Меркулова Альона Ігоревна

аспірантка

Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України

[hm2021@ukr.net](mailto:hm2021@ukr.net)

Багатошарове скло відноситься до безпечного скла та широко використовується у будівництві, транспортному машинобудуванні, авіабудуванні завдяки своїм унікальним властивостям [1, 2]. Оскільки скло часто виконує захисні функції, тому піддається інтенсивним динамічним навантаженням. Саме тому скло повинно задовольняти вимоги щодо ударної міцності та надійності за умови збереження своїх експлуатаційних характеристик. Тому розрахунок та проектування елементів скління, що відповідають зазначеним вище вимогам безпеки, є актуальною проблемою.

У більшості випадків проектування багатошарових елементів конструкцій будівельних споруд здійснюється на основі експериментальних даних шляхом емпіричного підбору пакету шарів. Теоретичне обґрунтування конструкторських рішень практично відсутнє. Це пояснюється складністю розв'язання задач нестационарної динаміки композитних конструкцій при швидкоплинних навантаженнях [3]. Основними методами дослідження динамічного відгуку конструкцій є чисельні методи, які пов'язані з дискретизацією розглядуваної системи, наприклад, метод скінченних елементів [4]. Метою роботи є розробка методу розрахунку параметрів напружено-деформованого стану елементів багатошарового скління зі складною формою для будівельних споруд під час ударного навантаження, який дозволяє подати розв'язок задачі в аналітичному вигляді.

Елемент скління розглядається як багатошарова пластина з ізотропних шарів сталої товщини. Форма скла у плані описується рівнянням фігури Ламе. Ударне навантаження здійснюється за допомогою індентора з напівсферичною кінцевою частиною, який скидається на зовнішню поверхню першого шару пластини. Динамічна поведінка скління описується на основі уточненої теорії багатошарових конструкцій [5].

Рівняння руху скління під впливом ударного навантаження отримано з варіаційного принципу, доповнено рівнянням руху індентора та умовою сумісності переміщення індентора і скління.

Метод розв'язання задачі базується на методі занурення заданої складної області в область канонічної форми [6]. Вихідна пластина занурюється у допоміжну пластину, форма і граничні умови якої обираються таким чином, щоб розв'язок задачі можна було одержати у аналітичній формі. Щоб забезпечити виконання вихідних граничних умов, до допоміжної пластини додаються додаткові компенсуючі навантаження. З умови задоволення вихідних граничних умов формується система інтегральних рівнянь для визначення компенсуючих навантажень. Розв'язок задачі одержуємо у вигляді розвинення у подвійні тригонометричні ряди по функціях, що задовольняють граничні умови допоміжної пластини.

Досліджено коливання п'ятишарового шарнірно опертого елемента скління при ударі сталевим індентором. Порівняння чисельних результатів з експериментальними даними показало їх добру узгодженість.

Розроблений метод може бути використаний при проектуванні безпечного багатошарового скління з урахуванням умов експлуатаційного та аварійного динамічного навантаження.

### Список використаних джерел

1. Smetankina N., Malykhina A., Merkulov D. Simulating of bird strike on aircraft laminated glazing. MATEC Web of Conferences. 2019. Vol. 304. P. 01010-01016.
2. Misura S., Smetankina N., Misiura Ie. Optimal design of the cyclically symmetrical structure under static load. Lecture Notes in Networks and Systems. Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering-2020. Springer: Cham, 2021. Vol. 188. P. 256–266.
3. Smetankina N. V., Postnyi O. V., Merkulova A. I., Merkulov D. O. Modeling of non-stationary temperature fields in multilayer shells with film heat sources. In: 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). 2020. P. 242–246.
4. Гонтаровський П.П., Сметанкіна Н.В., Гармаш Н.Г., Глядя А.А., Клименко Д.В., Сиренко В.Н. Дослідження напружено-деформованого стану паливного бака вафельної конструкції ракети-носія. Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій. Дніпро, 2019. Вип. 29. С. 91–102.
5. Smetankina N., Semenets O., Merkulova A., Merkulov D., Misura S. Two-stage optimization of laminated composite elements with minimal mass. Smart Technologies in Urban Engineering. STUE-2022. Lecture Notes in Networks and Systems. Springer, Cham, 2023. Vol. 536. P. 456–465.
6. Malykhina A. I., Merkulov D. O., Postnyi O. V., Smetankina N. V. Stationary problem of heat conductivity for complex-shape multilayer plates. Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series “Mathematical modeling. Information technology. Automated control system”. 2019. Vol. 41. P. 46–54.

УДК 658.567.1; 666.952.2; 66.092-977

## ГІБРИДНІ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ І КОМУНІКАЦІЙ

**Монахов Сергій Вікторович,**

аспірант;

**Федоренко Олена Юрївна,**

доктор технічних наук, професорка, професорка

**Гуровий Данило Валерійович,**

студент,

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

[fedorenko\\_e@ukr.net](mailto:fedorenko_e@ukr.net)

Одним з першорядних завдань будівельної індустрії є збереження тепла опаленні та водопостачанні в житловому і промисловому секторі. Аналіз властивостей найбільш поширеної в будівництві теплоізоляції, зокрема мінераловатних та спінених полімерних матеріалів, примушує звернути увагу на альтернативні способи збереження тепла при експлуатації будівельних конструкцій та комунікацій [1]. Тонкоплівкова теплоізоляція має ряд переваг: низьку теплопроникивість ( $\sim 0,0011\text{--}0,0015 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ), еластичність, хімічну інертність, високу адгезію до матеріалів різної природи (металу, дерева, полімерів, бетону, кераміки, штукатурки) тощо.

Метою роботи є розробка рідких теплоізоляційних покриттів на основі плівкоутворюючих матеріалів з неорганічними наповнювачами техногенного походження.

До складу рідких теплоізоляційних покриттів (РТП) входять теплоізолюючий наповнювач (зазвичай використовують штучні скло- або керамічні мікросфери), рідка полімерна основа [1], яка забезпечує рівномірний розподіл часток наповнювача та покращує зчеплення з матеріалом конструкції, модифікуючі добавки, здатні підвищити еластичність плівок, їх морозо- і термостійкість тощо, та пігменти, які забарвлюють теплоізоляційні покриття.

Основними вимогами до РТП є теплопровідність за температури  $25^\circ\text{C}$  не вище  $0,17 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$ , широкий діапазон робочих температур, технологічність приготування та під час нанесення, суцільність покриття (для забезпечення надійної ізоляції та виключення потрапляння вологи, яка спричиняє корозію металевих конструкцій) [1]. Не менш важливими є негорючість, нетоксичність та стійкість до УФ-випромінювання для запобігання швидкому старінню.

З урахуванням вимог до РТП як полімерні плівкоутворюючі речовини в межах даних досліджень використовували акрилову (X-Treme), стирол-акрилову (Акронал-290Д) та епоксидну (Е-20) композиції [1]. Як теплоізоляційний наповнювач вводили зольні мікросфери, виділені з золошлакових відходів Криворізькій ТЕС, для яких було визначено хімічний, гранулометричний та фазовий склад золосфер, а також їх властивості: густину,

міцність на всебічний стиск ТКЛР та теплопровідність. Як матеріал основи, на яку наносили отримані теплоізоляційні покриття, використовували різні будівельні матеріали: деревину, сталь, бетон, керамічну та клінкерну цеглу, керамограніт.

Після фракціонування наповнювача, дозування і ретельного перемішування компонентів отримували композицію, яку наносили на основу після її знежирення і очищення від пилу та іржі. Експериментально визначені технологічні параметри нанесення покриттів: кількість золосфер (30 об. %/см<sup>3</sup> при співвідношенні фракцій 30–50 мкм та 50–150 мкм 1:1), густину (1,04 г/см<sup>3</sup> та вологовміст (40 %) покриття для нанесення валиком або пензлем [1].

Для отриманих покриттів визначено час полімеризації (н. у.) та досліджено експлуатаційні властивості – теплопровідність (0,0025–0,005 Вт/(м·К)), адгезію до матеріалу основи, теплостійкість (–30–200 °С), водопоглинання після повної полімеризації (0,08–7,8), а також твердість за Шором, яка складає:

- для РТП на акриловій основі 41 за шкалою А,
- для РТП на стиролакриловій основі 88 за шкалою А,
- для РТП на епоксидній основі 78 за шкалою D.

За результатами досліджень рекомендовано використання покриттів на водно-полімерній основі для теплоізоляції зовнішніх та внутрішніх стін з цегли та бетону; покриття на епоксидній основі – для теплоізоляції металевих конструкцій. Для підвищення температуростійкості останніх (до 300 °С) рекомендовано проводити затвердіння суміші за температури 130–150 °С у присутності фталевого ангідриду [1]. Розрахунок тепловитрат ізольованого трубопроводу теплових мереж різними матеріалами свідчить про високу ефективність розроблених РТП: у порівнянні з пінополіуретаном і мінеральною ватою тепловитрати зменшуються на 30–50 % залежно від товщини покриття і температури теплоносія [2]. Розрахунок економії тепла утеплених зовнішніх стін будівлі за стандартною методикою [3] показав, що річна економія умовного палива з теплотворною здатністю 29300 кДж/(кг·м<sup>2</sup>) у випадку використання РТП товщиною 0,5 мм для зовнішньої стіни площею 100 м<sup>2</sup> становитиме до 6,5 т/рік.

### Список використаних джерел

1. Федоренко О.Ю., Крамаренко В.Ю., Полухіна К.С., Іголкін В.М. Розробка рідких теплоізоляційних покриттів з використанням техногенної сировини. Прикладні науково-технічні дослідження: мат. III міжнар. наук.-практ. конф., 3-5 квіт. 2019 р. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2019. С. 141.
2. СНиП 2.04.14-88 Теплова ізоляція обладнання і трубопроводів. НДПП «Теплопроект», 1988.
3. СНиП II-3-79\*\* Будівельна теплотехніка. Науково-дослідний інститут будівельної фізики, 1979.

УДК 666.295.5

## ЛЕГКООЧИСНІ ГЛАЗУРИ ДЛЯ КЕРАМІЧНОЇ ПЛИТКИ

**Покроєва Яна Олександрівна,**

аспірантка;

**Саввова Оксана Вікторівна,**

доктор технічних наук, професорка, професорка;

**Тимощук Максим Ігорович,**

магістрант;

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

**Куценко Єкатеріна Євгенівна**

учениця

Харківський ліцей №6 Харківської міської ради

[yana.pokroieva@kname.edu.ua](mailto:yana.pokroieva@kname.edu.ua)

Збільшення вимог до високої одночасно легко- та самоочисної здатності та біоцидної дії привело до розвитку технологій функціональних покриттів на традиційних глазурованих поверхнях. Відомо, що саме гідрофобні поверхні забезпечують створення бар'єру, який запобігає проникненню води на поверхню плитки, тим самим зменшуючи ймовірність адгезії органічних та неорганічних забруднювачів та патогенних мікроорганізмів

На адгезію матеріалів та мікроорганізмів до поверхні глазури можуть бути виділені наступні фактори:

- тип та природа сил взаємодії на поверхні контакту;
- присутність промоторів адгезії, які знижують енергію взаємодії;
- взаємопроникнення контактуючих матеріалів або взаємодія (живлення) мікроорганізмів на поверхні;
- геометрія поверхні;
- твердість, абразивостійкість та хімічна стійкість поверхні.

В загальному випадку супергідрофобність (кут контакту  $> 150^\circ$ ), здатність до самоочищення й низька адгезія може бути реалізована шляхом імітації структури квітки лотоса: мікро- та наношорсткість з низькою поверхневою енергією. Забезпечення ієрархічної топографії поверхні (утвореної нано- та мікроструктури) впливає на легкоочисну та бактеріостатичну активність в керамічній глазури, беручи до уваги, що вказаний механізм реалізується лише шляхом фізичної взаємодії. Це є надзвичайно важливим, оскільки широко застосовуваний спосіб введення до складу керамічних та скломатеріалів та покриттів важких металів та реалізація протимікробної дії шляхом їх вилуговування в розчин у разі контакту з розчинами обмежується високою хімічною стійкістю глазури.

Саме змодельована структура поверхні може призвести до гідрофобних або гідрофільних властивостей у керамічній глазури, і ці властивості корелюють

зі здатністю бактерій закріплюватися на поверхні. Для пояснення гідрофобних або гідрофільних властивостей, які пов'язані з архітектонікою поверхні, використовують моделі Венцеля та Кессі-Бакстера. Тоді як модель Венцеля визначає, що контакт між шорсткою твердою поверхнею та рідиною не переривається, модель Кессі-Бакстера передбачає, що існують повітряні кишені між шорсткою твердою поверхнею та рідиною.

Найбільш розповсюдженим способом забезпечення гідрофобності покриттів для різних матеріалів є нанесення наноструктурованих гідрофобних плівок на основі  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ -силан [1] кремнезему [2], які характеризуються високими легко- та самоочисними, протипиловими біоцидними властивостями та низькою здатністю до обледеніння. Однак їх недостатня твердість при застосуванні їх для керамічної плитки, яка експлуатується в умовах значного абразивного зношування, не дозволяє забезпечити їх надійність та висока довговічність. Введення до складу глазурей гідрофобних компонентів, зокрема наноструктурованого оксиду алюмінію [3] може суттєво вплинути на технологічний процес.

Одним із механізмів отримання супергідрофобних та антибактеріальних керамічних поверхонь є введення значної кількості оксид цинку до складу глазури. Після процесу спікання кристалізація віллеміту провокує появу певного рельєфу поверхні, що дозволяє змінити контактний кут краплі води (до  $134^\circ$ ) й властивості поверхні. Комбінація мікроструктури з наноструктурованою поверхнею генерує гідрофобні властивості (контактний кут краплі води  $110^\circ$ ), а також антимікробні властивості керамічні глазурі. Поверхня керамічної глазури не тільки має визначену структуру, але також включають елементи такі як мідь або цинк з антимікробними властивостями. Антимікробні властивості реалізуються за рахунок синергії гідрофобністю та наявності елементів з антимікробними властивостями.

### Список використаних джерел

1. Han J., Liu E., Zhou Y., Zhao S. et al. Robust superhydrophobic film on aluminum alloy prepared with  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ -silane composite film for efficient self-cleaning, anti-corrosion and anti-icing. *Mat. Today Communications*. 2022. 105085.
2. Motahareh Borzou Esfahani, Akbar Eshaghi, Saeed Reza Bakhshi Transparent hydrophobic, self-cleaning, anti-icing and anti-dust nano-structured silica based thin film on cover glass solar cell. *J. of Non-Crystalline Solids*, 2022. 121479.
3. Sanabria-Mafaile J., San Martin-Martinez E., Cruz-Orea A. Thermal properties of superhydrophobic films applied in ceramic tiles: *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2020. Vol. 607. P. 125524
4. Srimala Sreekantan Ang Xue Yong, Norfatehah Basiron. Effect of Solvent on Superhydrophobicity Behavior of Tiles Coated with Epoxy/PDMS/SS. *Polymers*, 2022. Vol. 14(12). P. 2406.

UDC 666.946

## CREATION OF COMPOSITE MATERIALS FOR RADIATION PROTECTION SYSTEMS

**Olena Khrystych,**

candidate of technical science, Associate professor;

**Maryan Tkachenko,**

cadet

National University of Civil Protection of Ukraine

Kharkov, Ukraine

[el-green@ukr.net](mailto:el-green@ukr.net)

Radiation protection is an important factor in the safe operation of nuclear reactors, spent nuclear fuel and radioactive waste storage facilities, as well as scientific and medical equipment that uses sources of ionizing radiation. The reliable operation of the NPP must be ensured throughout the entire life cycle, including the phase of decommissioning. The development of compositions of a new composite material for radiation protection based on extra-heavy concrete, which can be used in biological protection systems, is relevant.

The main task of radiation protection is to ensure the safety of both personnel working in the fields of ionizing radiation and people not in contact with radiation sources by reducing individual equivalent doses below the maximum permissible levels. During the works related to the creation of nuclear weapons, the tasks of radiation protection of workers of uranium mines, gas diffusion enrichment plants and other enterprises for the production of nuclear fuel were solved, as well as the construction of multilayer protection against the radiation of powerful nuclear reactors ( $\gamma$ -radiation, neutrons). Thus, a new link of radiation protection was formed - the protection of the biosphere from the influence of nuclear energy, including when burying waste with high specific activity (for example, spent fuel oil) [1].

Protection against external radiation flows. When working with closed sources, that is, radioactive radiation sources, the device of which excludes the ingress of radioactive substances into the environment, personnel can be irradiated only by external radiation flows. Depending on the conditions of radiation, the nature and location of the source, various measures and methods of protection against radiation are applied: protection by time; distance protection; shielding of radiation sources; personal protective equipment; radio protectors.

Stationary protective fences can include: protective walls, floor and ceiling coverings, doors, etc. Mobile protective devices include: various types of screens and screens; diaphragms of installations and devices that limit the flow of rays; containers for transporting radioactive substances. The reliability of protective screens is controlled by appropriate dosimetric devices. Protective screens ensure safe work



with ionizing radiation. The thickness of the screens is calculated based on the laws of attenuation of radiation in the substance of the screen. The use of various shielding materials to protect against the penetration of X-rays and gamma rays depends on the density of the substance used for protection. Yes, lead is more suitable in this case than aluminum, water or paper. Screens made of materials with a large atomic number and high density are used to protect against X-ray and  $\gamma$ -radiation: lead, tungsten, iron. Metals of medium density can also be used: stainless steel, cast iron, copper alloys, as well as composite materials based on ultra-heavy concrete, which contains elements with a high atomic number and high density. Shielding can reduce the intensity of radiation in the workplace to any given level.

Composite materials for biological protection are heavy concrete based on special binders (density 3200 kg/m<sup>3</sup> and higher) [2]. Concrete is a composite material consisting of cement, water and aggregates (fillers). Also, concrete has high chemical and corrosion resistance, durability, abrasion resistance, and frost resistance. The design service life of modern NPP power units is 60 years; taking into account the time for decommissioning, it is necessary to ensure the strength and protective properties of concrete for 100 years. To increase the protective properties of concrete, special aggregates are added to it, which reduce the permeability of gamma and neutron radiation through concrete. To significantly improve the extinction of gamma radiation, a heavy aggregate, such as barite, should be added to the composition of concrete.

Therefore, the developed compositions of composite materials can be proposed for use in the synthesis of new varieties of composite construction materials for special purposes for stationary protective structures and fences for shielding from X-ray and  $\gamma$ -radiation.

### References:

1. Shabanova G. N., Korohodska A. N., Kustov M. V., Khrystych E. V., Taraduda D. V., Logvinkov S. M., & Ivashchenko M. Y. Barium-containing cement and concrete for protection against electromagnetic radiation. *Functional Materials*. 2021. 28(2), P. 323–326. <https://doi.org/10.15407/fm28.02.323>
2. Романенко І. М., Голюк М. І., Носовський А. В. Дослідження нового композитного матеріалу на основі надважких бетонів і базальтової фібри для радіаційного захисту від гамма-випромінювання. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2018. № 1(77). С. 52–28.

УДК 666.266

## НАНОСТРУКТУРОВАНІ ПРОЗОРИ СКЛОКРИСТАЛІЧНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЇ ТЕХНІКИ

**Тур Олег Георгійович,**

аспірант;

**Саввова Оксана Вікторівна,**

доктор технічних наук, професорка, професорка;

**Воронов Геннадій Костянтинович,**

кандидат технічних наук, доцент, доцент;

**Довгопол Анастасія Вікторівна,**

студентка

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

[oleh.tur@kname.edu.ua](mailto:oleh.tur@kname.edu.ua)

За останні два десятиліття значну увагу привертають оптично прозорі керамічні й склокерамічні матеріали як різноманітні оптичні елементи [1]. Актуальність розробки обумовлена практичною потребою в джерелах лазерного випромінювання мікронного діапазону, які відповідають сучасним стандартам ЄС та НАТО щодо безпечного для зору діапазону використовуваних частот (1,5–1,6 мкм) та енергії вихідного лазерного випромінювання (до 8 мДж). В Україні на теперішній час відсутні власні розробки імпульсно-періодичних лазерів півторамакронного діапазону, а також не налагоджено виробництво основних комплектуючих для цього типу лазерів, зокрема пасивних модуляторів добротності. У країнах ЄС процес удосконалення старих і розробка нових лазерних джерел, а також апаратури на їх основі носить постійний характер.

Ефективність виготовлення керамічних компонентів має потенціал бути високорентабельним й демонструвати покращену однорідність оптичних властивостей порівняно з кристалічними. Особливо для оптичних лазерних компонентів все ще залишається нетривіальна проблема подолання залишкового розсіювання світла, яка спричинена пустотами й дислокаціями матеріалу. До перспективних напрямків можна віднести розробку лазерних стрижнів Nd:YAG. Порівняно з монокристалічними лазерними стрижнями однакового розміру, виготовлені керамічні стрижні показали вищу ефективність лазерного випромінювання та лише незначну зміну механічної міцності [1].

Відомо, що монокристали  $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$  [2] застосовується для перемикання добротності для лазерів ближнього інфрачервоного діапазону на основі  $\text{Er}^{3+}$  ( $\lambda=1,54$  мкм). Альтернативою керамічні матеріали на основі  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ , які леговано  $\text{Co}^{2+}$  як пасивні елементи з модуляцією добротності

в 1,534 мкм лазері Er:Glass. Але вирощування оксидних монокристалів ускладнене необхідністю використання вартісного устаткування та оснастки за умов високих температур ( $t_{\text{пл.}} =$  близько 2000 °С), необхідністю дотримання однорідності розподілення активатора в об'ємі, а для кераміки – складністю вибору технологічних параметрів її одержання. Отримання оптичної склокераміки з оксидними нанокристаллами, які активовані іонами  $\text{Co}^{2+}$ , створить науково-технологічне підґрунтя для розробки технології виробництва матеріалів для пасивних модуляторів добротності випромінювання Yb-Er лазерів (1,5 мкм), що є вкрай необхідним етапом розробки компактних імпульсних лазерів безпечного для зору діапазону довжин хвиль.

Прозору склокераміку, що містить нанокристали  $\text{Co:Mg(Al,Ga)}_2\text{O}_4$  (середній діаметр 7–9 нм), синтезують термічною обробкою за 850–950 °С із магнієво-алюмосилікатного скла, що містить  $\text{TiO}_2$  та легований  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  і  $\text{CoO}$ . Такий матеріал демонструє широкосмугове  ${}^4\text{A}_2^4(\text{F}) \rightarrow {}^4\text{T}_1^4(\text{F})$  поглинання за рахунок іонів  $\text{Co}^{2+}$ , низький флюенс насичення ( $\sim 0,5$  Дж/см<sup>2</sup>), швидкий час відновлення початкового поглинання ( $\sim 300$  нс) й високий поріг пошкодження лазером ( $\sim 20$  Дж/см<sup>2</sup>) [3, 4]. Прозора шпінельна склокераміка використовуються для пасивної модуляції добротності діодного Er,Yb:скляного лазера з боковою накачкою, який генерує імпульси 3,1 мДж/20 нс (пікова потужність 155 кВт) на довжині хвилі 1535 нм з режимом виходу  $\text{TEM}_{00}$ . Ефективність модуляції добротності склокераміки на основі  $\text{Co:Mg(Al,Ga)}_2\text{O}_4$  порівнюється з такою для кераміки, легової  $\text{Co}^{2+}$ , та монокристалів  $\text{Co:MgAl}_2\text{O}_4$ .

Наноструктуровані склокристалічні матеріали на основі шпінелі мають вищу конкурентну здатність завдяки вищій технологічності та меншій вартості є перспективними для подальшого застосування в Er:YAG та інших кристалічних (або керамічних) лазерах Er з пасивною модуляцією добротності.

### Список використаних джерел

1. Shirakov A., Burshtein Z., Goldstein A., Frumker E., Ishaaya A.A. Use of  $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$  transparent ceramics in passive Q-switching of an Er:Glass laser at 1.534  $\mu\text{m}$ . *Optics Express*, 2020. Vol. 28, Iss. 15. P. 21956–21970.
2. Vitkin V., Loiko P., Dymshits O., Zhilin A., Alekseeva I., Sabitova D., Polishchuk A., Malyarevich A., Mateos X., Yumashev K.V. Passive Q-switching of an Er, Yb:glass laser with  $\text{Co:Mg(Al,Ga)}_2\text{O}_4$ -based glass-ceramics. *Applied Optics*, 2017. Vol. 56, Iss. 8. P. 2142–2149.
3. Саввова О.В., Воронов Г.К., Фесенко О.І., Смирнова Ю.О., Пилипенко О.І., Покроєва Я.О., Тур О.Г. Структура склокерамічних матеріалів : монографія. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. 2023. 152 с.
4. Dymshits O., Shepilov M., Zhilin A. Transparent glass-ceramics for optical applications. *Glass-ceramics*. 2017. Vol. 42, Iss. 3. P. 200–205.

УДК 666.266

## СКЛОКРИСТАЛІЧНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ДИСИЛКАТУ ЛІТІЮ СТОМАТОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

**Тюріна Оксана Ігорівна,**

студентка;

**Саввова Оксана Вікторівна,**

доктор технічних наук, професорка, професорка;

**Фесенко Олексій Ігорович,**

кандидат технічних наук, старший викладач;

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

**Буханцова Дар'я Володимирівна<sup>2</sup>**

учениця

Харківський ліцей №6 Харківської міської ради

[oksana.tyurina@kname.edu.ua](mailto:oksana.tyurina@kname.edu.ua)

Склокристалічні матеріали знаходять широке використання в багатьох галузях науки і техніки завдяки поєднанню різноманітних фізико-хімічних властивостей та експлуатаційних характеристик, що притаманні речовинам у склоподібному та кристалічному станах. Напрямами сучасного матеріалознавства є синтез «інтелектуальних» склокристалічних матеріалів, які відрізнятимуться цілою низкою унікальних властивостей [1].

На сьогоднішній день цікавість до одержання нових склокристалічних матеріалів пояснюється необхідністю забезпечення функціональності машин і механізмів нового покоління та розроблення принципово нових аспектів їх створення. Серед вказаних матеріалів особливе місце займають склокристалічні матеріали на основі дисилікату літію. Це пов'язано з їх високими міцнісними показниками, низькою вагою, технологічністю та порівняно низькою вартістю.

Склокераміка на основі дисилікату літію вже тривалий час успішно застосовується у стоматології через її високу міцність, природний зовнішній вигляд та можливість пресування дуже тонких конструкцій. Міцність на вигин такої високоякісної стоматологічної склокераміки складає 450 МПа [2]. Однак склокерамічні матеріали на основі дисилікату літію імпортного виробництва є вартісними, що ускладнює процес розв'язання нагальних проблем протезування в Україні.

Одним з перспективних напрямків створення сучасних стоматологічних протезів, у тому числі гібридної кераміки, є використання, як мінеральної складової склакомпозиційних матеріалів, які відрізняються виключно високими показниками тріщиностійкості завдяки формуванню взаємопроникної ситалізованої структури за рахунок спрямованої кристалізації нанорозмірних кристалічних фаз. Поряд з цим наявність еластичної склофази у структурі

склокомпозиційних матеріалів дозволить наблизити пружні властивості, твердість та здатність до опалесценції [3].

Для синтезу скломатриці було обрано склади літійсилікатних стекол з таким вмістом фазоутворюючих компонентів:  $\text{SiO}_2$  – 50,0–71,8;  $\text{Li}_2\text{O}$  – 11,0–20,0. Вміст каталізаторів кристалізації складав:  $\text{ZnO}$  – 0,1–4,0;  $\text{ZrO}_2$  – 0,1–11,0;  $\text{TiO}_2$  – 0,1–5,0;  $\text{CeO}_2$  – 0,1–2,0;  $\text{LiF}$  – 0,1–3,5;  $\text{CaF}_2$  – 0,1–2,5;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 0,1–4,0;  $\text{V}_2\text{O}_3$  – 0,1–6,0;  $\text{La}_2\text{O}_3$  – 0,1–4,0;  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  – 0,1–1,5;  $\text{MnO}_2$  – 0,1–4,0. Під час складання шихт для варки стекол використовували природні сировинні матеріали, технічні продукти та реактиви марки «х.ч.». Варку стекол здійснювали у корундових тиглях в лабораторній електричній печі впродовж 6 годин: літійсилікатне скло синтезували за температур 1350–1400 °С та виливали в підігріті графітові форми і відпалювати в муфельній печі. Скляні циліндричні заготовки на основі літійсилікатного скла попередньо витримували на стадії зародкоутворення в інтервалі температур 600–650 °С впродовж 30–60 хв для забезпечення необхідної кількості центрів кристалізації та зародків кристалів. Формування протезів проводили способом гарячого (високотемпературного) пресування, який частково заснований на техніці лиття за виплавленими моделями.

Склокерамічний протез, який отримано в умовах низькотемпературної двостадійної термічної обробки, характеризується високою міцністю на згин ( $\sigma \geq 100$  МПа за ISO 6872:2015). Висока в'язкість руйнування розроблених вітчизняних склокерамічних протезів поряд з наближеними значеннями модуля пружності до природних зубів дозволить забезпечити значний термін експлуатації виробу в умовах контакту із зубами-антагоністами бокового ряду в процесі жувального циклу.

Порівняння характеристик розробленого стоматологічного протезу DL st.glass з продукцією лідерів стоматологічного протезування (компаній Ivoclar Vivadent (Ліхтенштейн) та VITA Zahnfabrik (D-Bad Säckingen, Німеччина)) дозволило встановити, що розроблений матеріал має високі експлуатаційні властивості на рівні імпортованих аналогів.

### Список використаних джерел

1. Саввова О.В., Воронов Г.К., Фесенко О.І., Смирнова Ю.О., Пилипенко О.І., Покроєва Я.О., Тур О.Г. Структура склокерамічних матеріалів : монографія. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. 2023. 152 с.
2. Саввова О.В., Воронов Г.К., Фесенко О.І., Смирнова Ю.О., Байрамов Е. Інноваційні напрямки розроблення керамічних матеріалів для стоматології. Кераміка: наука та життя, 2021. Том. 1(50). С. 19–25
3. Savvova O.V., Fesenko O.I., Voronov H.K., Riabinin S .O.Features of the formation of nanostructure in lithium-aluminium-silicate glass–ceramic materials at the initial stages of nucleation. Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii. 2020. Vol. 18(4). P. 889–902.

УДК 666.15

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ УДОСКОНАЛЕННЯ МОДИФІКАЦІЇ  
ПОВЕРХНІ СКЛЯНОЇ ТАРИ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ****Фалько Тетяна Валентинівна,**

аспірантка;

**Саввова Оксана Вікторівна,**

доктор технічних наук, професорка, професорка;

**Воронов Геннадій Костянтинович,**

кандидат технічних наук, доцент, доцент;

**Годійчук Валерій Миколайович**

магістрант

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

[tetyana.falko@kname.edu.ua](mailto:tetyana.falko@kname.edu.ua)

Проблема підвищення експлуатаційних властивостей промислових скляної має важливе значення зважаючи на зменшення її ваги та розширення областей застосування у зв'язку з переходом на менш вартісні склади утому числі з використанням альтернативної сировини. Відомо, що поліпшення термомеханічних властивостей та хімічної стійкості скла досягається шляхом зміни складу та структури його поверхневого шару [1]. Для цього застосовується загартування скла в різних середовищах, іонний обмін та його різновиди, нанесення різного роду захисних покриттів, термохімічна обробка газоподібними реагентами та інші методи [2, 3]. У результаті іонного обміну залишкові напруги стискання на поверхні скла можуть бути викликані шляхом обміну менших іонів лужного металу в склі на більші іони з розплаву солей за температур, нижчих ніж температура склування  $t_g$ , за допомогою «ефекту наповнення», що приводить до зміцнення скла без втрати світлопроникності. Прикладом є зміцнене обміном  $Na^+/K^+$  вапняно-натрієве силікатне скло, натрієво-алюмосилікатне скло та натрієво-боросилікатне скло [3].

Такі технології поряд з перевагами має серйозні недоліки: необхідність нанесення на поверхню скла різного роду реагентів, виготовлення обладнання для дозування та подання реагентів на виробі, погіршення санітарно-гігієнічних умов роботи тощо. Загартування скла можливе за зміни технології виробництва та потребує великих капітальних витрат. Крім того, загартування піддаються тільки виробі простої форми та товщиною понад 2 мм.

Також широко відомий метод зміцнення поверхні скла шляхом знелуговуванням, заснований на використанні відмінностей між ТКЛР збагаченого кремнеземом поверхневого шару скла та ТКЛР решти складових скла. Комерційні тарні стекла, виготовлені з вапняно-натрієвого скла мають значний відсоток іонів натрію у внутрішній структурі. Оскільки натрій є лужним елементом, його вибіркоче видалення з поверхні приводить до вилуговування та підвищення хімічної стійкості. У силікатному склі

ззелуговані поверхні є «багатими кремнеземом», оскільки можна вважати, що вибіркоче видалення іонів лужних металів залишає після себе поверхню, що складається в основному з кремнезему. Точніше, ззелуговування зазвичай передбачає не пряме видалення луку зі скла, а скоріш його заміну протонами  $H^+$  або іонами гідроксонію  $H_3O^+$  у структурі скла за допомогою іонного обміну.

Ззелуговування поверхневого шару і, як наслідок, зниження його ТКЛР досягається обробкою скла за високих температур у атмосфері кислих газів ( $SO_2$ ,  $SO_3$ ), в розчинах мінеральних кислот, в розплавах сірковмісних солей ( $K_2S_2O_7$ ,  $NaHSO_4$ ,  $KHSO_4$ ). З цією ж метою можуть бути використані газоподібний  $HC1$ , розчини дисульфату натрію, фторвмісні реагенти, що легко розкладаються, плазмова обробка [2]. Наприклад, на скляних заводах України для покращення властивостей поверхні скляної тари використовується обробка внутрішньої поверхні тари таблетованим (твердим) сульфатом амонію та газоподібним 1,1-дифторетаном. Сутність обох методів полягає у вилуговуванні поверхні скла кислими газами, в результаті чого модифікований поверхневий шар має підвищену в десятки разів хімічну стійкість, також суттєво зростає механічна міцність, термостійкість й мікротвердість скла.

На ТОВ «Малинівський скляний завод» з метою можливості застосування тарного скла для склотари медичного призначення, яка виробляється на основі вартісних бороалюмосилікатних стекел було оптимізовано склад скла та модифіковано його внутрішню поверхню для підвищення хімічної стійкості.

Встановлено, що за зміни співвідношення оксидів у склі в межах нормативної документації ДСТУ 21-003-2001 ( $SiO_2 = 72,3-73,2$ ;  $Na_2O + K_2O = 12,2-13,7$  мас. %), фактичні значення хімічної стійкості за  $98\text{ }^\circ C$  змінюються від  $0,47$  до  $0,22\text{ см}^3$  розчину  $0,01$  моль/ $дм^3$  хлоридної кислоти, а за  $121\text{ }^\circ C$  – від  $0,68$  до  $0,49\text{ см}^3$  розчину  $0,02$  моль/ $дм^3$  хлоридної кислоти, що відповідає III гідролітичному класу для тарного скла (ДСТУ 10134.1:2018). Для оцінки хімічної стійкості скла використовувався метод визначення, котрий полягає у впливі на подрібнене скло дистильованої води за температури  $98\text{ }^\circ C$  та  $121\text{ }^\circ C$ .

Для забезпечення високої хімічної стійкості готової продукції з тарного скла модифікацію внутрішньої поверхні проводять сумішшю 1,1-дифторетану (фреон 152a) з повітрям з рекомендованою концентрацією газу 5–17 %. Для модифікації використовується саме продукт горіння –  $HF$ , що взаємодіє з оксидом силіцію (IV):



Залежно від застосовуваної концентрації отримують різні значення хімічної та гідролітичної стійкості внутрішньої поверхні виробів із модифікованим внутрішнім шаром. Для лікєро-горілчаної промисловості достатньо – 5 % газу, для тари медичного призначення необхідні більш високі концентрації – 17–25 %.

Для оцінки результатів модифікації внутрішньої поверхні склотари використовувався метод контролю водостійкості внутрішньої поверхні за  $98\text{ }^\circ C$  (ДСТУ 13905:2018) для тари об'ємом 250 мл та було встановлено що

водостійкість внутрішньої поверхні становить  $0,05 \text{ см}^3$  розчину  $0,01 \text{ моль/дм}^3$  хлоридної кислоти. В той час, коли той самий показник в аналогічній тарі без обробки становить  $0,43\text{--}0,47 \text{ см}^3$  розчину  $0,01 \text{ моль/дм}^3$  хлоридної кислоти (стандарт – не більше  $0,45 \text{ см}^3$ ). Крім того була оцінена можливість використання склотари з обробленою внутрішньою поверхнею 1,1-діфторетаном для медичного призначення.

Для контролю використовувалися показники хімічної стійкості внутрішньої поверхні пляшок за  $121 \text{ }^\circ\text{C}$  згідно ГОСТ 10782-85. Зміна рН води після 30 хв у автоклаві становить 0,4. В тих самих умовах у пляшках без модифікованої внутрішньої поверхні – 3,7 (нормативне значення – не більше 0,8). Зміна рН 0,9 % розчину натрію хлориду після 60 хв у автоклаві становить 0,45; без модифікації – 1,9 (не більше 1,7). Також оцінювався показник гідролітичної стійкості поверхні згідно ДФУ 2.0. Отримано значення за цим показником  $0,07 \text{ см}^3$  розчину  $0,01 \text{ моль/дм}^3$  хлоридної кислоти; без модифікації –  $1,5 \text{ см}^3$  розчину  $0,01 \text{ моль/дм}^3$  хлоридної кислоти (нормативне значення – не більше  $0,30 \text{ см}^3$ ).

Отже, зміна хімічного складу скла в межах нормативної документації дозволяє підвищити хімічну стійкість скла для покращення його експлуатаційних властивостей та розширити коло його використання. Застосування модифікації внутрішньої поверхні тарного скла сумішшю повітря та 1,1-діфторетану дозволяє підвищити хімічну стійкість готової продукції з тарного скла та рекомендувати технологію знезугування для подальших досліджень при розробці зміцнених тарних стекел медичного призначення без суттєвого підвищення її вартості.

### Список використаних джерел

1. Karlsson S., Jonson B., Stålhandske C. The technology of chemical glass strengthening – a review. *Glass Technol.: Eur. J. Glass Sci. Technol.* 2010. Part A, Vol. 51, № 2. P. 41–54.
2. Carturan G., Khandelwal N., Tognana L., Sglavo V.M. Strengthening of soda-lime-silica glass by surface treatment with sol-gel silica. *J. Non-Cryst. Solids.* 2007. Vol. 353(16-17). P. 1540–1545.
3. Talimian A., M Sglavo V. Ion-exchange strengthening of borosilicate glass: Influence of salt impurities and treatment temperature. *J. of Non-Crystalline Solids.* 2016. Vol. 456. P. 12–21.
4. Li Z., Liu J., Yuan Y., Li E., Wang F. Effects of surface fluoride-functionalizing of glass fiber on the properties of PTFE/glass fiber microwave composites. *RSC Adv.* 2017. №7. P. 22810–22817.
5. Жеплинський Т.Б., Ілючок І.О., Вахула Я.І. Шляхи підвищення хімічної стійкості знебарвленої скляної тари. *Chemistry Technology and Application of Substances.* 2020. Vol. 3, №. 2. P.28–32.



УДК 666.3-121

## ВПЛИВ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ КЕРАМІЧНОЇ ЦЕГЛИ НА ЯКІСТЬ АНГОВНИХ ПОКРИТТІВ

Хоменко Олена Сергіївна

кандидат технічних наук, доцентка, доцентка;  
ДВНЗ Український державний хіміко-технологічний університет  
[elenahhks@ukr.net](mailto:elenahhks@ukr.net)

Ангобування керамічної цегли відкриває широкі можливості для реалізації декоративних ефектів, а також подовжує термін експлуатації виробів за рахунок додаткового захисту поверхні [1, 2].

Однак, для забезпечення високої якості ангобованих виробів необхідно враховувати чисельні фактори, які впливають на процес ангобування: хіміко-мінералогічний склад сировини ангобу та керамічного черепка, фракційний склад обох матеріалів, узгодженість їх усадочних процесів, температурного коефіцієнту лінійного розширення тощо [3].

Зокрема, мало вивченим є вплив шорсткості керамічного черепка на криючу здатність ангобів та якість ангобованих виробів в цілому, тому в даній роботі це актуальне питання [4] було розглянуте.

Метою роботи явилось дослідити вплив шорсткості керамічного напівфабрикату на адгезійну здатність ангобних покриттів та якість ангобного покриття після випалу.

У якості об'єктів досліджень обрано керамічні напівфабрикати різних виробників цегли: зразок № 1 (ТОВ «Керамейя»), зразок № 2 (ПрАТ «СБК»), зразок № 3 (ТОВ «Санта-Петрівка»). Ангоб, який наносили на зразки цегли, містив компоненти, мас. % [5]: глина тугоплавка – 65, пісок кварцовий – 10, склобій тарний – 25.

Дослідження шорсткості поверхні до та після ангобування здійснювали за допомогою профілометра UIT TR 200. Адгезію ангобу до керамічного зразка оцінювали за показником величини навантаження на відрив двох зразків з'єднаних за допомогою ангобу. Показник коефіцієнту дифузного відбиття (білизни) вимірювали на компараторі кольору КЦ-3.

На рисунку 1, а наведені профілограми керамічної цегли до ангобування. Видно, що профілограми відрізняються величиною і формою висоти нерівностей профілю. Найбільшу висоту нерівностей профілю ( $R_z$ , мкм) має зразок цегли № 3, для якого  $R_z = 38$ , потім йде зразок № 1 з  $R_z = 31$ , які відносяться до 4 класу шорсткості ( $R_z = 20-40$ ). Найменш шорстку поверхню має напівфабрикат цегли № 2 ( $R_z = 16$ ) з 5 класом шорсткості ( $R_z$  до 20).

Висока шорсткість поверхні напівфабрикату призводить до того, що навіть після нанесення шару ангобу профіль шорсткості виробу залишається досить інтенсивним (рис. 1, б), хоча й у меншому ступені – висоти нерівності зменшуються відповідно до: зразок № 3 –  $R_z' = 22$ , зразок № 1 –  $R_z' = 18$ , зразок № 2 –  $R_z' = 8$ .

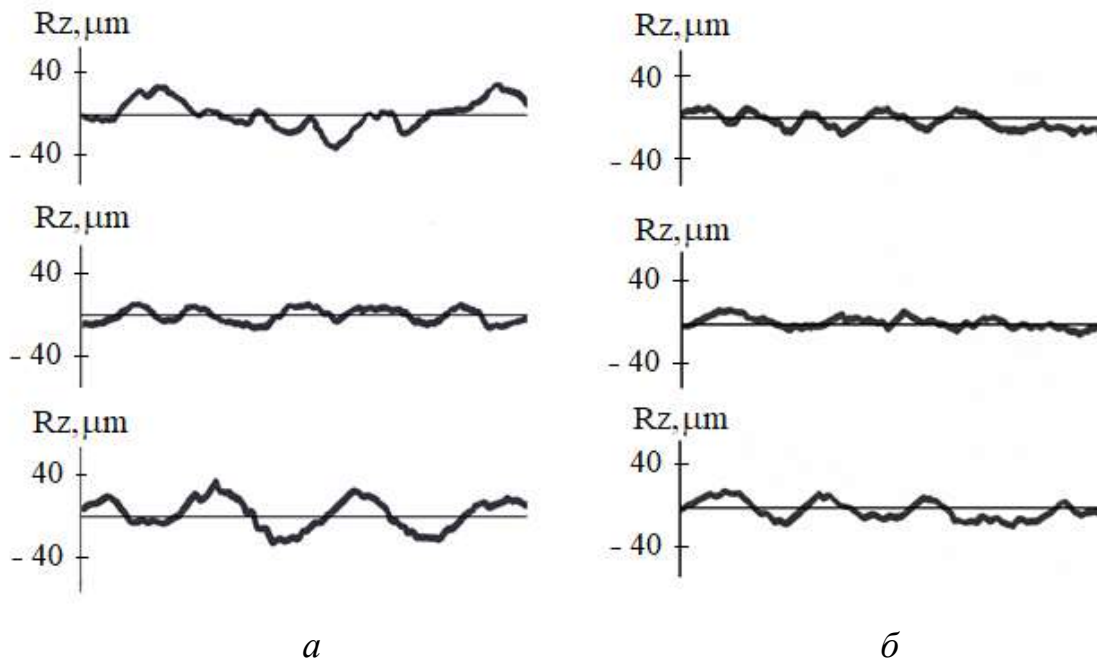


Рисунок 1. Профілограми напівфабрикатів зразків керамічної цегли до (а) та після (б) ангобування

Висока шорсткість поверхні напівфабрикату спричиняє більш високе зчеплення керамічної основи з ангобом (рис. 2, а). Так, зразок № 3 має міцність зчеплення  $0,88 \text{ кгс/см}^2$ , тоді як більш гладкий зразок № 1 –  $0,34 \text{ кгс/см}^2$ .

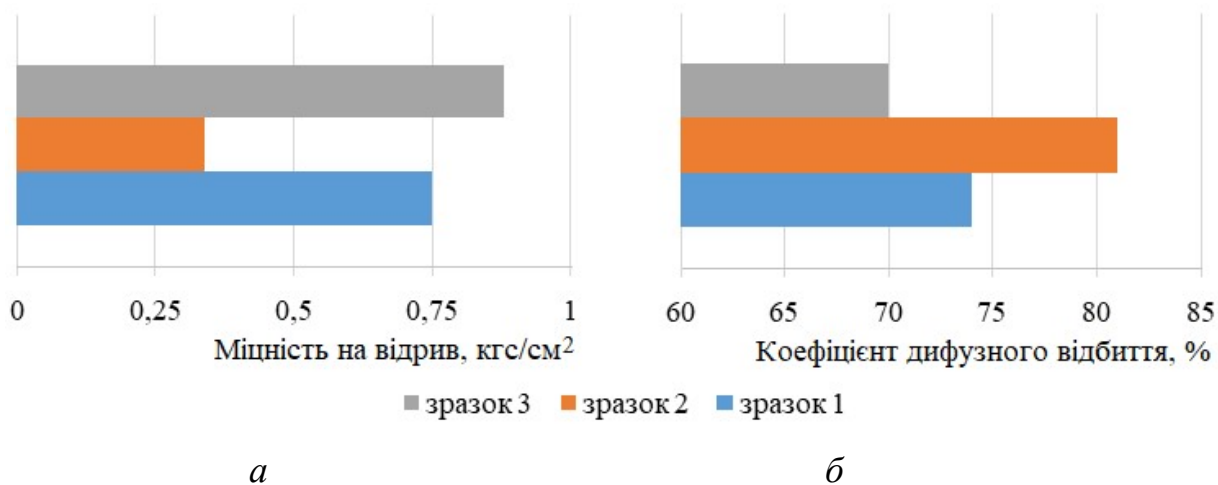


Рисунок 2. Властивості ангобованої цегли:

а – показники міцності покриттів на відрив від напівфабрикату після сушіння,  
 б – коефіцієнт дифузного відбиття ангобованої поверхні після випалу

Водночас більш шорстка поверхня виробів залишається і після ангобування та випалу виробів, що призводить до зниження показника білизни ангобів. Так, у найбільш шорсткого зразка № 3 показник білизни склав лише 72 %, тоді як менш шорсткий зразок мав показник білизни 81 %. Для зразка № 3 були характерні окремі ділянки з жовтуватими плямами внаслідок заповнення шорстких заглиблень склорозплавом, що в цілому і призводило до зниження показника білизни.

Таким чином, можна констатувати, що для біловипалених ангобованих виробів керамічної цегли шорсткість поверхні відіграє важливу роль. З одного боку, шорсткий профіль збільшує адгезійну здатність покриття у сирому стані, що полегшує транспортування виробів під час технологічного процесу. З іншого боку, високі показники висоти нерівностей  $R_z$  у напівфабрикату неодмінно будуть сприяти зниженню показника білизни ангобу, що призведе до зниження його естетичних властивостей.

### Список використаних джерел

1. Dal Bó M., Bernardin A. M., Hotza D. Formulation of ceramic engobes with recycled glass using mixture design. *Journal of Cleaner Production*. 2014. Vol. 69. P. 243–249. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.088>
2. Khomenko, O., Datsenko, B., Sribniak, N. et. al. Development of engobe coatings based on alkaline kaolins. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Technology organic and inorganic substances*. 2019. Vol. 6. No. 6 (102). P. 49–56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.188126>
3. Nandi V.S., Raupp-Pereira F., Montedo O.R.K., Oliveira A.P.N. The use of ceramic sludge and recycled glass to obtain engobes for manufacturing ceramic tiles. *Journal of Cleaner Production*. 2015. Vol. 86. P. 461–470. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.091>
4. Sassoni E., Andreotti S., Bellini A. et. al. Influence of mechanical properties, anisotropy, surface roughness and porosity of brick on FRP debonding force. *Composites Part B: Engineering*. 2017. Vol. 108. P. 257–269. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.10.020>
5. Khomenko O., Tsyhanenko L., Tsyhanenko H. et. al. Designing engobe coatings for ceramic bricks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Technology organic and inorganic substances*. 2023. Vol. 3 No. 6 (123). P. 77–87. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.279918>

## **СЕКЦІЯ 2**

# ***ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА ХІМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У КРИЗОВИХ СИТУАЦІЯХ***

UDC 620.9:662.74

## MODELING OF COKE DISTRIBUTION IN A DRY QUENCHING ZONE

**Denis Miroshnichenko,**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department  
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»;

**Sergiy Kravchenko,**

PhD in Technical Sciences, Acting director;

**Stanislav Stelmachenko,**

Chief technologist of the coke department

State Enterprise "State Institute for Designing Enterprises of Coke Oven and By-Product Plants  
(GIPROKOKS) "

[sa\\_kravchenko@giprokoks.com](mailto:sa_kravchenko@giprokoks.com)

The coke industry is one of the essential industries and provides coke to ferrous metallurgy and several other sectors. Using coking, the chemical processing of hard coal of different grades and levels of oxidation is carried out [1].

The coke coming out of the furnace is quenched (cooling to 180–250 °C), because it is in a red-hot state (with a temperature of 950–1000 °C). The method and technique of quenching significantly affect its subsequent strength, and therefore the size of the pieces.

There are two quenching methods: wet and dry [2]. In the wet method, coke is sprayed with a certain amount of water in the quenching tower. The formed water vapor is removed through the exhaust pipe.

During dry quenching, coke is cooled by CO<sub>2</sub> or N<sub>2</sub>. In this case, the coke through a special charging facility is fed into the CDQ (coke dry quenching) installation, which consists of a quenching chamber divided into two parts, a cyclone in which dust is separated, a boiler-utilizer and a blower.

Dry quenching has a number of important advantages: absence of pollutant emissions into the atmosphere from the quenching tower; the possibility of providing coke chemical production with steam and electricity due to the utilization of the heat of red-hot coke; minimum coke moisture; obtaining a more homogeneous coke in terms of size; improving the quality of coke due to the absence of rapid cooling; corrosion prevention of metal structures in the area of the quenching tower.

At the same time, certain risks are inherent in CDQ, namely: large capital costs; loss of part of the coke due to gasification in the chambers; increased coke dust; additional pollutant emissions into the atmosphere with excess circulating gas.

Optimization of the CDQ process will allow minimizing the above-mentioned

disadvantages. Works on improving the CDQ process are carried out in various directions [3]. One of the directions for such optimization is the technology development for the uniform distribution of coke in the quenching chamber. Therefore, the research purpose described in the article is to find a solution in which each class of coke will be evenly distributed across the section of the quenching chamber.

The research consisted in studying the distribution of coke porosity in the quenching zone and the degree of influence on its various devices involved in loading and was carried out by the method of discrete elements.

Based on the statement that the pressure loss when passing through a layer of coke strongly depends on the size of its particles, it was suggested that the efficiency of coke cooling depends on the gas permeability of the charged coke, which is affected by the porosity (the fraction of free space between the particles). That is, it was necessary to determine what the porosity depends on and how it is distributed in the charged coke.

Practical data obtained at PrJSC "Avdiivka Coke" indicate the porosity dependence on the concentration of the different-size particles. At the same time, changes in porosity are enhanced due to particle size segregation as a result of shrinkage. The greatest compaction is observed in the center of filling coke, and the largest amount of coke material is found (coke, falling from a great height to one-point, self-compacts in this area). That is, the porosity in the quenching zone is affected not only by the size distribution of coke but also by compaction from a great height falling.

That is, by correctly choosing the form of devices and methods of charging/discharging coke, it is possible to achieve the maximum uniform distribution of small and large classes of coke during its dry quenching.

Figure 1 shows the real charging device used in PrJSC "Avdiivka Coke".

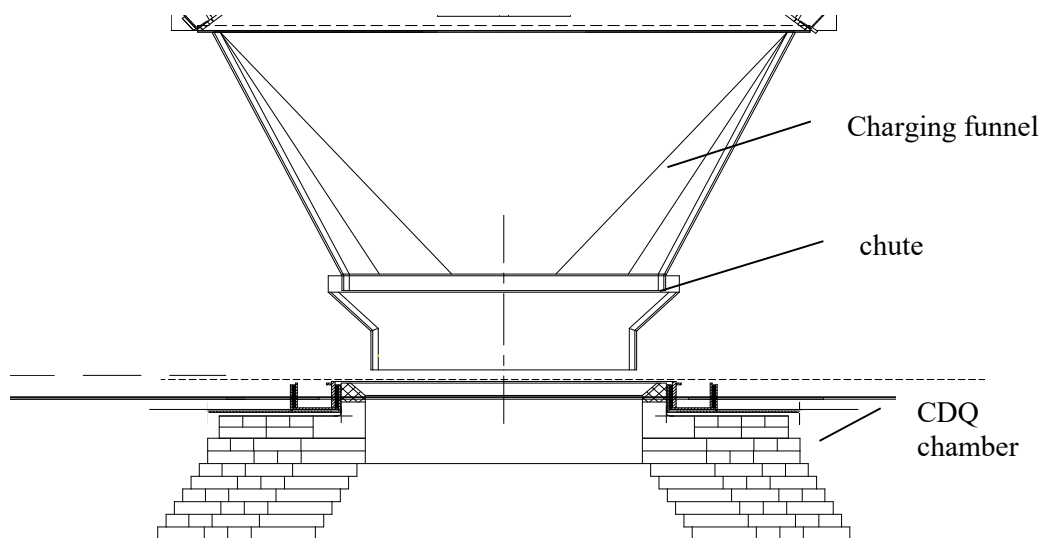


Figure 1. Real coke charging device of PrJSC "Avdiivka Coke"

The process of segregation of blast-furnace coke particles during their fall can be caused by several factors. One of the main factors is gravitational separation. As the coke particles fall, the heavier particles can move closer to the center of mass and the lighter particles move outward. This can lead to the formation of different layers of different sizes and densities. The greatest shrinkage was in the center of the backfill, where the largest amount of coke material was found, that is, falling from a great height to one point, the coke self-compacts in this zone. Thus, porosity in the quenching zone is affected not only by the size distribution of coke but also by compaction from a great height falling. And this has a stronger effect on porosity than segregation.

The first proposed alternative bell-shaped coke distributor had a diameter of 800 mm and a surface angle of 75° (Fig. 2).

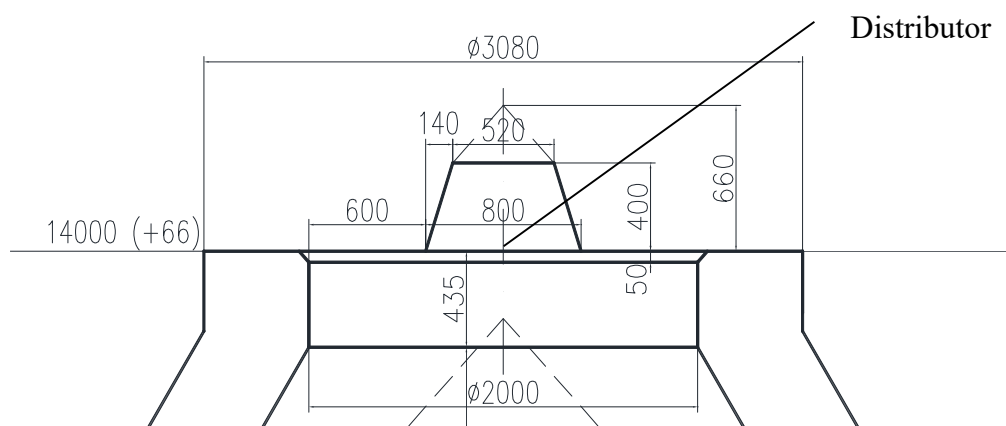


Figure 2. The first design of the coke distributor in the funnel of the loadin hole

The selected 800 mm diameter and shape distributor did not create a sufficient size funnel within the backfill (Fig. 2) to eliminate residual segregation. It also had little effect on the distribution uniformity of small and large classes to the coking chamber location.

As a result of a series of experiments, the second alternative form of the distributor and outlet of the funnel gap was selected (Fig. 3).

The main criteria for choosing the design of the distributor and funnel gap:

- particle distribution diameter (must be large enough that large particles can roll to the funnel center);
- coke descent time from the funnel (should not increase).

The emptying time of the old design discharging funnel of PrJSC "Avdiivka Coke" was 12.8 s (average consumption 744.6 kg/s). The emptying time of the new design funnel was 13.5 s (average consumption 592.6 kg/s).

Thus, the selected shape and dimensions of the distributor and the loading funnel, shown in Figure 3, ensure the scattering of particles with their subsequent stacking in the form of a gap inside the chamber. The gap ensures the dispersion of particles and their gradual movement toward the central axis during the loading.

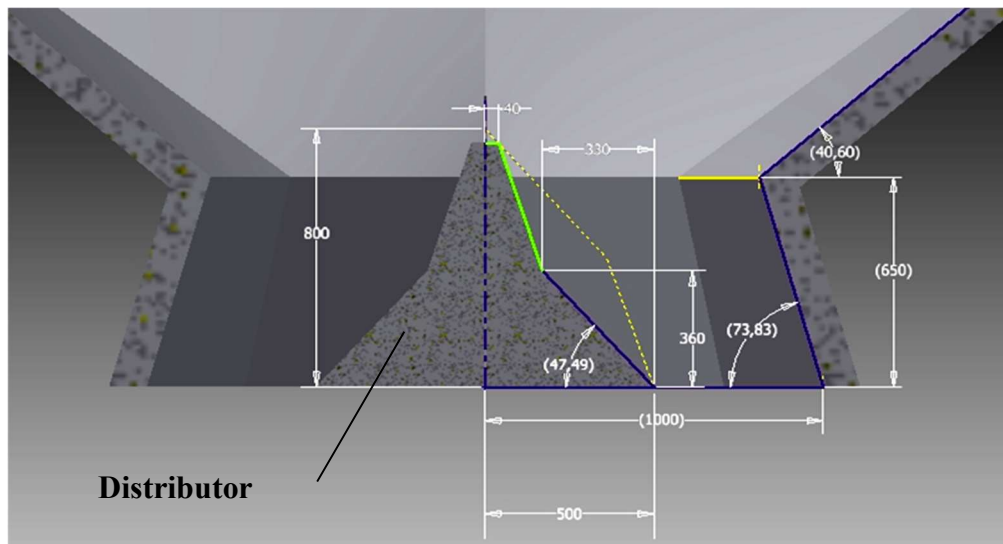


Figure 3. Changed coke distributor and funnel hole

The following aspects affecting the efficiency of coke quenching were established, namely: the probability of coke under-quenching when it passes through the distributor; dynamic compaction of coke due to the fall of a large mass on the same area from a great height; segregation effect (difference in the rate of coke rising opposite the distributor due to different concentrations of small and large particles with different momentum in different parts of the chamber), as a result of the uneven distribution of equivalent diameters of coke particles in different areas of the chamber.

The use of a coke distributor in the form of a bell in the loading funnel allows dispersing of small classes in the form of a ring near the walls, which contributes to the acceleration of the rise of coke in these areas and the slowdown in the center.

The selected shape and dimensions of the distributor in the form of a modified bell (special-shaped gaps) ensure the scattering of particles with their subsequent stacking in the form of a gap inside the chamber. The gap ensures the dispersion of particles and their gradual movement toward the central axis during the loading.

### References

1. Miroshnichenko, D.V.; Desna, N.A.; Kaftan, Y.S. Oxidation of coal in industrial conditions. 2. Modification of the plastic and viscous properties on oxidation. *Coke Chem.* 2014, 57, 375. <https://doi.org/10.3103/S1068364X14100056>
2. Shulga, I. V., Miroshnichenko, D. V., Pyshyev, S. V., Bogoyavlenska, O. V. *Coke Production*. Kharkiv. – Ternopil : NTU "KhPI", Krok Publishing House, 2022, p. 110.
3. Li, Z.; Zhang, X.; Jiang, Z.; Wu, L.; Lai, N. C. Bi-objective optimization and thermal economy analysis of a novel coke quenching process with wastewater gasification. *Appl. Therm. Eng.*, 2023, 219, 119473. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119473>.



UDC 66.095.261

## EFFICIENT USE OF BROWN COAL IN UKRAINE

**Miroshnichenko Denis,**

Doctor of technical sciences, professor, Head of Department;

**Lebedev Volodymyr,**

PhD in technical sciences, associate professor, Head of Department;

**Lysenko Liudmyla,**

graduate student

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

[Liudmyla.Lysenko@ihti.khpi.edu.ua](mailto:Liudmyla.Lysenko@ihti.khpi.edu.ua)

In December 2017, the European Commission initiated a program as part of the "Clean Energy for All Europeans" package, which especially focuses on transitional coal plants. The project seeks to provide targeted support to European Union regions experiencing a protracted decline in the coal industry. In December 2019, the European Commission introduced the European Green Agreement as a continuation of its previous efforts. This agreement is an essential element of the Commission's plan to support the European Union in achieving carbon neutrality by 2050. The Just Transition Mechanism (JTM) is a crucial tool within the Green Agreement, specifically designed to ensure a fair and equitable shift towards a carbon-neutral economy, while safeguarding against the marginalization or disadvantage of any individuals or groups during this transition. The expansion of the Transition Coal Initiative in 2020 to encompass shale and peat mining regions is of utmost importance in order to effectively execute the European Green Agreement and Just Transition Mechanism.

In September 2020, the European Commission presented its proposal, which details a strategy to attain a 55% decrease in greenhouse gas emissions throughout the European Union by 2030, compared to the levels recorded in 1990. The EU's aspirations for the forthcoming decade will drive it towards attaining carbon neutrality by 2050, following a well designed path. To resolve this problem, it is crucial that we promptly implement a thorough restructuring of our energy system balance by swiftly shifting away from the traditional reliance on fossil fuels (such as coal, oil shale, and peat) due to their substantial adverse impact on the environment. Furthermore, it necessitates the construction of a more enduring economic framework, which might pose significant challenges for several regions [1, 2].

The execution of the Coal Regions in Transition initiative began in December 2020, with a particular emphasis on the Western Balkans and Ukraine. The goal is to support these countries and regions in shifting from coal to a carbon-neutral economy, ensuring a just and unbiased transition. The program seeks to provide support to coal-producing regions in neighboring countries of the European Union, such as Bosnia and Herzegovina, Kosovo, Montenegro, Northern Macedonia, Serbia, and Ukraine

[3]. It is crucial to evaluate the future usage of fossil fuels in Ukraine in a way that minimizes any negative impact on the climate. To successfully handle this issue, it is advisable to conduct a comprehensive evaluation of the current reserves of fossil fuels, together with the most recent technologies for their exploitation [4, 5].

The implementation of oxidative desulfurization of high-sulfur lignite from Ukraine has been proposed in three distinct domains: electricity production, electricity production and technology, and technology application sector. The optimal conditions for each place are as follows:

- power generation: The OLR (oxidant-to-liquid ratio) is 0.01875 m/s; the water vapor content in the oxidant is 4.5 % by volume; the temperature is 425 °C; the OFR (oxidant-to-fuel ratio) is 0.6 m<sup>3</sup>/h per kg; the time is 10 minutes;

- power generation and technology: OLR (oxidant-to-liquid ratio) is 0.01875 m/s; water vapor concentration in the oxidant is 50.0 % by volume; temperature is 425 °C; OFR (oxidant-to-fuel ratio) is 0.6 m<sup>3</sup>/h per kg; time is 10 minutes;

- specifications: The Organic Loading Rate (OLR) is 0.025 meters per second. The oxidant contains water vapor with a volume fraction of 70 %. The temperature is 425 °C. The Oxygen Flow Rate (OFR) is 2.4 cubic meters per hour per kilogram. The duration of the procedure is 15 minutes.

A graphic illustrating the possible sequence of the oxydesulfurization process for lignite has been presented. The computations for the material and thermal balances of the processes have been finalized. Research has demonstrated that employing the technique directly at steam power plants can significantly diminish the release of sulfur compounds into the environment during the combustion of lignite. The average decline falls between 53.5 % and 56.0 %.

Hydrogen sulfide, comprising around 5.7–12.5 % of the desulfurized gases, is present in the gases produced during the oxidation process used to eliminate sulfur from lignite. Hydrogen sulfide can either undergo further concentration or be promptly converted into sulfur. The gases that have undergone hydrogen sulfide removal must be reheated to provide additional heat. After completing this step, the chilled flue gases can be discharged into the atmosphere.

The presence of water vapor in the oxidant does not directly affect the extent of sulfur conversion in the lignite. However, it does affect the progress of COM conversion. To optimize the production of destruction and gasification products, it is advisable to introduce water vapor into the desulfurization gases with the intention of increasing the concentration of H<sub>2</sub>S. For instance, if a combination of steam and air is employed, with the steam volume being half that of air, the concentration of H<sub>2</sub>S in the desulfurization gases will increase by a factor of 1.6. The link between the quantity of flammable and non-flammable steam and gaseous byproducts generated during the conversion of organic fuel content (efficiency ratio conversion) increases twofold.

The desulfurization process produces tar by decomposition, with a weight percentage that varies from 18.85 % to 26.58 % relative to the input material. This tar meets the requirements for being classified as "100" grade furnace fuel oil based on the majority of the indications. Lignite is considerably more economical than furnace fuel oil. Tar breakdown can act as a catalyst that improves the flexibility and ease of handling of modified bitumen derived from petroleum.

A novel form of transdermal materials, known as bioactive humic-polymer hydrogel, has been developed and evaluated. The composition comprises gelatin, hydroxypropyl methylcellulose, and sodium alginate as its components. The materials have been altered by including varying quantities of humic acids, ranging from 2.5 % to 7.5 % in terms of weight. Research has shown that the addition of humic acids to these modified systems helps create bioactive humic-polymer hydrogels that have a more compact and rigid structure. This is accomplished by an augmented quantity of hydrogen bonds and the formation of larger clusters, leading to a greater level of cross-linking. Empirical research has shown that including humic acids into hydrogels has a considerable impact on important operational features, such as the extent of expansion and the moisture-lipid balance of the skin. Transdermal materials consisting of a biologically active humic polymer hydrogel, including gelatin, hydroxypropyl methylcellulose, and sodium alginate that have been treated with humic acids, have shown significant improvement in skin condition. When employed as cosmetic patches, these compounds effectively convert parched and rough skin into a suppler and smoother state.

### References

1. Alves Dias P, Kanellopoulos K, Medarac H, Kapetaki Z, Miranda Barbosa E, Shortall R, Tzimas E. EU coal regions: opportunities and challenges ahead. EUR 29292 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018.
2. Babets Ye.K, Bielov O.P, Shustov O.O, Barna T.V, Adamchuk A.A. The development of technological solutions on mining and processing brown coal to improve its quality. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2019. № 6. P. 36–44. <https://doi.org/10.29202/nvngu/20196/6>
3. Belov O, Shustov O, Adamchuk A, Hladun O. Complex processing of brown coal in Ukraine: history, experience, practice, prospects. *Solid State Phenomena*. 2018. 277. p. 251–268. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.277.251>
4. Binder L, Mazál J, Petz R, Klang V, Valenta C. The role of viscosity on skin penetration from cellulose ether-based hydrogels. *Skin Research and Technology*. 2019. № 25(5). p. 725–734. <https://doi.org/10.1111/srt.12709>
5. Golovko M.B, Drozdnyk I.D, Miroshnichenko D.V, Kaftan Y.S. Predicting the yield of coking byproducts on the basis of elementary and petrographic analysis of the coal batch. *Coke and Chemistry*. 2014. № 6. p. 204–214. <https://doi.org/10.3103/S1068364X14030041>

UDC 661.66

## THE INFLUENCE OF ORGANIC AND INORGANIC ADDITIVES ON THE SPECIFIC ELECTRICAL RESISTANCE OF COKE

**Miroshnichenko Denis,**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department;

**Zelenskii Oleh,**

PhD in technical sciences, Senior researcher, doctoral student;

**Soloviov Yevhen,**

graduate student

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»;

**Koval Valentine,**

PhD in technical sciences, Senior engineer of Coal department,

State Enterprise «Ukrainian State Research Institute for Carbochemistry (UKHIN)»

[solovyov.evgen.dnepr@gmail.com](mailto:solovyov.evgen.dnepr@gmail.com)

It is known that blast-furnace coke plays a very important role in iron production. With this in mind, blast-furnace coke is subjected to continuous quality control to ensure its high strength and high resistance to interaction with CO<sub>2</sub>. On the other hand, standard test results do not adequately predict the behavior of coke in blast furnaces, simply because they do not accurately reflect actual operating conditions.

There is growing interest in modification of coal when it is at the plastic state in coking, so as to improve coke quality and expand the resource base for coke production in the context of the current deficit of coking coal. One approach is to introduce various modifying additives in the coking batch [1].

Summarizing the long-term practice of many researchers and producers of coking coal charges with different additives, it is possible to propose a conditional classification of these additives into three main groups, depending on their technological origin. (Table 1)

Table 1. Classification of additives in coal charges

Additives in the coal charge		
Inorganic and non-sticky	Organic (caking)	Mesogenic

The group of inorganic additives includes oxides, carbonates, carbides, etc., and descriptive ones include anthracite, semi-coke, coke fines, and dust. Organic additives are mainly solid and liquid wastes of petrochemical (acidic tars, oil sludge, used oils, lubricating and cooling fluids) and coke-chemical industries (acidic tar, carbon blacks).

In this work, the effect of adding both inorganic (boron carbide nanopowders and silicon carbide (carbundum)) and organic (petroleum coke) additives on the quality of the obtained coke was studied, including the specific electrical resistance of the blast furnace coke, which is characterized by the degree of orderliness in its structure [2].

To determine the quality indicators of coals, coal blends and obtained blast-furnace coke, we used the following standard methods: Proximate analysis; Manual sampling; Ultimate analysis; Determination of total sulfur; Calculation of analyses to different bases; Method of determining microscopically the reflectance of vitrinite; Method of determining maceral group composition; Determination of coke reactivity index (CRI) and coke strength after reaction (CSR); Size analysis by sieving; . Method for determination of plastometric indexes.

The essence of the methodology is as follows. A metal chamber with the following dimensions was inserted into an electric furnace preheated to 1100 °C: width – 150 mm, length – 270 mm, height – 300 mm. The chamber was loaded with 4.5–5.0 kg of the tested mixture of coal in a specified grinding class of less than 3 mm with a mass fraction of total moisture of  $8 \pm 0.5$  %; loading density was  $\sim 800$  kg/m<sup>3</sup>. Upon reaching a temperature equal to  $950 \pm 10$  °C in the loading center, the research was stopped. The duration of the experiment was 2 hours 50 minutes – 3 hours. Coke quenching is dry. The coke was weighed and the yield of dry gross coke from dry coal loading was determined.

Coal concentrates (CPP "Pavlogradska", CPP "Dobropilska", grade "G (G1)"; CPP "Dobropilska", grade "G(G2)"; CPP "Svyato-Varvarynska", grade "K" ) were studied by the methods of proximate ( $W^r_t$ ,  $A^d$ ,  $S^d_t$ ,  $V^{daf}$ ), plastometric ( $x$ ,  $y$ ) and petrographic ( $R_0$ , petrographic composition, analyses. The results of the study are shown in Tables 2 and 3.

Table 2. Technological properties

Component	Grade	Proximate analysis, %				Plastometric indexes, mm	
		$W^a$	$A^d$	$S^d_t$	$V^{daf}$	$x$	$y$
CPP "Pavlogradska"	DG	2.1	6.4	1.38	42.3	48	9
CPP "Dobropilska"	G (G1)	1.3	4.6	1.11	39.3	44	16
CPP "Dobropilska"	G G2)	1.1	6.2	1.33	38.7	38	16
CPP "Svyato-Varvarynska"	K	1.1	9.1	0.69	27.3	25	15
Petroleum coke		0.6	0.5	4.08	13.2	Not defined	

Analyzing the given data, it can be concluded that the studied coal is characterized by its inherent values of quality indicators, but it is necessary to note the reduced ash content of the "G (G1)" coal (4.6 %), which can positively affect the ash content of the coke obtained from it.

Table 3. Petrographic characteristics

Componen	Grade	Petrographic composition (without mineral impurities), %					Index of reflection vitrinite, %
		$Vt$	$Sv$	$I$	$L$	$\Sigma FC$	$R_o$
CPP "Pavlogradska"	DG	69	0	24	7	24	0.62
CPP "Dobropilska"	G (G1)	63	0	26	11	26	0.78
CPP "Dobropilska"	G (G2)	71	0	23	6	23	0.78
CPP "Svyato- Varvarynska"	K	87	0	12	1	12	1.17
Petroleum coke	Not defined						

Technological indicators of the quality of petroleum coke are given in Table I, and ultimate and granulometric compositions are in Tables 4 and 5.

Table 4. Ultimate composition of petroleum coke

Ultimate analysis (dry, ash-free state), %				
$C^{daf}$	$H^{daf}$	$N^{daf}$	$S_t^d$	$O_d^{daf}$
89.87	4.11	1.02	4.08	0.92

Table 5. Granulometric composition of petroleum coke

Granulometric composition (mm), %						Average particle diameter, mm
>13	6–13	3–6	1–3	0.5–1	<0.5	$d_s$
13.7	18.2	14.0	19.6	11.5	22.9	6.15

Analyzing the results of determining the quality of the obtained coke, it can be stated that the introduction of 5 % of petroleum coke into coal charges leads to increase in gross coke output by 1.2–1.3 %; reduction of coke ash content by 0.2–0.3 %; increasing the total sulfur content of coke by 0.15–0.23 %; deterioration of both mechanical (P25 – by 0.1–0.6 %; I10 – by 0.1–0.2 %) and post-reaction (CSR – by 0.6–1.0 %) strength, reactivity (CRI – by 0.2–0.3 %) of coke, as well as structural strength (SS by 0.3–0.4 %), abrasive hardness (AH by 0.7–1.0 mg) and specific electrical resistance ( $\rho$  by 0.002–0.007  $\text{Om}\cdot\text{cm}$ ).

In addition, it should be noted that a sharper deterioration in the quality of blast furnace coke is observed when using a coal charge characterized by a lower coal content of the CPP "Svyato-Varvarynska". This is a consequence of the positive influence of this coal on the quality indicators of blast furnace coke obtained with its participation. On the other hand, taking into account the insignificant deterioration of

coke quality indicators, and taking into account certain technical and economic tasks of each individual coke chemical enterprise, the introduction of up to 5% of petroleum coke into coal charges as an additive can be used for the purpose of its utilization and for the purpose of increasing the yield of gross coke.

At the same time, the introduction of a certain amount (0.25 wt. %) of non-caking nano additives B<sub>4</sub>C and SiC allows to modify the processes that occur when the coal charge is plastic, with a further increase in coke strength. So the *CRI* and *CSR* values of the coke are improved on introducing modifying nanoadditives in the coal batch in quantities no greater than 0.25 wt. %. The influence of nanoadditive B<sub>4</sub>C and SiC on the coke properties depends significantly on the rank composition of the batch. The proposed additives are particularly effective in batch with poor coking properties.

The additives may be introduced in the batch by means of a feeder (of screw type, for example) supplying the dosed quantity of additive (0.25 wt. %) to a belt conveyer with the batch. The feeder must precede the final crusher (producing the < 3 mm class). The crusher then acts as a mixer. As we know, uniform mixing of the additive over the whole batch volume is required. Another option is injection by compressed air in the lower part of the silo for one batch component. That entails installing a bunker for the additive in the existing pneumatic system.

### References

1. Trifanov V.N., Gorshkov P.G., Belyanichev A.N., Pomazan A.G., Toryanik E.I., Lobov A.A., Kuznichenko V.M., Mal'ko N.I., Sytnik A.V. Coke production from coal batch with organic additives. *Coke Chem.* 2007. Vol. 50, No. 6. P. 161–168. <https://doi.org/10.3103/S1068364X0706004X>

2. Lyalyuk V.P., Sokolova V.P., Shmeltser E.O., Timofeeva D.Yu., Beryeza V.V. Predicting the reactivity and hot strength of coke on the basis of ash basicity. *Coke Chem.* 2014. 57(6). P. 238–244. <https://doi.org/10.3103/S1068364X14060052>

УДК 662.749.3

**ПРИЧИНИ ДЕГРАДАЦІЇ ВБИРНОЇ ОЛИВИ****Банніков Артем Леонідович,**

аспірант;

**Карножицький Павел Володимирович,**

кандидат технічних наук, доцент, доцент

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

**Бічев Максим Сергійович,**

студент

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[artiksmartik@gmail.com](mailto:artiksmartik@gmail.com)

Для уловлювання бензольних вуглеводнів і нафталіну на коксохімічних підприємствах широко використовується фракція кам'яновугільної смоли (промивна олива), яка є багатоконпонентною азеотропною сумішшю ароматичних вуглеводнів, що не піддається розділенню звичайною перегонкою. Високоплавкі компоненти, що містяться в суміші (аценафтен, дибензофуран, флуорен, антрацен, карбазол), погіршують якість оливи, тому їх вилучення з промивної оливи широко висвітлюється в літературі, переважно як сировини для виробництва фотоелектричних матеріалів [1].

З метою отримання окремих компонентів з неї вилучають  $\beta$ -метилнафталін, флуорен, ізохінолін, азотовмісні речовини, індол, гетероциклічні азотовмісні речовини тощо. Таке різноманіття методів характеризує вбирну оливу як дуже складну фізико-хімічну систему, оскільки для вилучення окремих компонентів використовують багато різних розчинників, лужні або кислотні промивки та інші фізико-хімічні методи.

Дефіцит вбирної оливи вітчизняного виробництва, що склався у поточних умовах, спонукує пошук методів зменшення споживання абсорбенту та запобігання його деградації. Загущення кам'яновугільної вбирної оливи під час процесу вилучення бензольних вуглеводнів з коксового газу може відбуватися з кількох причин. Серед найпоширеніших можна виділити наступні: втрата частки оливи з сирим бензолом, реакції полімеризації та окиснення оливи, привнесення смолистих та твердих речовин з коксовим газом, коксоутворення під впливом високих температур, низька якість поглинача та інші.

Для дослідження причин деградації оливи застосовують найрізноманітніші методи контролю: хроматографічне визначення складу, визначення густини, в'язкості, водневого показника водної витяжки, кислотності оливи, корозійної агресивності, схильності до емульгування, фракційного складу, виходу



невикипаючого залишку, вмісту потенційних і фактичних смол, вміст речовин, нерозчинних у толуолі, вміст фенолів, основ тощо.

Використання промивної оливи для поглинання бензольних вуглеводнів пов'язане з її відносно низькою насиченістю ( $\approx 1,5-2,5$  %). При поперемінному нагріванні та охолодженні оливи поглинальні експлуатаційні властивості погіршуються, і тому підвищена увага приділяється як якості свіжої оливи, так і умовам її експлуатації. Особливо часто якість оливи пов'язують з її корозійною активністю, утворенням відкладень на поверхнях тепло- і масообміну, забрудненням коксовим газом, підвищеною витратою на регенерацію бензолу. Таким чином, стабілізація якості оливи дозволяє вирішити цілий комплекс проблем при експлуатації бензольної установки.

Існуючі вимоги технічних умов до вбирної оливи не можуть відобразити весь комплекс експлуатаційних характеристик, а тому актуальними є додаткові методи дослідження та оцінки поглинаючої здатності. Наприклад, компонентний склад оливи, який визначається хроматографічним методом і може нести інформацію про температуру застигання, наявність висококиплячих легкоплавких речовин (антрацен), речовин, що кристалізуються (аценафтен), розчинників (метилнафталіни, хіноліни), легколетких компонентів оливи (інден, нафталін).

Особливе місце займає вміст смолоутворюючих речовин, які можуть викликати загущення та емульгування нафти (феноли, ненасичені сполуки). Однак на сьогодні немає єдиної думки щодо необхідного вмісту навіть фенолів та азотистих основ у відпрацьованій оливі, тим більше немає розробок щодо бажаного вмісту окремих компонентів оливи, які можуть слугувати маркерами процесів полімеризації та загущення [2].

Крім вищезгаданих смолоутворювачів, сирий бензол, що видобувається з нафти, містить ненасичені сполуки амілен, гексан, циклогексан, циклопентадієн, циклогексадієн, що полімеризуються, в той час як коксовий газ містить етилен, пропілен, бутилен, бутадієн. Встановлено, що вихід ненасичених вуглеводнів мало залежить від типу вугільної шихти. Вихід етилену відбувається в широкому діапазоні температур, а спільний вихід етилену і пропілену при однакових температурах піролізу незалежно від типу вугілля свідчить про нечутливість виходу ненасичених вуглеводнів до типу вугілля, що піролізується. Таким чином, смолоутворювачі є неминучими і супутніми речовинами при вилученні бензольних вуглеводнів з коксового газу. Для підвищення стабільності промивної оливи, запобігання її втрат і збільшення циклу її експлуатації пропонується проводити гідрообробку поглинальної оливи воднем для насичення ненасичених вуглеводнів. Аналогічно пропонується очищення коксового газу від тіофену при тонкому

очищенні для хімічного синтезу. Однак такі методи є дорогими і виправдані у випадку отримання хімічних продуктів з високою доданою вартістю. Для традиційних установок необхідним є пошук технологічних методів підвищення стабільності оливи та розробка критеріїв відбору свіжої оливи підвищеної якості.

Особливо чутливими для економіки процесу уловлювання бензольних вуглеводнів є накопичення смолоутворюючих компонентів у промивній оливі. У зв'язку з погіршенням якості утилізованої оливи необхідно постійно її вивозити і поповнювати свіжою промивною оливою, що є дуже критичним в умовах зниження обсягів переробки кам'яновугільної смоли. У той же час, полімери бензольного відділу є ресурсом для отримання інде-кумаронових смол. Тому бажано поєднати проблему вилучення смолоутворюючих компонентів з відпрацьованої оливи з отриманням висококонцентрованої сировини для одержання відповідних смол.

Існують альтернативні погляди на причини деградації промивних олив. Псування промивної оливи також пов'язують зі схильністю до полімеризації таких компонентів, як аценафтен, дифеніленоксид і флуорен, втратою термічної стабільності компонентів абсорбційної оливи (аценафтену, флуорену і фенантрону) внаслідок їх окислення і полімеризації, взаємодією компонентів оливи з сірководнем, аміаком у присутності твердих частинок і заліза, потраплянням смолоподібних компонентів з коксового газу. Такі компоненти, як сірководень та органічна сірка, ціаніди, вода, аміак, смоли спричиняють порушення процесу відділення бензолу. Це призводить до утворення колоїдів у сирому бензолі та емульсій в нафтах. Таким чином, утворення полімерів бензолу є не тільки складною практичною, але й науковою проблемою.

Завданням даного дослідження є кількісна та якісна оцінка процесів деградації регенерованої відпрацьованої оливи під час експлуатації бензольних відділень за рахунок смолоутворюючих компонентів. Бажано також визначити основні фактори (температура, концентрація) процесів, що впливають на вихід смолоподібних речовин і якість відпрацьованої оливи (в'язкість, температура застигання). Крім того, у зв'язку з необхідністю отримання цінних компонентів, таких як сировина для виробництва фотоелектричних матеріалів, механізм смолоутворення за участю смолоутворюючих компонентів міг би прояснити неминучі процеси деградації промивної оливи при виділенні компонентів з використанням дорогих розчинників (іонних рідин, суперрозчинників тощо).

Зміни концентрації окремих хроматографічних компонентів промивної оливи в процесі її експлуатації визначали шляхом аналізу щоденно відібраних проб багатих і бідних олив бензольних установок, які експлуатувалися в період стабільної роботи в межах діючих регламентів підприємств. Для розрахунку

термодинамічної рівноваги реакцій з утворенням високомолекулярних сполук було взято середній вміст смолоутворюючих компонентів у промивній оливі в перерахунку на 100 кг оливи (табл. 1).

Таблиця 1. Усереднений вміст смолоутворюючих компонентів у промивній оливі

Компоненти	Маса, кг/100 кг оливи
інден	1,4
кумарон	0,14
стирол	0,05
тіонафтен	1,4

Концентрація індену у відпрацьованій промивній оливі, за даними моніторингу бензолних заводів, коливається в межах 0,4–1,2 %, вміст кумарону приблизно в 2–3 рази нижчий, а вміст стиrolу – майже на порядок нижчий.

Масові концентрації компонентів олив визначали на хроматографі «Crystal 2000 M» з програмним забезпеченням «Chromatec Analytic». Моніторинг складу оливи хроматографічним методом проводили на двох окремих установках з вогневим підігрівом оливи у два різні місяці сталої роботи. Бажано оцінити зміни вмісту аценафтену, як показника термічного окислення ароматичних вуглеводнів з подальшим їх загущенням. Тому було проведено порівняння зміни концентрації аценафтену зі зміною вмісту індену в багатій та бідній промивній оливі. За показник було взято відношення вмісту індену в суміші «інден + аценафтен» до середньомісячних концентрацій (табл. 2).

Таблиця 2. Середньомісячний вміст індену в суміші «інден + аценафтен», % для багатих і бідних відпрацьованих олив

Установка вилучення бензолу	Вбирна олива:	
	насичена	після дистиляції
№ 1, період 1	3,02	2,81
№ 1, період 2	3,13	2,86
№ 2, період 1	4,83	4,60
№ 2, період 2	4,68	4,50

Результати дослідження показали зниження вмісту індену в його умовній суміші з аценафтеном після перегонки нафти при нагріванні до 155–165 °С на всіх установках протягом усіх періодів. При цьому вміст індену в сирому бензолі не перевищував 1,7 %, а частка відгону бензолних вуглеводнів з оборотної оливи не перевищувала 1,5 %, що свідчить про незначну частку випаровування індену з сирим бензолом.

Баланс індену та аценафтену під час перегонки вбирної оливи наведено у таблиці 3. Для розрахунку взяті такі параметри: середній вміст індену в сирому бензолі 1,6 %; вихід сирого бензолу з оливи 1,5 %; вміст фракції, перегнаної до 180 °С, в сирому бензолі – 0,96; вміст аценафтену у фракції, перегнаній понад 180 °С, в сирому бензолі – 19,3 %.

Таблиця 3. Баланс аценафтену та індену, кг на 1 т промивної оливи

Компоненти	Вбирна олива:		Небалансовий залишок, кг
	насичена	після дистиляції	
<i>у вбирній оливі</i>			
Інден, кг	9,7	9,2	+0,5
Аценафтен, кг	193	194	-1,0
<i>у сирому бензолі</i>			
Інден, кг			0,24
Аценафтен, кг			0,11
На розрахункову полімеризацію індену, кг			0,26

Дані таблиць 2 і 3 показують, що принаймні перетворення індену мають пріоритет перед перетвореннями аценафтену в процесі експлуатації промивної оливи, а зменшення вмісту індену при нагріванні слід пов'язувати, головним чином, з його можливою полімеризацією. Реакційна здатність індену, згідно з цією оцінкою, вища, ніж аценафтену, а процеси полімеризації ненасичених компонентів переважають над процесами окислювальної полімеризації висококиплячих компонентів оливи.

Отже, моніторинг компонентного складу нафти показав переважання процесів полімеризації індену над термохімічною окиснювальною полімеризацією аценафтену як показника загущення нафти під дією кисню. Таким чином, вміст індену може слугувати маркером вмісту смолоутворюючих компонентів та якості нафти в цілому.

### Список використаних джерел

1. Мамуко А.С., Тсебро О.Н., Банніков Л.Р., Панасенко В.А., Шустиков В.І. Influence of qualitative parameters of the coal wash oil on the work of the benzene recovery unit PJSC “EVRAZ YUZKOKS”. J. of Coal Chemistry. 2017. P. 18–23.
2. Банніков А.Л., Борисенко О.Л. Проблеми знефенолювання та підвищення якості вбирної фракції кам'яновугільної смоли (огляд). Вуглехімічний журнал. 2023. № 1. С. 18–23.

УДК 666.75:004.41

**ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ЕКСПЕРТИЗИ ТА ПОВТОРНОГО  
ВИКОРИСТАННЯ СТАЛЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗРУЙНОВАНИХ АВТО****Дрозд Оксана Володимирівна,**

кандидат технічних наук, доцентка, доцентка;

**Васильєв Олександр Віталійович,**

студент магістратури;

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

[oksana.drozd@nuos.edu.ua](mailto:oksana.drozd@nuos.edu.ua)

З початком масштабного вторгнення на прибережних територіях і уздовж доріг, на лінії зіткнення між Херсонською і Миколаївською областями спостерігається скупчення понівечених авто, на яких місцеві жителі і волонтери намагалися виїхати з зони бойових дій та окупованих територій, власники яких вже не зможуть їх прибрати. Тому виникає найактуальніша на даний час проблема щодо їх утилізації, вирішити яку дуже важко через обмежені можливості їх транспортування та продовження бойових дій. Крім того, процеси металопереробки є достатньо енергоємними, вимагають використання потужного обладнання, а тому не вважаються рентабельними.

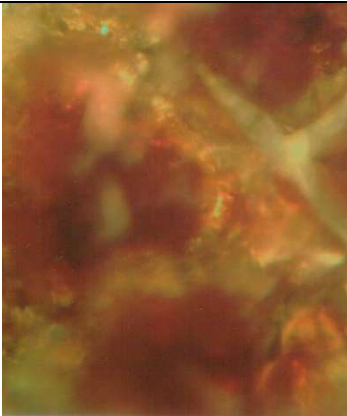
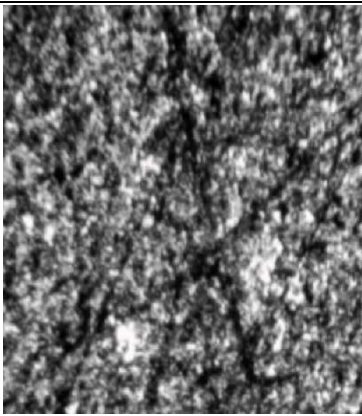
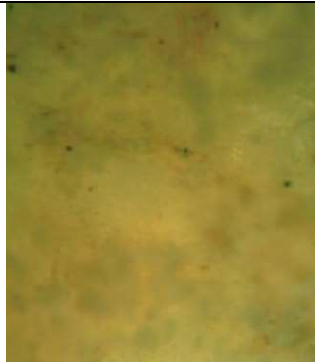
Аналіз сучасних матеріалів [1], які використовуються у автомобілебудуванні, показав цінність металу зруйнованих авто як сировинної бази. Це твердосплавні сталі Bake Hardenable (BH), трансформаторні пластичні сталі Transformation Induced Plasticity (TRIP), деформівні високоміцні сплави системи Al-Mg-Si-Mn (зокрема AlSi1MgMn), виготовлені за технологіями холодної і гарячої прокатки, екструзії. З цього можна зробити висновок про доцільність використання фрагментів кузова для виготовлення елементів інших конструкцій, що вимагатиме проведення їх експертизи з розробкою технічних заходів щодо їх обробки. У роботі [2] автором запропоновано методику експертизи відходів руйнації, алгоритм виконання якої ґрунтується на етапах виокремлення зі всього різноманіття матеріалів еталонних зразків і зразків-свідків; експериментальних дослідженнях з аналітичним описом їх макро- і мікроструктури; експериментальних випробуваннях на зразках свідках з визначенням кількісного і якісного характеру пошкодження; складанні калібрувальної шкали для кожного виду зразку матеріалу з вибірки. Для цього було сформульовано головні ідентифікаційні ознаки деградації структури у порівнянні з еталонними зразками; розроблено проєкт мобільної хімічної лабораторії. Проте систематизація і обробка інформації вимагатиме розробки професійної інформаційної підтримки з базою даних.

Мета роботи полягає у реалізації задач експертизи сталей пошкоджених через військові дії авто шляхом розробки і впровадження спеціалізованої бази даних.

Науково-практичними передумовами розробки є попередньо проведені результати експериментальних досліджень фрагментів підірваних, пошкоджених, затоплених авто.

Для наочності сприйняття результатів у таблиці 1 наведено приклади результатів з оптичними мікрофотографіями.

Таблиця 1. Приклади результатів досліджень зразків-свідків

<b>Автомобільні сплави*</b>		
<b>TRIP-сталь</b> (після занурення) Зразок (збільшення $\times 370$ ) вирізано з кузова підірваної машини	<b>ВН-сталь</b> (після нагрівання) Зразок (збільшення $\times 250$ ) вирізано з кузова затопленої машини	<b>AlSiMgMn</b> (після пожежі та затоплення) Зразок (збільшення $\times 180$ ) вирізано з кузова затопленої машини
		
Піттингова корозія з розміром виразок до 10 мм	Розвиток тріщин у місцях пошкодження лакофарбового покриття	Наявність захисної плівки гальмує вихід продуктів корозії
<i>Висновок:</i> можлива переробка на порошок	<i>Висновок:</i> можливо використання для виготовлення елементів конструкцій	<i>Висновок:</i> можливо використання у ремонтних технологіях, зокрема у судноремонті
* марку сплаву встановлено за літературними джерелами та інформацією щодо марки автомобілю, країни виробника		

Структура бази даних документально-фактографічного типу побудована за принципами мінімізації дублювання даних, має віддалений доступ та забезпечує операції введення–виведення при доступі клієнта до інформації. Для написання програмного продукту використано мову програмування Python з бібліотекою SQLite [3], функції яких є зручними для обробки і візуалізації даних, що надає можливості проведення інтерактивних досліджень за наступним алгоритмом (рис. 1).



Рисунок 1 – Алгоритм обробки результатів експертизи зруйнованих авто

Експерт вносить інформацію про «історію» зразку, тобто відомості про марку автомобілю, за яких обставин його вилучено; наводяться результати зважування, вимірювання розмірів; надається світлина яка зберігається у окремому файлі з розширенням \*.pdf, \*.tiff. Фактографічна частина має рядковий запис та заповнюється за результатами вимірювань показників або проведення експериментальних досліджень.

Результати досліджень хімічного складу матимуть вигляд спектрограм, таблиць та оформлюються у протокол, який зберігається у \*.pdf-форматі.

Паралельно у базу даних заносяться відомості про еталон, який виокремлюється з непошкоджених масивів або належить незруйнованому авто. Це світлина зразку, відомості про його походження, масу та розміри. У окремих випадках опис може замінювати нормативний документ або наукова стаття у \*pdf-форматі.

Результати досліджень містять цифрові документи з оптичними і електронними мікрофотографіями мікроструктур і зламів, звіт у \*pdf-форматі.

Всі отримані під час досліджень дані зберігаються у Протоколі, який може бути наданий експертам для подальших висновків. Таким чином, дослідник може отримувати як результати досліджень у режимі реального часу, так і оцінювати ступінь пошкодженості дослідних зразків у порівнянні з еталоном.

Розроблений програмний продукт може працювати під управлінням операційних систем Linux, Windows.

Подальші розробки пов'язані зі створенням та улаштуванням експертної лабораторії, зокрема мобільного типу.

Додатково оброблені елементи авто можуть бути надалі використані для укріплення техніки, формування шаруватих захисних конструкцій, у судноремонті тощо.

### **Список використаних джерел**

1. Гнатуш В.А., Дорошенко В.С. Сучасне застосування металевих сплавів для автомобілебудування. *Met. Lit'e Ukr.* 2019. Vol. 27, № 10-12 (317–319), С. 74–81. <https://doi.org/10.15407/steelcast2019.10.074>
2. Дрозд О.В. Експертиза відходів руйнації на основі ознак структурної деградації матеріалів та перспективи рециклінгу. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки.* 2023. Том 34 (73), № 4. С. 176–182. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/28>
3. Скороход О.М., Горяшин А.С. Використання можливостей мови Python для роботи з великими об'ємами даних. *Прикладні інформаційні технології: збірник наукових праць.* Вінниця, ДонНУ імені Василя Стуса. 2023. С. 238–239.



УДК 669.74

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СИРОВИННИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА СОРБЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ КОКСУ

**Мірошніченко Д. В.,**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри;

**Сагалай Д. В.,**

аспірант

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

**Шмельцер К. О.,**

кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри;

**Кормер М. В.,**

кандидат хімічних наук, доцент, доцент

Державний університет економіки і технологій

[darinasagalay@gmail.com](mailto:darinasagalay@gmail.com)

Вуглецеві адсорбенти знайшли широке застосування в хімічній, нафтохімічній та біотехнологічній промисловості. Також активоване вугілля необхідне для вирішення екологічних проблем, які виникли внаслідок техногенної діяльності людства та використовується для очищення питної води, стічних вод і газових викидів, рекуперації пари органічних сполук, тонкого поділу технологічних газів. Ефективність процесу адсорбції залежить від фізико-хімічних властивостей сорбенту (насипної густини, питомої поверхні, об'єму пор та механічної міцності). Тому можливість спрямованого впливу на формування пористої структури вуглецевих сорбентів, підвищення їх фізико-механічних та адсорбційних властивостей, отримання продукту із заданим набором характеристик є перспективним напрямком досліджень.

У виробництві різних марок активного вугілля одним із визначальних факторів є вихідна сировина, її склад та властивості [1]. Для виробництва використовують вуглевмісну сировину (деревина, торф, буре, кам'яне вугілля, шкаралупа горіхів тощо). Найбільш великотоннажною сировиною для виробництва активованого вугілля є кам'яне та буре вугілля [2, 3].

Оскільки потреба у вуглецевих сорбентах зростає, то актуальними є дослідження спрямовані на їх одержання з вихідного вугілля України та коксу. Враховуючи, що коксування по суті є процесом карбонізації вугільної сировини, в роботі досліджено вплив сировинних (склад шихт, петрографічні характеристики, показники технічного пластометричного аналізу, гранулометричний склад) та технологічних факторів (період коксування, температура процесу) на сорбційні властивості карбонізованого продукту – коксу.

У роботі для дослідження використовували вугільні шихти різного компонентного складу. Проведено технічний, пластометричний та петрографічний аналізи вугільних шихт; проаналізовано гранулометричний

склад вугільних шихт, умови коксування вугільних шихт, технічний аналіз коксу, гранулометричний склад, механічна міцність та термохімічні властивості (CRI/CSR) коксів. Показники якості коксу як сорбенту наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Показники якості коксу як сорбенту

№ проби	Сорбційна ємність, мг-екв/г		Адсорбційна активність	
	по кислоті	по лугу	по йоду, %	по метиленовому блакитному, мг/г
1	1,07	1,94	12,1	30,8
2	0,94	3,15	12,1	33,8
3	1,07	2,2	12,34	32,2
4	1,24	3,9	14,73	33
5	1,2	3,44	13,53	32,6
6	1,18	3,29	13,54	32,5
7	1,27	3,38	13,78	32,8
8	1,2	2,9	13,11	31,8
9	1,22	3,6	13,38	32,8
10	1,2	3,69	13,55	32,5
11	0,27	0,34	14,53	33,6
12	1,17	3,59	13,56	32,5
13	1,04	1,79	11,94	31,9
14	1,48	1,16	4,49	32
15	1,24	3,73	13,66	33,8

Вивчаючи взаємозв'язок між властивостями вуглевмісної сировини та сорбційними характеристиками коксу (карбонізованого залишку), отримали залежності наведені у таблиці 2.

Можна сказати, що адсорбційні характеристики коксу залежать від виходу летких речовин (з шихти та коксу), який характеризує структурні особливості вуглевмісного матеріалу та впливає на формування його пористості. Вагомим також є вплив вмісту вітриніту.

Аналіз залежностей та їх статистична оцінка вказує на те, що досліджені взаємозв'язки характеризуються високими значеннями коефіцієнтів кореляції (0,73–0,91) і детермінації (52,86–83,44 %), що дає можливість прогнозувати сорбційну ємність на адсорбційну активність коксу. На підставі обробки експериментальних даних за допомогою методів математичної статистики отримані регресійні рівняння, які представлені в таблиці 3.

Проведені дослідження дозволили встановити залежність сорбційних характеристик коксу від структурних особливостей та природи вугільної сировини (вихід летких речовин, вміст вітриніту) та структури і ступеню готовності коксу (вихід летких речовин коксу). Отримані регресійні рівняння для прогнозування сорбційної ємності по лугу та кислоті ( $A_{\text{луг}}$ ,  $A_{\text{кисл}}$ ) та адсорбційної активності по йоду  $F_{\text{йод}}$  з урахуванням вмісту вітриніту та виходу летких речовин шихти є статистично значущими, характеризуються високими коефіцієнтами апроксимації  $R^2$  (0,832 і 0,859, та 0,879 відповідно), тому можна їх рекомендувати для прогнозування зазначених показників.

Таблиця 2. Математичні залежності

№ залежності	Вид залежності	Статистична оцінка	
		коефіцієнт кореляції $R$	коефіцієнт детермінації $D, \%$
1	$A_{\text{луг}} = 0,287 \cdot V_{\text{ш}}^{\text{daf}} - 6,6197$	0,83	68,4
2	$A_{\text{луг}} = 4,9896 \cdot V_{\text{к}}^{\text{daf}} + 1,741$	0,8	64,62
3	$A_{\text{луг}} = 0,1036 \cdot Vt - 5,2491$	0,84	70,54
4	$A_{\text{кисл}} = 0,149 \cdot V_{\text{ш}}^{\text{daf}} + 0,6897$	0,88	77,44
5	$A_{\text{кисл}} = 0,2458 \cdot V_{\text{к}}^{\text{daf}} + 1,1242$	0,8	64,51
6	$A_{\text{кисл}} = 0,0043 \cdot Vt - 0,8435$	0,75	57,13
7	$F_{\text{йод}} = 0,296 \cdot V_{\text{ш}}^{\text{daf}} + 3,2239$	0,8	63,49
8	$F_{\text{йод}} = 5,408 \cdot V_{\text{к}}^{\text{daf}} + 11,788$	0,78	60,25
9	$F_{\text{йод}} = 0,1313 \cdot Vt + 2,7563$	0,91	83,44
10	$F_{\text{м/б}} = 0,2853 \cdot V_{\text{ш}}^{\text{daf}} + 22,753$	0,83	68,76
11	$F_{\text{м/б}} = 2,9279 \cdot V_{\text{к}}^{\text{daf}} + 31,617$	0,83	68,73
12	$F_{\text{м/б}} = 0,0789 \cdot Vt + 26,002$	0,73	52,86

Таблиця 3. Регресійні рівняння

№ рівняння	Рівняння	Статистична оцінка	
		коефіцієнт апроксимації $R^2$	коефіцієнт детермінації $D, \%$
1	$A_{\text{луг}} = 0,1831 \cdot V_{\text{ш}}^{\text{daf}} + 3,3585 \cdot V_{\text{к}}^{\text{daf}} - 4,0559$	0,824	82,4
2	$A_{\text{кисл}} = 0,0251 \cdot V_{\text{ш}}^{\text{daf}} + 0,1826 \cdot V_{\text{к}}^{\text{daf}} + 0,271$	0,805	80,5
3	$F_{\text{йод}} = 0,1858 \cdot V_{\text{ш}}^{\text{daf}} + 3,562 \cdot V_{\text{к}}^{\text{daf}} + 5,943$	0,772	77,2
4	$F_{\text{м/б}} = 0,2347 \cdot V_{\text{ш}}^{\text{daf}} + 1,635 \cdot V_{\text{к}}^{\text{daf}} + 24$	0,721	72,1
5	$A_{\text{луг}} = 0,1848 \cdot V_{\text{ш}}^{\text{daf}} + 0,062 \cdot Vt - 8,1163$	0,832	83,2
6	$A_{\text{кисл}} = 0,0225 \cdot V_{\text{ш}}^{\text{daf}} + 0,005 \cdot Vt + 0,01$	0,859	85,9
7	$F_{\text{йод}} = 0,155 \cdot V_{\text{ш}}^{\text{daf}} + 0,085 \cdot Vt + 1,166$	0,879	87,9
8	$F_{\text{м/б}} = 0,26 \cdot V_{\text{ш}}^{\text{daf}} + 0,015 \cdot Vt + 22,38$	0,697	69,7

### Література

1. Ali I., Asim M., Khan T.A. Low-cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater. J. Environ. Manag. 2012, 113, 170–183. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.08.028>
2. Ordabaeva A.T., Muldakhmetov Z.M., Gazaliev A.M., Kim S.V., Shaikenova Z.S., Meiramov M.G. Production of Activated Carbon from Sifted Coke and Determination of Its Physicochemical Characteristics. Molecules 2023, 28, 5661. <https://doi.org/10.3390/molecules28155661>
3. Milicevic S., Boljanac T., Martinovic S., Vlahovic M., Milosevic V., Babic B. Removal of copper from aqueous solutions by low-cost adsorbent-Kolubara lignite. Fuel Process. Technol. 2012, 95, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.11.005>

УДК 504.062.2

## ВІДНОВЛЮВАНІ ПРИРОДНІ РЕСУРСИ ЯК ЗАМІНА ПЛАСТИКУ

**Чемеринський Михайло Сергійович,**

кандидат технічних наук, доцент

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

**Попова Віолетта Віталіївна,**

школярка

Комунальний заклад освіти Науковий медичний ліцей «Дніпро»

Дніпропетровської обласної ради

[Chemerynskyi.M.S@nmu.one](mailto:Chemerynskyi.M.S@nmu.one)

Екологічна загроза для навколишнього середовища через виробництво пластику та пластикових відходів залишаються серйозною проблемою. Це тісно пов'язано зі збільшенням споживання пластику населенням. Адже об'єм виробництва пластикових відходів становить близько 9 млрд тон на рік, і ця цифра постійно збільшується з кожним роком [1]. Крім того, у деяких частинах світу мало зусиль докладається до збирання, переробки та повторного використання пластикових відходів. Відомо [1], що переробляється менше 10 %, приблизно стільки ж спалюється, а решта потрапляє в навколишнє середовище.

Хоча пластикові полімери не вважаються токсичними, деякі залишкові мономерні, що містяться в матеріалах, можуть бути небезпечними як для людини так і для навколишнього середовища [2, 3]. Крім того, багато хімічних сполук, які використовуються у виробництві пластмас як добавки, зокрема пластифікатори, небезпечні для здоров'я людини та навколишнього середовища, а також деякі продукти розпаду, які можуть вивільнятися під час життєвого циклу пластмаси. Таким чином, потрібно постійно знижувати негативний вплив пластику на планету та людину, шляхом розумного та відповідального використання наявних ресурсів.

Для зменшення обігу пластикових виробів розробляються та вже використовуються матеріали більш екологічні, тобто з меншим негативним впливом на людину та навколишнє середовище. Так, наприклад, це біорозкладні пакети з кукурудзяного крохмалю та одноразовий посуд, екологічна упаковка із грибного міцелію [4], одноразовий посуд з опалого листя бананів і диких ліан [5]. І таких прикладів дуже багато.

Тому, основною метою цієї роботи, ставилась ідея отримання матеріалу з відновлювальних ресурсів природного походження, яким можна замінити пластик та пластикові вироби.

У якості основного матеріалу природнього походження, використовували соломку, яка утворюється при збиранні та обробці сільськогосподарських культур. Взагалі, соломка є чудовою сировиною для виробництва багатьох речей та матеріалів різноспрямованого призначення. Оскільки вона екологічно чиста, легко переробляється та добре горить її використовують у тваринництві, як конструкційний і теплоізоляційний матеріал, як сировина для виробництва біопалив, як сировина для виробництва паперу, як пакувальний матеріал тощо.

У якості зв'язуючої речовини використовували мелясу (побічний продукт цукрового виробництва). Мелясу часто використовують у якості зв'язуючої речовини при виробництві вугільних брикетів, під час гранулювання кормів та біомаси.

Виготовлення дослідних зразків проводили наступним чином. Соломку висушували 2 години при температурі 100 °С, подрібнювали у дробарці і змішували із зв'язуючим. Далі, отриману суміш пресували у певній прес-формі, висушували у сушильній шафі та випробовували на міцність. Проведені дослідження показали, що суміш соломи і меляси при відповідній підготовці і дозуванні дозволили отримати достатньо твердий матеріал, який згодом можна використовувати як сировину для одноразового посуду.

Таким чином, використання відновлюваних природних ресурсів може стати гідною заміною пластику, що суттєво знизить кількість пластикових відходів та покращить довкілля.

### **Список використаних джерел**

1. Chiba S., Saito H., Fletcher R., Yogi T. Human footprint in the abyss: 30 year records of deep-sea plastic debris. *Marine Policy*. 2018. Vol. 96. P. 204–212. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.03.022>
2. Chae Y., Youn-Joo A. Current research trends on plastic pollution and ecological impacts on the soil ecosystem: A review. *Environmental pollution*. 2018. Vol. 240. P. 387–395. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.008>
3. Comanita E.-D., Hlihor R.M., Ghinea C., Gavrilesco M. Occurrence of plastic waste in the environment: ecological and health risks. *Environ. Eng. Manag. J.* 2016. Vol. 15, No. 3. P. 675–685. <https://doi.org/10.30638/eemj.2016.073>
4. Abhijith R., Ashok A., Rejeesh C.R. Sustainable packaging applications from mycelium to substitute polystyrene: a review. *Materials Today: Proceedings*. 2018. Vol. 5, Iss. 1, Part. 2. P. 2139–2145. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.09.211>
5. P.J. Fellows, Packaging, in: *Food Processing Technology*, Elsevier, 2017: P. 949–1044. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100522-4.00024-9>.

## **СЕКЦІЯ 3**

### ***ЕЛЕКТРОХІМІЯ ТА КОРОЗІЯ***

УДК 621.311.61

## COBALT-VANADIUM COATING ELECTRODEPOSITION VIA PULSE MODE

**Sakhnenko Mykola,**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor;

**Zhelavska Yulia,**

Candidate of Technical Sciences (PhD.), Docent;

**Zyubanova Svitlana,**

Scientific researcher;

**Dzheniuk Anatolii,**

Docent, Docent;

**Horokhivska Natalia,**

PhD student;

**Proskurina Valeriia,**

Candidate of Technical Sciences (PhD.), Docent

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

[juliazhelavska@gmail.com](mailto:juliazhelavska@gmail.com)

The development of functional materials with predictable properties is one of the priority directions in modern research. Obtaining new energy-saving materials for reducing the cost of hydrogen production in an electrochemical way is relevant for the hydrogen energy industry. Such electrode materials should have catalytic activity for the hydrogen evolution reaction. Catalytic properties can be predicted for coating alloys of the iron subgroup metals with vanadium, molybdenum, and tungsten [1]. The aforementioned metals can be co-deposited from aqueous solutions with iron subgroup metal catalysts through the formation of cluster intermetallic compounds with Me-V, Mo, W bond adsorbed on the cathode surface [2, 3].

The induced co-deposition of cobalt with vanadium from the complex citrate electrolyte via stationary and pulse electrolysis modes was investigated in the current work. As a result of the research, it was found that the uniform microcrystalline light-gray high-quality cobalt-vanadium alloy coating is possible to be deposited from a citrate electrolyte with content of 0,1 mol/dm<sup>3</sup> vanadium (in terms of metal) as a citrate complex. The process was carried out at a current density of 1–15 A/dm<sup>2</sup> by stationary electrolysis mode and 2–10 A/dm<sup>2</sup> by pulse electrolysis mode, with a different ratio of pulse time to pause time, at a temperature range of 35–40 °C and pH = 3,0–3,5.

According to the results of the X-ray fluorescence (XRF) spectrometry, the maximum content of vanadium in the coating obtained via the programmable electrolysis mode is 1,20–1,45 %, which is tens of times more than in the coating

deposited by the stationary electrolysis mode (vanadium content 0,007–0,017 %) under similar conditions [4]. The obtained result may be a confirmation of the hypothesis of vanadium additional reduction from oxo-anions by adsorbed hydrogen atoms that formed on the cathode surface during the pause period. According to the results of the analysis of 2D graphs (Fig. 1, *a*, *b*), the optimal parameters of the process for obtaining a cobalt-vanadium coating with the vanadium maximum content in the alloy and the coating current yield have been established.

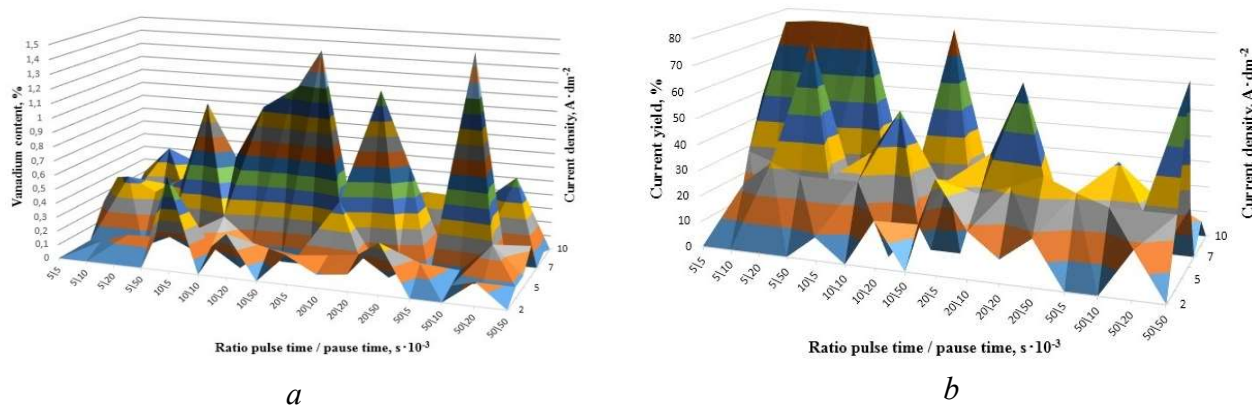


Fig.1 – Dependence of the vanadium content in the alloys (*a*) and coating current yield (*b*) on the current density and the ratio pulse time/pause time.

The maximum vanadium content in the alloy 1,45–1,5 % and the current yield of 80 % can be obtained at a current density of 5–7 A/dm<sup>2</sup> and a pulse and pause duration of  $1 \cdot 10^{-2}$ – $5 \cdot 10^{-2}$  s.

## References

1. Вєдь М.В., Сахненко М.Д. Каталітичні та захисні покриття сплавами і складними оксидами: електрохімічний синтез, прогнозування властивостей. Харків. 2010. 272 с.
2. Gamburg Yu.D, Zangari G. Theory and practice of metal electrodeposition. New York. 2011. 378 p.
3. Bairachniy B., Zhelavska Yu., Smirnova O., Pilipenko A., Finohenov O. Study of electrocatalytic activity of the vanadium-containing materials for the hydrogen evolution reaction. Materials Today: Proceedings. 2022. Vol. 50. P. 448–451. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.289>
4. Сахненко М.Д., Желавська Ю.А., Зюбанова С.І., Проскуріна В.О. Електрокаталітичні покриття кобальт-ванадій для реакції виділення водню. Вісник НТУ «ХП». 2021. № 49. С. 5–9. <https://doi.org/10.20998/2079-0821.2021.02.09>



УДК 621.357

## ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АНОДНОГО ОКИСЛЕННЯ ПОВЕРХНІ ТИТАНУ ТА ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ У ВИРОБАХ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

**Апалькова Валерія Євгенівна,**

здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти;

**Пилипенко Олексій Іванович,**

кандидат технічних наук, доцент, доцент

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[oleksiy.pylypenko@kname.edu.ua](mailto:oleksiy.pylypenko@kname.edu.ua)

Титанові сплави широко використовуються медицині в різноманітних імплантатах, альтернативних функціональних матеріалах, стоматології, медичному обладнанні та інших суміжних областях. Титан і титанові сплави мають хорошу корозійну стійкість, високу питому міцність, низький модуль пружності, високу втомну стійкість і біосумісність. Більшість цих властивостей титану обумовлена існуванням оксидної природної плівки на його поверхні. Підвищити товщину та щільність природної оксидної плівки на титані можна шляхом анодування (анодного оксидування). Після анодування можна також досягти підвищення мікротвердості поверхні титану, зносостійкості, жаростійкості, жароміцності, втомної міцності та стійкості до захоплення. Також підвищуються антифрикційні властивості поверхні деталей. Оксидна плівка запобігає контактній корозії титану з алюмінієм, магнієм, кадмієвими та цинковими покриттями. Завдяки пористій структурі оксидні плівки добре зарекомендували себе як підшар для нанесення лакофарбових матеріалів, клеїв, герметиків, мастил. Висока корозійна стійкість у фізіологічному середовищі анодованого титану дозволяє використовувати даний матеріал для виготовлення імплантів і протезів.

Анодування титану досліджується досить давно. На першому етапі особлива увага приділялася вивченню процесу формування оксидних плівок бар'єрного типу у слабких водних розчинах  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ . Мала товщина (не більше 40–50 нм) та неоднорідна аморфно-кристалічна будова бар'єрних анодних оксидів титану помітно обмежували їх застосування, зокрема як діелектричних шарів. Дослідження пористих плівок, виконані методом електронної мікроскопії, виявили, що поверхня оксидного покриття має розвинену комірчасту структуру. Покриття пористе, але пори не досягають поверхні металу. Діаметр пор змінюється в межах 100–500 нм. На розмір пор впливає спосіб їх отримання, склад електроліту та технологічні режими процесу. Товщина покриття обмежена через високі електроізоляційні

властивості  $\text{TiO}_2$ , який має більший електричний опір, ніж електроліт, що перешкоджає проходженню струму. Тому у ході електролізу відбувається розігрів електроліту у порах оксидної плівки і за певних умов починає переважати хімічна реакція розчинення оксиду в електроліті.

Певну інформацію щодо можливих структур оксидних плівок, які можна отримати методом оксидування, можна одержати з даних скануючої мікроскопії (рис. 1). Як видно, на структуру плівки впливають різні фактори: природа електроліту, тривалість електролізу, наявність термообробки.

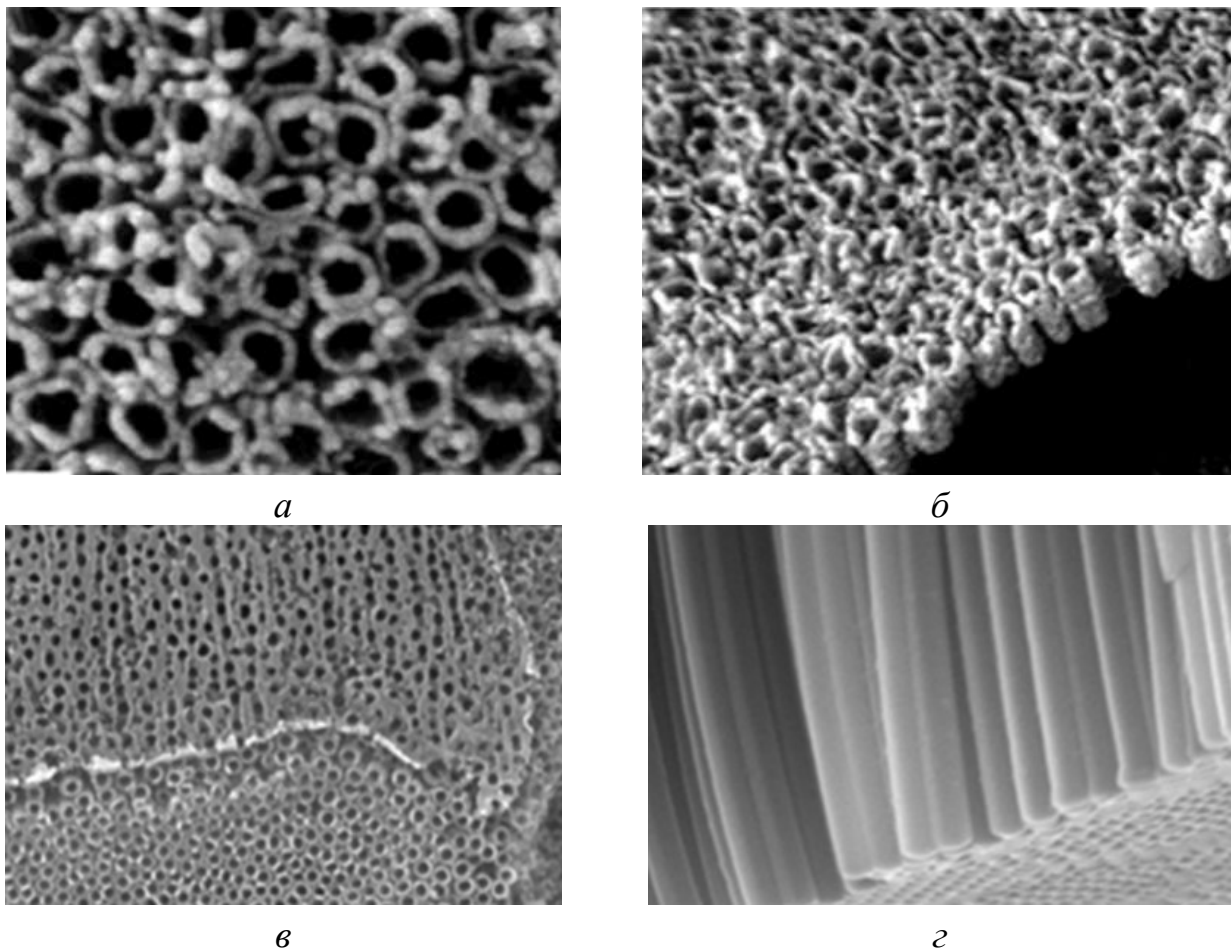


Рисунок 1. СЕМ-зображення поверхні трубчастого шару та поперечного перерізу, сформованих у водному розчині 0,5 % HF за 20 В протягом 20 хв (а, б) [1] та СЕМ-зображення поверхні трубчастого шару (б) і поперечного зламу (г) товщиною 40 мкм, сформованого довготривалим анодуванням протягом 23 годин у  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2 + 0,25\% \text{NH}_4\text{F}$  [3]

Процес анодування деталей з титанових сплавів полягає у зануренні деталі в електроліт та з'єднання її з позитивним полюсом джерела постійного струму. Під час проходження електричного струму через електроліт на аноді в активній формі виділяється кисень, який взаємодіє з титаном утворюючи анодно-оксидну плівку. Ріст анодного шару відбувається не на зовнішній поверхні деталі, а під шаром оксидної плівки, тобто на границі титану з анодною плівкою.

Зміна кольору пов'язана з відмінностями кристалічної структури анодного шару. Товщина анодного шару впливає на світло, що потрапляє в шар, який заломлюється під різними кутами, при цьому трохи змінюється колір плівки. Кольорове анодування титанових сплавів використовується для декоративного оздоблення та маркування. Декоративне анодування збільшує корозійну стійкість виробів та забезпечує високу світлостійкість пофарбованої поверхні із збереженням блиску вихідної поверхні. Візуально приклад градієнта кольору анодованого титану в залежності від напруги на ванні показаний на рисунку 2.

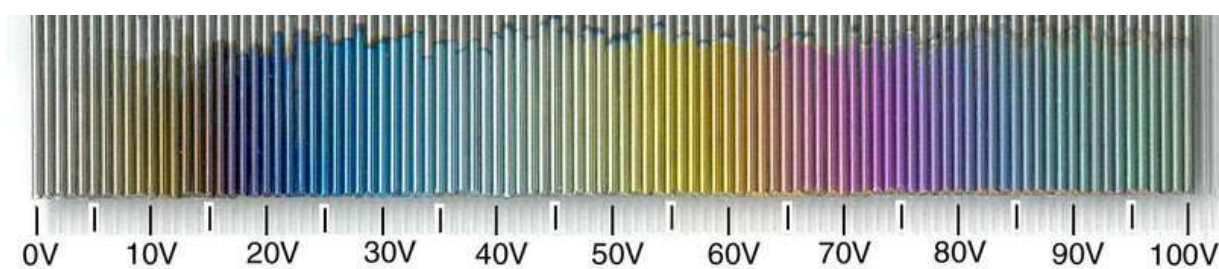


Рисунок 2 – Залежність кольору забарвлення оксидної плівки на титані від значення кінцевої напруги на комірці

Роль оксидної плівки у виробках медичного призначення полягає в наступному: по-перше, оксидну плівку можна нанести на титанові матеріали для запобігання корозії металу і підвищення біосумісності. За кольором оксидної плівки можна виявити область хірургічного втручання і гарантувати успішність операції. Нарешті, забарвлені оксидні плівки є мають привабливий зовнішній вигляд і використовуються для декоративної обробки поверхні.

### Список використаних джерел

1. Ma K., Zhang R., Sun J., Liu C. Oxidation mechanism of biomedical titanium alloy surface and experiment. *International Journal of Corrosion*. 2020. Vol. 2020. 1678615. <https://doi.org/10.1155/2020/1678615>
2. Pilipenko A., Maizelis A., Pancheva H., Zhelavska Yu. Electrochemical oxidation of VT6 titanium alloy in oxalic acid solutions. *Chemistry & Chemical technology*. 2020. Vol. 14, No. 2. P. 221–226. <https://doi.org/10.23939/chcht14.02>
3. Nowruzi F., Imani R., Faghihi S. Effect of electrochemical oxidation and drug loading on the antibacterial properties and cell biocompatibility of titanium substrates. *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12. 8595. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12332-z>

УДК 620.194

## ПРОБЛЕМИ КОРОЗІЇ ОБЛАДНАННЯ НА СУЧАСНОМУ КОКСОХІМІЧНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

**Нестеренко Сергій Вікторович**

кандидат технічних наук, доцент, доцент

**Бічев Максим Сергійович**

здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[nester.hnamg@gmail.com](mailto:nester.hnamg@gmail.com)

У США, за даними NACE, збитки від корозії, включаючи витрати на боротьбу з нею, становлять 3,1 % ВВП (\$ 276 млрд на рік), у Німеччині – 2,8 % ВВП. У межах 2–4 % ВВП є цей показник і в інших розвинених країнах. При цьому втрати металу, що включають металеві конструкції, вироби, обладнання, що вийшли з ладу, складають 10–20 % річного виробництва сталі. На коксохімічних підприємствах України таких розрахунків не провадиться, проте економічні втрати пов'язані з відновленням працездатності промислового обладнання значні.

Метою даної роботи є вибір найбільш корозійностійких сплавів і сталей і методів захисту обладнання коксохімічного підприємства, що працює в агресивних середовищах, що забезпечують їх високу працездатність.

Усі представлені у цій статті дані випробувань отримані за допомогою встановлення зразків свідків у робочому обладнанні, і, відповідно, отримані результати є обґрунтовано показовими щодо рівня корозії, що очікується у виробничих умовах.

**Вуглепідготовчий цех та вугільна фабрика.** Вуглепідготовчий цех, де здійснюється приймання, зберігання та підготовка вугілля до коксування. Основна продукція цеху – вугільна шихта. Якість коксу сильно залежить від рівня і сталості показників якості шихти. Подрібнення (до 70–80 % класу < 3 мм) та нагрівання вугілля проводиться у вентильованій молотковій дробарці, продуктивність якої відповідає продуктивності сучасного вуглепідготовчого цеху – 500 т/год.

Основними факторами, що впливають на корозію обладнання у вуглепідготовчих цехах та вуглезбагачувальних фабриках, є вугільна шихта з вологістю до 12 %. Водна частина шихти включає хлориди, концентрація яких доходить до 2–2,5 г/дм<sup>3</sup>, сульфати – до 1–1,4 г/дм<sup>3</sup>, карбонатів та гідрокарбонатів до 0,3–0,8 г/дм<sup>3</sup>, домішки сульфідів – до 0,2 г/дм<sup>3</sup>. Крім корозійного на метал вугільні частинки є абразивним матеріалом, які викликають зношування конусів,

якими він подається на обробку у великій кількості. Як матеріал для конусів та вихідних частин рекомендується використовувати леговані сталі 12X18H10T або 08X22H6T. Днища елеваторів, тички футерують діабазовою або метлахскою плиткою. Використання зазначених матеріалів забезпечує збільшення міжремонтних термінів у 5 разів, різке збільшення швидкості сходження вугілля з ям, що прискорює розвантаження вугілля.

Корозійна активність вугілля фабрики визначається наявністю солей (хлоридів – до 1,5 г/дм<sup>3</sup>, сульфатів – до 0,5 г/дм<sup>3</sup>, сульфідів – до 1 г/дм<sup>3</sup>, СО<sub>2</sub> – до 1 г/дм<sup>3</sup>), а також наявності абразивних частинок вугілля, породи, піриту. рН середовища 6,5–7,5, а температура його доходить до 40 °С.

Ротор, вал та статор флотмашин необхідно виготовляти з молібденістої сталі 10X17H13M2ТЛ. Пінознімачі флот машин виготовляють із сталі 12X18H10T. Лопасті та кріпильні елементи барабанних сушарок флот концентрату рекомендується виготовляти зі сталі 12X18H10T. Корпуси циклонів, витяжні труби необхідно виготовити із сталі 12X18H10T. Внаслідок того, що з градирень, веж гасіння коксу, димових труб, вихлопних труб електрофільтрів цехів сіркоочищення та інших джерел в атмосферу коксохімічних заводів потрапляє велика кількість агресивних сполук (Н<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, HCl, NH<sub>3</sub> тощо), водяних парів, сольового туману, корозія незахищеної сталі в атмосфері коксохімічних заводів набагато вища, ніж на підприємствах хімічної та нафтохімічної промисловості та досягає величин для вуглецевої сталі (Вст-3) порядку 1–1,5 мм/рік. Сталеві конструкції огорож обладнання для поводження з вугіллям зазвичай захищені завдяки фарбуванню спеціальними фарбами та мастиками. Найбільш стійкі покриття в умовах коксохімічного виробництва – це покриття, нанесені на піскоструминні та заґрунтовані поверхні. З лакофарбових покриттів для захисту коксохімічного обладнання та конструкцій слід використовувати покриття на основі емалей: ЕП-773 (3–4 шари), ЕП-5116 (2–3 шари), ХВ-774, ХВ-785 (5–6 шарів). Як ґрунтувальні матеріали рекомендується використовувати шпаклівку ЕП-00-10, ґрунтовку ХС-068. Для підвищення надійності захисту металоконструкцій необхідно використовувати сучасні методи металізації (нанесення Al та Zn покриттів) з подальшим перекриттям їх сучасними лакофарбовими матеріалами, зазначеними вище. Високоміцна, з низьким вмістом хрому та нікелю (до 2–3 %) сталь може використовуватися переважно для дахів та бічних конструкцій. Всі конвеєри екрановані – як для того, щоб захистити вугілля та стрічку від елементів, що ушкоджують, так і для недопущення розпилення вугільного пилу по решті території заводу. Цей захист забезпечується застосуванням сталевих щитів, захищених металізаційно-лакофарбовими покриттями або використанням композитних панелей.

Через навантаження-розвантаження, зберігання та переробки такої значної кількості вугілля, ґрунтове покриття навколо таких заводів після багатьох років їх роботи суттєво підкислюється. Відповідно, сталеві конструкції, що контактують із ґрунтом, повинні бути ретельно пофарбовані та постійно оглядатися. Оскільки ці ґрунти є добрими електролітами, на деяких заводах використовують бітумні емалі з додатковим катодним захистом.

**Коксовий цех.** Обладнання коксового цеху постійно піддається впливу високих температур, пари вологи, кислих газів  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  та аміаку. Крім того, на металеву поверхню діє абразивна дія вугілля або коксу, а також продуктів коксування. Корозія в печах відбувається на металевих частинах, що контактують із повітрям. Швидкість корозії металу значно знижується, можливо, тому що температура його досить високі, щоб підтримувати їх у сухому стані. Частини чавунних заслінок коксових печей на сторонах, звернених всередину печі, також схильні до незначного корозійного впливу.

На щастя, при конденсації на них утворюється досить товстий шар кам'яновугільної смоли, яка сама по собі є захисним матеріалом, який мінімізує негативні дії високих температур. Більшість металевих частин, що контактують із коксовою батареєю, захищені від вугілля або гарячих газів кам'яною кладкою. При незначних коливаннях температури можна використовувати листи зі звичайного «сірого» чавуну, але при значних температурних варіаціях показано використання чавуну з додаванням до нього 0,25 % хрому та 0,40 % молібдену для запобігання надмірному розширенню та розтріскуванню.

Бункера завантажувальних вагонів необхідно виготовляти з низьколегованої сталі, що містить 3–4 % хрому або двошарової сталі з плакуючим шаром сталі 12X18H10T. Необхідно забезпечити виготовлення ліжок сходу шихти зі сталей 12X18H10T або 08X22H6T. Використовуючи дані матеріали дозволяє знизити абразивне зношування металу і покращує сходження шихти при завантаженні камер.

Кабіни дверей машини, козирки над тролєями електровоза піддаються впливу продуктів дегазації та горіння коксу при його видачі, домішок коксового газу в повітрі: водяні пари після гасіння коксу містить – сірководень до 0,1 г/л;  $\text{HCN}$  до 0,05 г/л;  $\text{CO}_2$  до 2 г/л. Бризки води, що містить: хлорид амонію – до 4 г/л, сірководень до 0,2 г/л,  $\text{HCN}$  – до 0,05 г/л. Температура 30–100 °С. Дане обладнання необхідно виготовляти із легованої сталі 12X18H10T.

Коксогасильний вагон має спеціальну конструкцію, зокрема похилий підлогу, викладений плитами з чавуну. Вагон потім переміщається під вежу гасіння, де кокс ретельно гаситься водою. У будь-якому випадку, утворена в процесі гасіння пара, відводиться через насадку вежі гасіння і в результаті

утворюється конденсат, який має сильну корозійну дію. В основному використовується сталь 10X17H13M3T.

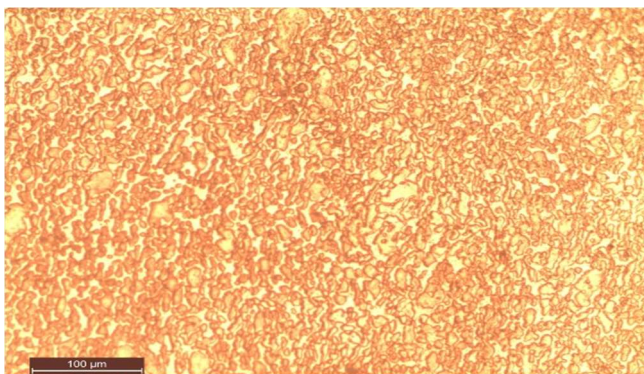
У роботі було проаналізовано отримані результати по вимірюванню корозійної агресивності виробничої зони в районі гасильної вежі коксового цеху (зразки було встановлено в районі розсікача гасильного вагона). Агресивним середовищем у вежі гасінні є водяні пари, що містять домішки г/л: хлориди 1,5–3,4, роданіди 0,5–1,0, сульфати – до 2, ціаніди – до 0,1, сірководень – 0,5, кислоти, що утворюються при термічному розкладі амонійних солей. Вода гасіння коксу з вмістом г/л: зв'язаний аміак – до 7,0; хлориди – до 4,0; роданіди – 1,0; сульфати – до 3,0; ціаніди – до 0,2; сульфіді – 0,5; феноли – до 0,1 і температура води 60–100 °С. Встановлено, що найбільш стійкими сталями матеріалами в цих умовах є дуплексні сталі фірми Sandvik SAF 2507, 254 SMO [1–3], що забезпечують утворення пасивних захисних шарів. Менш стійкими є сталі типу 10X17H13M2(3)T (AISI 316), які можуть зазнавати піттингової корозії. Хімічний склад цих сталей приведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад досліджуваних сталей

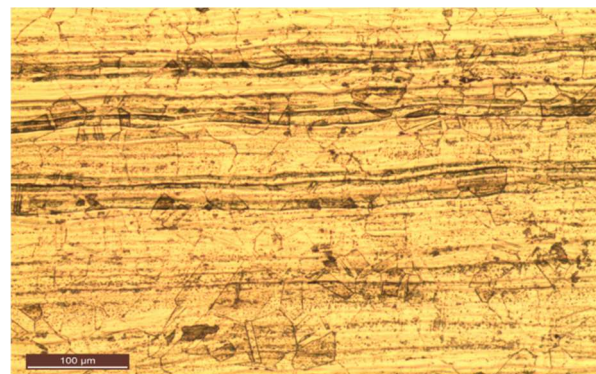
Марка сталі	C	S	P	Cr	Ni	Mo	N	ЕОП*
254 SMO	0,01	0,010	0,030	20,0	18,0	6,1	0,20	43
SAF-2507	0,02	0,010	0,030	25,0	7,0	4,0	0,27	43
AISI 304	0,08	0,030	0,045	19,0	9,3	–	–	–
AISI 316Ti	0,08	0,030	0,045	18,7	12,0	2,4	–	–
AISI 316L	0,03	0,015	0,020	16,5	15,3	2,7	–	–

\* – показник стійкості до піттингоутворення.

Металографічні дослідження зразка дуплексної сталі, типу 1.4462, свідчать про рівномірний характер структури, яка являє собою дрібнозернисту аустеніто-феритну суміш, яка містить ~ 60 % фериту і 40 % аустеніту (рис. 1).



*a*



*б*

Рисунок 1 – Мікроструктура дуплексної сталі ДКС SAF 2507 (*a*) і сталі 254 SMO (*б*)

Багато років для виготовлення коксогасильних вагонів використовувалася високовуглецева сталь. Однак досвід експлуатації показав, що найбільш стійким та економічно виправданим конструкційним матеріалом для виготовлення коксогасильного вагона є сталь – 12X18H10T (AISI 304 або AISI 321).

Вихід з ладу коксогасильного вагона впливає на продуктивність всього коксохімічного підприємства. Для зниження ризику руйнування потрібно одночасно мати теплостійкість, зносостійкість та корозійну стійкість матеріалів. Найбільш поширеним матеріалом плит коксотушильного вагона є чавун, який має тепловий опір. У процесах мокрого гасіння коксу за кордоном зазвичай використовуються жароміцні чавунні та сфероїдальні графітові чавунні матеріали. Дослідження причин утворення мікротріщин під мікроскопом показали, що основною причиною утворення тріщин є високий вміст сірки та наявність пластинчастого графіту.

Інше обладнання коксового цеху: рами, настили, стійки, кронштейни та проти пересипні огорожі під-рампових конвеєрів; форсунки, відсічні клапани, запірні арматура, трубопроводи та установчі металокопункції пристроїв дотушування коксу також піддається дії парів води перебігу коксу і водних конденсатів з вмістом г/л: зв'язаний аміак – до 4,0; хлориди – до 3,0; роданіди – до 0,2; ціаніди – до 0,1; сульфідів – 0,3; феноли – до 0,1 і температура коксу 100–200 °С. Як конструкційний матеріал у цьому випадку необхідно використовувати сталь 12X18H10T (AISI304 або AISI321). Для підвищення надійності захисту металокопункцій необхідно використовувати сучасні методи металізації (нанесення Al та Zn покриттів) з наступним перекриттям їх сучасними лакофарбовими матеріалами: ЕП-773 (3–4 шари), ЕП-5116 (2–3 шари), ХВ-774, ХВ-785 (5–6 шарів), високотемпературний матеріал ВН-30.

### **Список використаних джерел**

1. Jacques S. Corrosion resistance of duplex stainless steels in thermal desalination plants. Corrosion Nace conference. 2008. NACE-08261.
2. Korkhaus J. Application of corrosion-resistant steels in chemical industry. Mater. of the Conf. “Stainless Steel World 99”. KCL Publishing BV. 1999. P. 27–41.
3. Charles J. Some duplex applications. Test results and practical experience. Stainless Steel World 99 Conf. on Corrosion-Resistant Alloys (16-18 Nov. 1999, Hauge, Netherlands). 1999. P. 473–485.



УДК 621.35

**ПОЛІЛІГАНДНИЙ ЕЛЕКТРОЛІТ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ  
КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИВІВ Co-Mo-WO<sub>x</sub>****Ненастіна Тетяна Олександрівна,**

доктор технічних наук, професорка, завідувачка кафедри;

**Романюк Андрій Дмитрович,**

студент;

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Сахненко Микола Дмитрович,**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри;

**Маркова Наталія Борисівна,**

старша наукова співробітниця

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

[nenastina@ukr.net](mailto:nenastina@ukr.net)

Природа, способи формування та властивості композиційних покриттів нерозривно пов'язані між собою та є ланками одного ланцюга. Зокрема попри уявну однозначність існують суттєві відмінності не тільки в структурі та властивостях металургійних і гальванічних композитів, а і концентраційних співвідношеннях компонентів, особливо з огляду на їх перерозподіл у поверхневих шарах і об'ємі матеріалу. Електроосаджені композиційні покриття за своїм фазовим складом, морфологією поверхні, а відповідно, і властивостями значно відрізняються від сплавів, одержаних термічним шляхом, що значно розширює технічні можливості електролітичних сплавів та галузі їх застосування. Вплив головних зовнішніх і внутрішніх чинників на формування складу і властивостей багатокомпонентних покриттів є загальновідомим і логічним [1–4].

Для визначення раціонального складу комплексного цитратно-пірофосфатного електроліту композиційні покриття Co-Mo-WO<sub>x</sub> наносили на підкладку з нержавіючої сталі в гальваностатичному режимі. Співвідношення концентрацій сплавотвірних компонентів електроліту Co<sup>2+</sup>:WO<sub>4</sub><sup>2-</sup>:MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup> варіювали в діапазоні 1:1:1–1:2:2 [5].

З полілігандних цитратно-пірофосфатних електролітів за рН 8,5–10,0 осаджуються блискучі однорідні композиційні покриття з високою адгезією до підкладки. Вміст молібдену в складі покриттів, так само як і ВС (рис.1), зростає зі зменшенням концентрацій оксометалатів  $c(\text{Co}^{2+})/c(\text{WO}_4^{2-} + \text{MoO}_4^{2-})$ .

Даний факт можна пояснити наступними обставинами: при збільшенні надлишку оксометалатів відбувається їх полімеризація, тому справжня концентрація моноформ оксометалатів, які беруть участь у формуванні

гетероядерних комплексів, знижується, також за високих значень співвідношення комплексоутворювачів, оксометалати можуть виступати в ролі лігандів, що також пояснює невисокий вміст тугоплавких металів в покриттях КЕП сплавами Co-Mo-WO<sub>x</sub>.

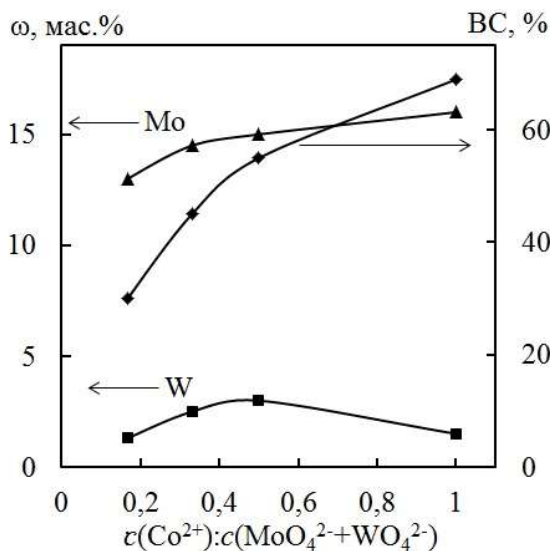


Рисунок 1. Залежність складу композиційних покриттів Co-Mo-WO<sub>x</sub> і ВС від співвідношення концентрації комплексотвірників за  $i = 4 \text{ А/дм}^2$ , рН = 9,0

Невід’ємною складовою визначення раціонального вмісту лігандів в складі електроліту є процедура встановлення впливу їх концентрації на включення та вміст тугоплавких компонентів до складу композиційних покриттів. Під час виконання цієї процедури використовували електроліти зі сталим вмістом комплексотвірників, моль/дм<sup>3</sup>:  $c(\text{Co}^{2+}) = 0,2$ ;  $c(\text{WO}_4^{2-}) = 0,16$ ;  $c(\text{MoO}_4^{2-}) = 0,08$  за рН = 9,5 (рис. 2).

Встановлено, що зростання концентрації натрію цитрат та калію пірофосфат веде до збільшення числа лігандів в складі комплексів і загального негативного заряду частинок. У силу першої причини зростає міцність комплексів і енергетичні ускладнення на стадії розряду, а в силу другої – зростають труднощі на стадії транспортування частинок до поверхні катода (міграційна складова процесу переносу) і, відповідно, відбувається гальмування процесу. Обидві причини ведуть до зниження ВС, оскільки на розряд водню зростання концентрації лігандів істотно не впливає.

Крім того, підвищення концентрації лігандів менш значуще позначається на осадження кобальту, константи утворення комплексів якого зростають в меншій мірі, ніж тугоплавких металів, тому загальний вміст кобальту в складі композиційного покриття в порівнянні з тугоплавкими металами збільшується. Як наслідок, на збагаченій кобальтом поверхні через його високу каталітичну активність в реакції виділення водню вихід за струмом водню зростає.

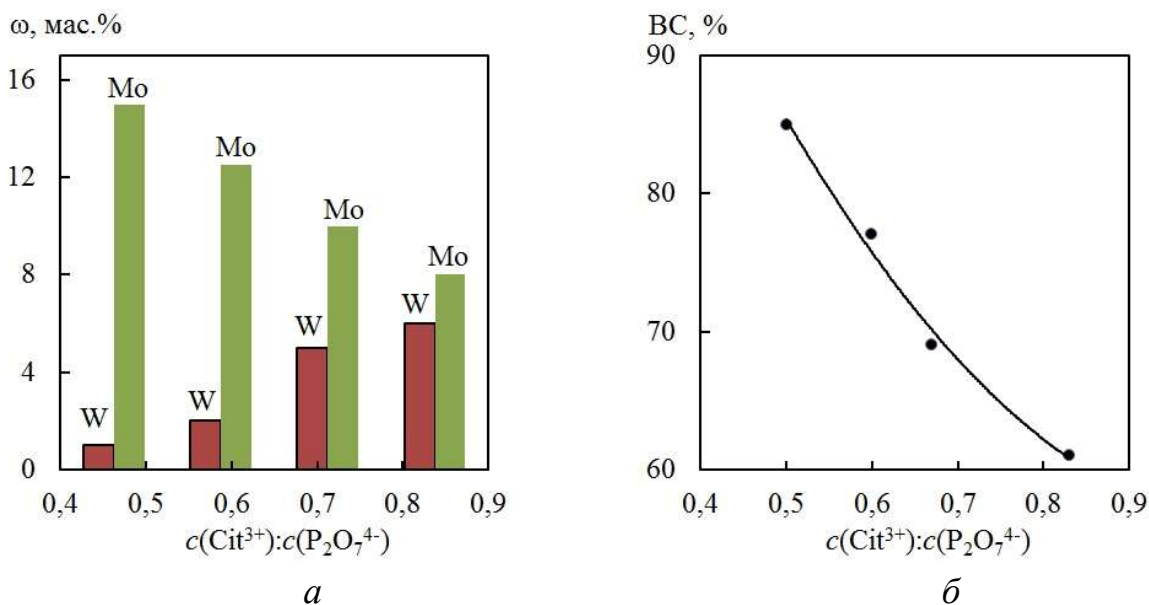


Рисунок 2. Вплив співвідношення концентрацій лігандів на загальний вміст вольфраму і молібдену в композиційних покриттях Co-Mo-WO<sub>x</sub> (a) і BC (б) ( $i = 4 \text{ A/дм}^2$ )

Важливою складовою синтезу якісних композиційних покриттів Co-Mo-WO<sub>x</sub> заданого складу є стабільність рН електроліту, оскільки під час підкисленні середовища відбувається полімеризація оксоаніонів, а в лужній області можливе формування гідроксидів і/або гідроксосполук кобальту. Так, зокрема, в діапазоні рН 1–6 формуються покриття з низьким рівнем адгезії до підкладки, низьким вмістом тугоплавких компонентів і виходом за струмом на рівні 15–43 % (рис. 3).

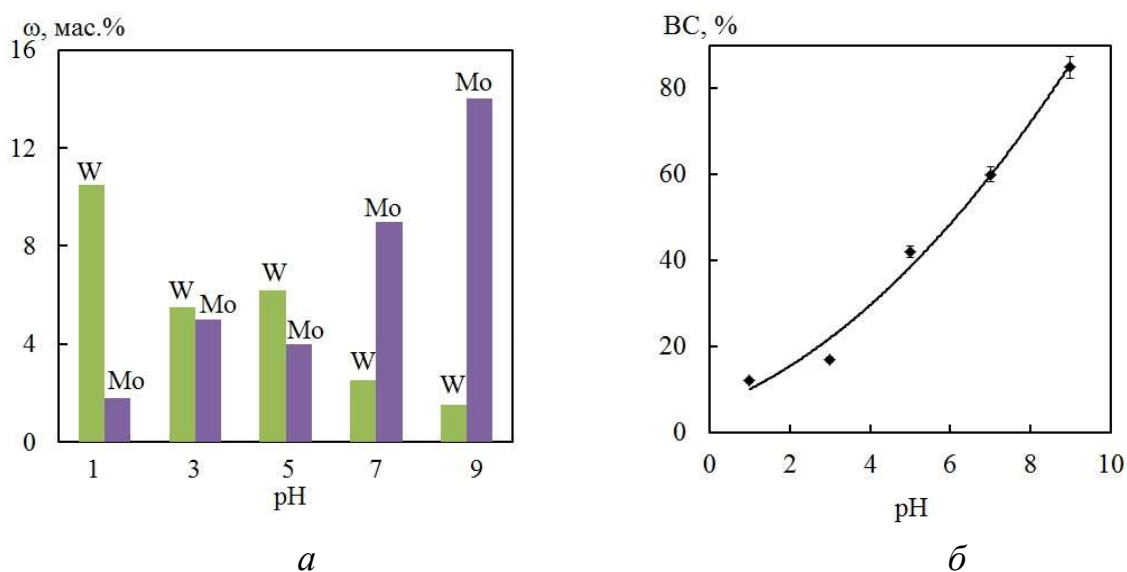


Рисунок 3. Вплив кислотності цитратно-пірофосфатного електроліту на склад композиційних покриттів Co-Mo-WO<sub>x</sub> та BC ( $i = 4 \text{ A/дм}^2$ )

Однак за кислотності розчину електроліту на рівні 8–10 відбувається достатній ріст виходу за струмом та вмісту тугоплавких металів. Цікавим виявився той факт, що загальний вміст тугоплавких компонентів у інтервалі  $\text{pH} = 1\text{--}6$  залишається практично постійним  $\omega(\text{W} + \text{Mo}) \neq f(\text{pH})$ , але по мірі залужування  $\omega(\text{Mo})$  збільшується, тоді як  $\omega(\text{W})$  зменшується.

Встановлено, що з цитратно-пірофосфатного електроліту формуються композиційні електролітичні покриття  $\text{Co-Mo-WO}_x$ , вміст тугоплавких компонентів, структура і морфологія поверхні, а також фізико-механічні властивості яких залежать від складу електроліту і умов електролізу.

Для отримання якісних композиційних покриттів  $\text{Co-Mo-WO}_x$  рекомендується співвідношенням концентрацій компонентів електроліту  $c(\text{Co}^{2+})/c(\text{WO}_4^{2-} + \text{MoO}_4^{2-}) = 1:(1\text{--}2)$  і лігандів  $c(\text{Cit}^{3-})/c(\text{P}_2\text{O}_7^{4-}) = 1:2$ ; в діапазоні густини струму  $2\text{--}8 \text{ A/дм}^2$  за варіювання температури в інтервалі  $293\text{--}333 \text{ K}$ . Невисокий вміст вольфраму в складі композиційних матеріалів, осаджених в стаціонарному режимі, надає покриттям дрібнокристалічної структури та знижує рівень внутрішніх напружень.

### Список використаних джерел

1. Glushkova M., Bairachna T., Ved M., Sakhnenko M. Electrodeposited cobalt alloys as materials for energy technology. In MRS Proceedings: Cambridge University Press. 2013. No. 1491. mrsf12-1491. <https://doi.org/10.1557/opl.2012.1672>
2. Tsyntsaru N., Cesiulis H., Donten M., Sort J., Pellicer E., Podlaha-Murphy E.J. Modern trends in tungsten alloys electrodeposition with iron group metals / Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2012. 48. P. 491–520. <https://doi.org/10.3103/S1068375512060038>
3. Eliaz N., Gileadi E. Induced codepositio of alloys of tungsten, molybdenum and rhenium with transition metals. Modern Aspects of Electrochemistry. 2008. Vol. 42. P. 191–301. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-49489-0\\_4](https://doi.org/10.1007/978-0-387-49489-0_4)
4. Yar-Mukhamedova G., Ved' M., Sakhnenko N., Nenastina T. Electrodeposition and properties of binary and ternary cobalt alloys with molybdenum and tungsten. Applied Surface Science. 2018. Vol. 445. P. 298–307. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.03.171>
5. Sakhnenko M.D. Physicomechanical Properties of Composite Electrochemical Coatings and Foils Based on Nickel and Reinforced with  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Materials Science. 2017. Vol. 53, №3. P. 374–384.

УДК 621.357

## ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ПОЛІРУВАННЯ ЯК МЕТОД ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ МЕТАЛІВ

**Пилипенко Олексій Іванович,**

кандидат технічних наук, доцент, доцент;

**Щербина Світлана Сергіївна,**

здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[oleksiy.pylypenko@kname.edu.ua](mailto:oleksiy.pylypenko@kname.edu.ua)

Метод електрохімічного полірування ґрунтується на знятті (розчиненні) металу з поверхні виробів у розчинах електролітів під дією електричного струму. Процес розчинення металу в умовах анодної поляризації починається з найвищих точок рельєфу поверхні (мікровиступів шорсткої поверхні). Внаслідок цього мікрорельєф поверхні металу вирівнюється і вона стає гладкою та блискучою. Шорсткість поверхні у процесі електрохімічного полірування зникає тим швидше, що менше розміри мікровиступів та мікрозападин.

Для досягнення оптимального вирівнювання необхідно, щоб швидкість розчинення з того моменту, коли всі мікровиступи усунуті, була абсолютно однаковою в усіх точках поверхні металу. Цьому сприяють особливості протікання процесу електрохімічного полірування, які полягають у утворенні в'язкого поверхневого шару електроліту. Товщина цього в'язкого шару неоднакова – на мікровиступах вона менша, а на мікрозападинах – більша.

Тому у ході електрохімічного полірування (яке фактично є анодним розчиненням металу в умовах граничного струму) на поверхні виробу, що полірується, утворюється в'язка сольова плівка, яка внаслідок того, що має високе значення електричного опору, захищає (ізолює) мікрозападини від дії струму і не перешкоджає розчиненню виступів. Внаслідок цього поверхня згладжується і полірується.

Звичайно, існують і інші припущення стосовно появи полірувальної дії того чи іншого електроліту. Зокрема, запропонований декристалізаційний механізм електрохімічного полірування, згідно якого визначальну роль у процесі відіграє розчинення так званих фігур травлення, які мають підвищений запас енергії. Згідно другого пояснення, переважне розчинення мікровиступів пов'язане з тим, що вони краще забезпечуються молекулами води та аніонами, які необхідні для утворення іонних атмосфер та сольватних оболонок навколо іонів розчиненого металу.

Найкраща якість обробки поверхні досягається у процесі електрохімічного полірування чистих і однорідних металів або сплавів. Раціональний підбір електроліту та режиму роботи гальванічної ванни, дозволяє настільки посилити ефект згладжування поверхні, що клас обробки поверхні підвищиться 12–13.

Електрохімічне полірування дозволяє контрольовано видалити з поверхні металу зовнішній дефектний шар, який утворюється внаслідок попередньої механічної обробки деталі або напівфабрикату. Цей дефектний шар містить сторонні включення, концентратори напружень, оксидні плівки. Використання електрохімічних прийомів дозволяє видалити дефекти і надати поверхні блиску та підвищити її характеристики. Зокрема, підвищуються зносостійкість, стійкість до втоми, корозійна стійкість металу.

Перевагами електрохімічних прийомів обробки є мінімізація необхідних процесів механічного полірування металу і трудомісткості її виконання, яка супроводжується утворенням великої кількості пилу та відходів, зменшення втрат металу, можливість контрольованого розчинення металу з заданою швидкістю, яке дає змогу видаляти деформований шар певної товщини.

#### **Список використаних джерел**

1. Mu J., Sun T., Lun C., Leung A., Oliveira J. P., Wu Y., Wang H. Application of electrochemical polishing in surface treatment of additively manufactured structures: a review. *Progress in Materials Science*. 2023. Vol. 136. 101109. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2023.101109>
2. Zhu H., Rennie A., Li R., Tian Y. Two-steps electrochemical polishing of laser powder bed fusion 316l stainless steel. *Surfaces and Interfaces*. 2022. Vol. 35. 102442. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2022.102442>
3. Mohammad A., Wang D. Electrochemical mechanical polishing technology: recent developments and future research and industrial needs. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2022. Vol. 86, Iss. 5–8. P. 1–16. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-8119-6>
4. Acquesta A., Monetta T., Franchitti S., Borrelli R., Viscusi A., Perna S.P., Penta F., Esposito L. Green electrochemical polishing of EBM Ti6Al4V samples with preliminary fatigue results. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2023. Vol. 126. P. 4269–4282. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11400-6>
5. Łyczkowska-Widłak E., Lochyński P., Nawrat G. Electrochemical polishing of austenitic stainless steels. *Materials*. 2020. Vol. 13, No 11. 2557. <https://doi.org/10.3390/ma13112557>
6. Park K., Lee J., Kim Y., Yoon S., Yoo B. Study of Cu electrochemical polishing mechanism with observation of water acceptor diffusion. *Frontiers Chemistry*. 2021. Vol. 9. <https://doi.org/10.3389/fchem.2021.763508>

## **СЕКЦІЯ 4**

### ***ПЕРСПЕКТИВНІ ЛАКОФАРБОВІ МАТЕРІАЛИ***

УДК 693.54

## СТВОРЕННЯ НОВОЇ ЛАКОФАРБОВОЇ КОМПОЗИЦІЇ «ФОС» ДЛЯ ЗАХИСТУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ВІД КОРОЗІЇ

**Нестеренко Сергій Вікторович,**

кандидат технічних наук, доцент, доцент;

**Бічев Максим Сергійович,**

магістр;

**Головка Анна Олександрівна,**

студентка

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[nester.hnamg@gmail.com](mailto:nester.hnamg@gmail.com)

Повітряний басейн коксохімічного заводу насичений агресивними речовинами, що спричиняють інтенсивну атмосферну корозію металоконструкцій та обладнання. Агресивність атмосфери в окремих зонах коксохімічного виробництва є різною. Найбільш агресивною зоною є район вежі мокрого гасіння коксу. Тут найвища вологість (95–98 %), а атмосферу виділяються продукти розкладання на розпеченому коксі хлористого, роданистого, сірчанокислого і цианистого амонію. Швидкість корозії вуглецевої сталі у цьому районі становить 0,40–0,58 мм/рік, чавуну – 0,22–0,35 мм/рік. Джерелами виділення вологи на заводі є також відстійники води (фенольної, шламової тощо), аеротенки та відстійники біохімії, первинні газові холодильники, повітряні повітряні пари та інше. У районі відстійників цеху уловлювання відносна вологість коливається не більше 56–93 %.

Вміст сірководню та аміаку порівняно з районом вежі гасіння дещо вищий (сірководень – 6–13 мг/м<sup>3</sup>, аміак – 7–20 мг/м<sup>3</sup>). Швидкість корозії вуглецевої сталі у цьому районі 0,18–0,22 мм/рік, чавуну – 0,08–0,10 мм/рік. Район зрошувальних холодильників характеризується високою вологістю до 100 %. У процесі випаровування оборотної води зрошувальних холодильників у бризках містяться: хлориди – 1–5 г/л, сульфати – 3–5 г/л. Швидкість корозії вуглецевої сталі, у цьому районі досягає 0,34–0,50 мм/рік, а чавуну – 0,15–0,45 мм/рік. Район сатураторів сульфатного відділення цеху уловлювання характеризується вологістю 70–90 %. У атмосфері міститься: сірководень – 2–5 мг/м<sup>3</sup>, діоксид сірки – до 10 мг/м<sup>3</sup>, аміак – 5–8 мг/м<sup>3</sup>, а також ароматичні вуглеводні. Порівнюючи дані щодо корозійної активності атмосфер різних коксохімічних заводів, можна відзначити, що згідно зі СНП 2.03.11-85 їх можна кваліфікувати як сильно агресивні. Найбільш доступними та економічними методами захисту коксохімічного обладнання є нанесення захисних лакофарбових покриттів, що забезпечують можливо більш



довготривалий антикорозійний захист металовиробів. Недостатній термін служби захисних покриттів в атмосфері коксохімічних заводів пов'язаний з тим, що як лакофарбові матеріали через дефіцитність і дорожнечу використовуються нехімстійкі матеріали, які мають термін служби 6–7 місяців (лак-оліфа, "Стікор"). Метою цієї роботи є розробка хімістійких лакофарбових матеріалів з використанням у їхньому складі відходів хімічної та коксохімічної сировини.

Основним сполучним при складанні композицій була епоксидна смола ЕД-16, яку модифікували добавками полістиролу (ПС) та вуглеводневої смолою (СУФ) – попутного продукту у виробництві нафталіну формальдегідним очищенням. Під час обробки складів, що включають зазначені компоненти, визначено прийнятний розчинник толуол, добре розчиняє ПС, СУФ, епоксидну смолу ЕД-16. Для виявлення впливу на фізико-механічні властивості та режим сушіння композицій одного з компонентів проводили випробування композицій, зазначених у таблиці 1. Сумісність компонентів спостерігалася хороша, життєздатність композиції при температурі 18–23 °С у закритій тарі складає близько 30 днів. Дослідження фізико-механічних властивостей композицій, що розробляються, проводили відповідно до вимог стандартів. Для випробувань на атмосферостійкість за кожним варіантом дослідних покриттів були приготовлені зразки зі Ст. 3 розміром 60 мм на 150 мм (по 3 од. на кожен варіант та 1 контрольний). Підготовку поверхні зразка проводили шліфувальною шкіркою з наступним знежиренням ацетоном. Нанесення лакофарбового матеріалу здійснювали кистовим методом 3 шари за в'язкості по віскозиметру ВЗ-4 35–40 с. Загальна товщина дослідних покриттів становила 85–90 мкм.

До складу покриттів вводили алюмінієву пудру в кількості 10–15 % маси сполучного. Під час випробувань на атмосферостійкість через кожні 5 циклів на випробуваних зразках визначали вимірювання провідності ( $Y$ ) та ємності ( $C$ ) системи «метал – шар фарбувальний – розчин 3% натрію хлориду». Вимірювання проводили за допомогою моста змінного струму Р-5021 у двоелектродній комірці за методикою [1]. Результати вимірювання цих параметрів для різних варіантів покриття наведено у таблиці 2.

Прискорені лабораторні випробування дослідних покриттів на атмосферостійкості за ГОСТом 9.074-77 «метод Д», а також аналіз ємнісно-омічних вимірювань показали, що після 20 циклів випробувань дослідні покриття не змінили своїх захисних властивостей (не спостерігалася корозія, відшарування, бульбашок тощо). За декоративними властивостями спостерігалася лише незначна зміна кольору та блиску. Композиції, покриття яких виявляють найбільшу захисну здатність та хороші фізико-механічні

властивості (№4, 13, 16), випробовували електрохімічним методом. Для порівняння аналогічним випробуванням піддали композицію № 3, а також досліджені раніше стандартні системи ХВ-16, «Стікор».

Таблиця 1. Зміна фізико-механічних властивостей та часу висихання при різному співвідношенні компонентів

№ з/п	Співвідношення компонентів мас, год.			Режим сушіння		Результати фізико-хімічних випробувань				
	ЭД-16	СУФ	ПС	Температура, °С	Час сушіння, год	Міцність до удару, кг/см <sup>2</sup>	Міцність на вигин, мм	Адгезія, бал		
1	10	10	2,5	70	24					
2	10	10	5	70	24	50	1	1		
3	10	10	7,5	18–23	0,5	40				
4	10	10	10		0,5	40				
5	10	10	12,5		0,5	40				
6	10	10	15,0		0,2	40			3	3
7	10	2,5	10		0,1	30			20	4
8	10	5	10		0,1	30			10	2
9	10	7,5	10		0,2	40			5	1
10	10	10	10		0,5	40			1	
11	10	12,5	10		0,5	50				
12	10	20	10		70	6,0			40	
13	2,5	10	10		18–23	0,1	10	20	2	
14	5	10	10	0,2		50	1	1		
15	7,5	10	10	0,2		40				
16	10	10	10	0,5		40				
17	12,5	10	10	0,5		50				
18	20	10	10	24,0		50				
19	10	10	–	24,0		50				

Таблиця 2 Ємнісно-омічні характеристики захисних композицій

Системи покриттів у табл. 1	Y, Ом/см <sup>2</sup>			C, мкФ/см <sup>2</sup>		
	Число циклів			Число циклів		
	10	15	20	10	15	20
3	0,005	0,0330	0,0950	0,001	0,0020	0,00900
4	–	–	0,0009	–	–	0,00100
13	–	0,0100	0,0110	–	0,0010	0,00250
16	–	0,0112	0,0200	–	0,0018	0,00275

Ці дослідження проводили в 3 % розчині NaCl на потенціостаті П-5827М у триелектродній комірниці за звичайною методикою. За тією ж методикою розраховували струми та швидкості підплівкової корозії (табл. 3).

Проведені експерименти показали, що введення в композицію СУФ у поєднанні з ізометилтетрагідрофталеєвим ангідридом (ІМТГФА), який

використовувався як затверджувач епоксидної смоли, призводить до того, що з часом випробувань настає пасивація поверхні металу, що уповільнює загалом процес старіння ЛКП. Тому для подальших випробувань з ємнісно-омічного та потенціодинамічного методів була взята композиція № 4 (табл. 1).

Таблиця 3. Зміна швидкостей підплівкової корозії для різних систем захисних композицій на основі СУФ

Системи покриттів у табл. 1	Глибинний показник швидкості корозії $k_h$ , мм/рік					
	$\tau = 0$ сут.	$\tau = 3$ сут.	$\tau = 5$ сут.	$\tau = 9$ сут.	$\tau = 15$ сут.	$\tau = 21$ сут.
3	0,00852	0,014	0,0390	0,0220	0,0256	0,03960
4	0,00062	–	0,0005	0,0015	0,0020	0,00235
13	0,00074	–	0,0011	0,0025	0,0037	0,00430
16	0,00470	0,022	0,1230	0,0930	–	0,29400

Потенціодинамічні зміни проводили за тією ж методикою для композицій «ФОС», ХВ-16, ХВ-784, «Стікор», «ІС-1, ЕП-0010». Аналіз отриманих результатів показує, що покриття на епоксидній основі з додаванням таких пластифікаторів як ПС і СУФ показують хороші захисні властивості, які набагато перевершують захисні властивості досліджуваних покриттів і близькі за захисною дією до епоксидним покриттям (ЕП-0010). Результати ємнісно-омічних вимірювань, у процесі яких визначали провідність та електрохімічну ємність досліджуваних систем у розчинах хлористого натрію захисних покриттів, повністю узгоджуються з поляризаційними дослідженнями.

Для натурних випробувань у промисловій атмосфері Харківського КХЗ були рекомендовані дослідні покриття «ФОС». Цей лакофарбовий матеріал був застосований для захисту діючого обладнання на цьому коксохімзаводі.

На основі проведених досліджень розроблена лакофарбова композиція «ФОС» виявляє високі захисні властивості покриттів в умовах лабораторних випробувань. Аналіз даних електрохімічних досліджень підтверджує високі захисні властивості розробленої композиції. За захисними властивостями композиція наближається до захисних властивостей епоксидних композицій. Натурні випробування зразків покриттів, а також дослідний антикорозійний захист обладнання в промисловій атмосфері коксохімзаводів показали високу захисну здатність покриттів на основі розробленого ЛКМ.

### Література

1. Пат. 18610 Україна, МКІ В23 К 35/365 Склад покриття: Пат.18610 Україна, МКІ В 23 К 35/365 / Нестеренко С. В., Шешнева І. А., Непомнящая А. С., Лейба В.С., Чала В.П. та ін.; №94322353; Опубл. 25.12.97, Бюл. № 7. – 6 с.

УДК 667.6

## ПЕРСПЕКТИВНІ ЕКОЛОГІЧНОЧИСТІ ЛАКОФАРБОВІ МАТЕРІАЛИ

**Владико Олександра Олександрівна,**

студентка;

**Глоба Юрій Анатолійович,**

магістр;

**Карімов Ерік Маратович,**

студент;

**Маркуш Наталія Василівна,**

магістрантка;

**Гуріна Галина Іванівна,**

кандидат хімічних наук, доцентка, завідувачка кафедрою

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова;

**Кот Антоніна Григоріївна,**

директорка

Algol Chemicals

[Galyna.Gurina@kname.edu.ua](mailto:Galyna.Gurina@kname.edu.ua)

Успішне вирішення задач євроінтеграції та здійснення реформ в Україні вимагають нових рішень та практичних кроків, спрямованих на формування екологічно безпечного довкілля [1–3]. Технологічна модернізація та трансформація промисловості у більш «зелену» й ресурсоефективну стала основним компонентом політики «зеленого» зростання, впровадженням в економіку довоєнної країни тренду на сталий розвиток. Відповідно до нових запитів постала необхідність оновлення стратегії розвитку екологічної політики України. Прийнятий Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» запровадив новий аспект бачення цілей та стратегічних завдань в галузі охорони довкілля. Він здійснює перегляд основних стратегічних завдань державної екологічної політики, виходячи з виявлення причин екологічних проблем в Україні та фінансової спроможності країни до їх вирішення. У ньому сформовано бачення стану довкілля, якого Україна має досягнути до 2030 року. Виписані стратегічні завдання спрямовані на ліквідацію причин та передумов негативних явищ, а не їх наслідків. Документ відповідає європейським екологічним стандартам життя. До сучасних глобальних екологічних проблем належать: – виснаження природних ресурсів (корисних копалин, земельних ресурсів, лісів, прісної води та ін.); – забруднення навколишнього природного середовища (атмосферного повітря, Світового океану, ґрунтів); – втрата біорізноманіття.

Забруднення атмосфери різними хімічними викидами промислового характеру є однією з найгостріших екологічних проблем людства. Ці

забруднюючі речовини потрапляють в атмосферне повітря в результаті роботи теплових електростанцій, металургійних та хімічних підприємств, використання автотранспорту та ін. Через зменшення концентрації озону у стратосфері відбувається виснаження озонового шару, проникнення на поверхню Землі ультрафіолетового випромінювання, шкідливого для живих організмів. Основною причиною руйнування озонового шару є викиди летких органічних сполук від автомобільних вихлопів, побічних продуктів промислових процесів, використання холодоагентів та аерозолів, при застосуванні органорозчинних лакофарбових матеріалів. Молекули озону в верхніх шарах стратосфери розкладаються, реагуючи з компонентами, які містяться у шкідливих викидах. Збільшення в атмосфері газів та сполук, які не пропускають сонячні промені, відбиті від земної поверхні, стало причиною посилення парникового ефекту. За даними Міжурядової комісії з кліматичних змін у складі ООН, впродовж століття температура може підвищитися на 3,5 °С. Навіть незначна зміна температури може спричинити зміни напрямків вітру та течій океану, підвищити рівень моря тощо, що змінить існуючі кліматичні умови і може призвести до непередбачуваних наслідків. До основних парникових газів належать: діоксид вуглецю, метан, оксид азоту (I), водяна пара, а також різні хлор, вуглеводні, що містять у своєму складі фтор, хлор.

В Україні завдяки активній та продуктивній роботі фахівців лакофарбової галузі з Асоціації українських виробників лакофарбової промисловості прийнято два документи [1, 2], які свідчать про відповідальне ставлення фахівців галузі до екологічних проблем України. Перший документ – це Технічний регламент, який стосується низки лакофарбових виробів, що вводяться в обіг (в тому числі пересилаються та ввозяться з-за кордону). Це, зокрема, лаки, фарби, фінішні суміші, морилки, ґрунтовки, лазурі, шпатлівки, аерозольні фарби автомобільні та інші. Наказом, яким впроваджено Технічний регламент, передбачено, що вироби, які не відповідають вимогам Технічного регламенту, можуть перебувати в обігу на ринку України впродовж 12 місяців після набуття чинності наказу. Після цього строку, використання таких виробів буде суворо заборонено. Технічний регламент встановлює граничні показники вмісту в лакофарбових виробах летких органічних сполук (ЛОС): особливо небезпечних для дітей та людей похилого віку вуглецевих речовин, які починають випаровуватися вже при кімнатній температурі та можуть стати причиною захворювань. Проект наказу про введення Технічного регламенту розроблено на виконання розпорядження Кабінету Міністрів України «Про імплементацію Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським Співтовариством з атомної енергії і

їхніми державами-членами, з іншої сторони» від 17 вересня 2014 р. № 847-р, положень Директиви 2004/42/ЄС про обмеження викидів летких органічних сполук внаслідок використання органічних розчинників у певних лакофарбових матеріалах і продуктах ремонтного фарбування транспортних засобів зі змінами до Директиви 1999/13/ЄС щодо організації підготовки планів імплементації актів законодавства ЄС. Другий документ – Технічний регламент обмеження використання свинцю у лакофарбових матеріалах і сировинних компонентах. Кабінет Міністрів України постановою від 28 квітня 2021р. № 432 затвердив Технічний регламент обмеження використання свинцю у лакофарбових матеріалах і сировинних компонентах. Граничне значення вмісту свинцю у нелеткій частині лакофарбового матеріалу, зокрема сировинних компонентів (тобто його частка від загальної ваги сухої плівки (покриття), не повинно перевищувати 90 мг/кг [3].

Таким чином, відповідно до норм Технічних регламентів 2019 та 2021 років до екологічно чистих лакофарбових матеріалів відносять три групи матеріалів.

Перша група – це матеріали з низьким вмістом летких органічних сполук для зменшення емісії шкідливих для здоров'я людей та довкілля токсичних органічних розчинників: уайт-спириту, сольвенту, ксилолу, толуолу, бутилацетату, етилцелозольву, бутанолу, ізопропилового спирту та ін. Органорозчинні лакофарбові матеріали (тип SB) – матеріали, в'язкість яких регулюється додаванням органічного розчинника. Важливим для екологічної безпеки лакофарбових матеріалів є значення вмісту легколетких органічних сполук для різних типів матеріалів. Вміст ЛОС – маса летких органічних сполук в одиниці об'єму, виражена у грамах на літр, г/л, у рецептурі матеріалу в його готовому до використання стані. Частку летких органічних сполук у певному матеріалі, що залишаються у складі покриття під час його формування внаслідок хімічної реакції, не можна вважати частиною вмісту ЛОС. Летка органічна сполука (ЛОС) – будь-яка органічна сполука, яка має початкову температуру кипіння, яка менша або дорівнює 250 °С, що вимірюється за нормального тиску 101,3 кПа [2].

Розроблено пігментований органорозчинний лакофарбовий матеріал з низьким вмістом ЛОС: смола Crestakyd 10-0504 – 11,12 %; Crestakyd 10-1019 – 44,49 %,  $\text{TiO}_2$  – 16,27 %,  $\text{CaCO}_3$  – 8,32 %, органобентоніт – 2,24 %, уайт-спирит – 16,99 %, сикатив – 0,57 %. С. з. лаку Crestakyd 10-1019 – 60 %,  $\rho_{\text{емалі}}$  – 1,12 г/см<sup>3</sup>, ЛОС – 395,61 г/л. Властивості матеріалу та покриттів на його основі відповідають вимогам до алкідних емалей широкого вжитку: умовна в'язкість при (20±0,5) °С по ВЗ – 246, с, не менше 150 с; масова частка нелетких речовин, – не менше 65 %; ступінь дисперсності не більше – 25 мкм; час висихання до

ступеня 3 за  $(20 \pm 2)$  °С, не більше – 24 год; міцність плівки за удару на приладі У – 1 не менше – 50 см; еластичність плівки за вигину не більше – 1 мм; адгезія плівки не більше 1 балу; твердість – 0,41 ум. од.; стійкість плівки до статичної дії води за  $(20 \pm 5)$  °С не менше 24 год; стійкість до розчину миючого засобу за  $(20 \pm 5)$  °С – 24 год. Розраховані рецептури та встановлено [4], що для органорозчинних лакофарбових матеріалів, які відносять до товарів народного вжитку, лише за вмісту нелетких речовин у емалі понад 80 % існує можливість одержати для емалей значення ЛОС менше 300 г/л органічних розчинників. Емаль зі вмістом нелетких речовин 75,94 % на основі алкідного лаку як плівкоутворюючої речовини, титан (IV) оксиду як пігменту, кальциту як наповнювача, характеризується значенням ЛОС = 296,76 г/л за коефіцієнту лакофарбової системи  $g = \text{ОКП/КОКП} = 0,31$ .

До другої групи належать порошкові фарби, які складаються з пігментів, наповнювачів, пластифікаторів, порошоків полімерів та отверджувачів і цільових добавок. Порошкові фарби класифікують за таким критерієм, як відношення до температури полімерної складової фарб і розрізняють термопластичні (полівінілбутиральні, полівінілхлоридні, поліетиленові, поліамідні) порошкові фарби та термореактивні (на основі епоксидних і поліестерних смол, акрилатів, поліуретану.) порошкові фарби. Розроблено рецептуру порошкової термореактивної поліестерно-епоксидної фарби. Оптимальні експлуатаційні властивості покриттів визначені за товщини покриття 80–120 мкм, за дисперсного складу: 0–1 % – більше 100 мкм, 89–100 % – 30–90 мкм, 0–10 % – менше 30 мкм. Температура формування покриття: 160 °С – 20 хв.; 180 °С – 15 хв.; 200 °С – 10 хв. Температура експлуатації покриття від –40 °С до +125 °С. Рецептура фарби: епоксидна смола – 37 %; поліестерна смола – 37 %; технічний вуглець (сажа газова) – 20,5 %; бензоїн – 0,5 %; аттапульгіт – 5 %.

Третю групу матеріалів складають водно-дисперсійні лакофарбові матеріали. Водно-дисперсійні лакофарбові матеріали (тип WB) – матеріали, в'язкість яких регулюється додаванням води та ринок яких в Україні розвивається дуже високими темпами. Зараз біля 60 % асортименту провідних підприємств по виробництву лакофарбових матеріалів – водно-дисперсійні матеріали.

Розраховані рецептури водно-дисперсійних лакофарбових матеріалів архітектурного призначення для оздоблення інтер'єрів та одержання фасадних покриттів, виготовлені водно-дисперсійні матеріали білого кольору, визначені одиничні показники якості відповідно до ДСТУ EN 13300:2012 Фарби та лаки. Водно-дисперсійні лакофарбові матеріали та системи покриттів для внутрішніх стін і стель та ТУ У 20.3-34328580-009:2021, що наведені у таблиці 1.

Як сировинні компоненти використані стирол-акрилова дисперсія Acronal S 790 BASF, пігмент – титан (IV) оксид рутильної модифікації, наповнювач – кальцій карбонат, мармур мелений AND-5, коалесцент NX- 795 Texanol, тарний консервант Biopol TI-158, піногасник Foamstar ED 2521, диспергатор Оротан N40445.

Таблиця 1. Фізико-механічні властивості розроблених водно дисперсійних матеріалів

№ з/п	Показник	Рецептура		Значення				
		1	2	3	4	5		
1	Колір плівки фарби	білий						
2	Зовнішн. вигляд	Рівна, однорідна, матова поверх.	Рівна, однорідна, півматова поверх.	Рівна, однорідна, матова поверх.	Рівна, однорідна, півматова поверх.	Рівна, однорідна, півматова поверх.		
3	Масова частка нелетких речовин, %	58–65	58–63	55–63	55–65	55–65		
4	pH матеріалу	8,0–9,5	8,0–9,5	8,0–9,5	8,0–9,5	8,0–9,5		
5	Ступінь перетирання, мкм, не більше	100						
6	Час висихан. до ст. 3, за 20 °С, год, не більше	1						
7	Морозостійкість фарби, цикли (умовних одиниць), не менше	5						
8	Стійкість плівки фарби до статичної дії води при (20±2)°С, год, не менше	12		24				
9	Укривистість, г/м <sup>2</sup>	165–170	150–155	135–140	115–120	100–110		
10	Білизна, %	63	65	70	75	80		

Аналіз фізико-механічних та хімічних властивостей одержаних воднодисперсійних лакофарбових матеріалів та покриттів дозволив сформулювати сфери застосування матеріалів за рецептурою № 1 як фарби для внутрішніх робіт, за рецептурою № 2 як фарби для інтер'єрів, за рецептурою № 3 як фарби інтер'єрів, що здатні до миття, за рецептурою № 4 як фарби для фасадних покриттів, за рецептурою № 5 як фарби силікон-акрилової для фасадних покриттів підвищеної гідрофобності. Застосовувати її можна як для декоративного оздоблення всередині приміщення, так і для фарбування об'єктів, які знаходяться на відкритому повітрі. Силікон-акрилова фарба має добру адгезію до мінеральних основ (цегли, бетону, цементу), дерев'яних і заґрунтованих металевих поверхонь. Вона створює покриття, яке здатне



служити надійним захистом конструкцій, що постійно піддаються впливу атмосферних опадів і води: водних гребель, набережних.

Відомо, що модифікація лакофарбових матеріалів наночастинками шаруватих алюмосилікатів, вуглецевих нанотрубок, детонаційних наноалмазів дозволяє покращити фізико-механічні властивості матеріалів та покриттів [5], тому для позитивного вирішення проблеми створення інноваційних лакофарбових матеріалів були проведені дослідження впливу температури та терміну тверднення покриттів з домішками детонаційних наноалмазів.

Встановлено, що за додавання до водної дисперсії полімеру детонаційних наноалмазів у кількості до 0,5 % під час дослідження температурної залежності умовної твердості покриттів у інтервалі температур від 20 °С до 180 °С для температур, більших за 85 °С, спостерігали відсутність впливу концентрації наноалмазів на умовну твердість покриттів (рис. 1).

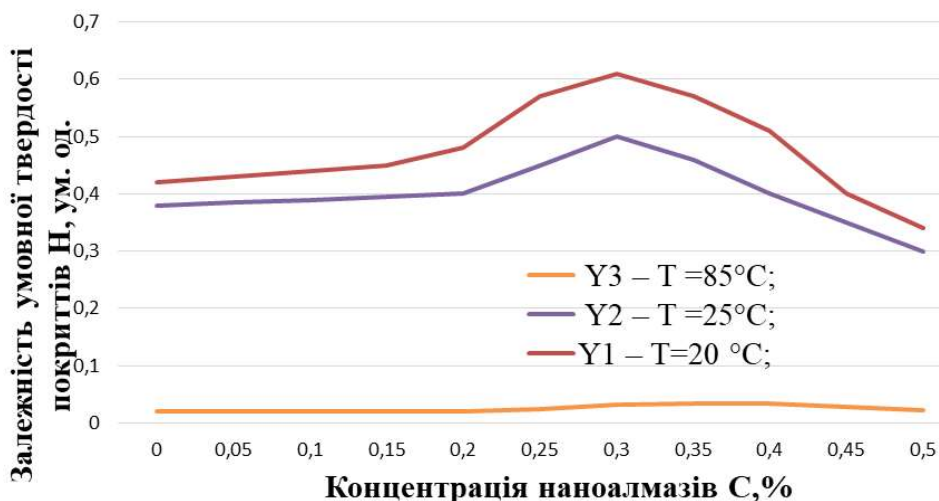


Рисунок 1. Залежність умовної твердості покриттів (H, ум. од.) від концентрації наноалмазів (C, %) за різної температури покриттів:  $t_1 = 20\text{ °C}$ ;  $t_2 = 25\text{ °C}$ ;  $t_3 = 85\text{ °C}$ ;

Одержаний результат може бути пов'язаний зі зникненням структуруючої дії поверхні наноалмазного наповнювача внаслідок руйнування сил міжмолекулярної взаємодії між структурними елементами, функціональними групами компонентів покриття за температур, вищих 85 °С. Дійсно, за температур, більших ніж температура склування полімеру, відбувається збільшення сегментальної рухливості полімерної матриці і зменшення адсорбційного зв'язування молекул олігомерів твердою поверхнею наповнювача.

Досліджено зміну відносної твердості покриттів на основі чистої стирол-акрилової дисперсії та покриттів з наночастинками детонаційних алмазів у оптимальній кількості 0,3 % протягом 1, 5, 10, 15 діб після досягнення

покриттями ступеня тверднення 3 (рис. 2). Встановлено, що після досягнення ступеня тверднення 3 в покриттях продовжуються процеси формування структури покриттів і умовна твердість покриттів з наночастинками у кількості 0,3 % приводить до збільшення значень умовної твердості від 0,61 до 0,71 ум. од., а за відсутності наноалмазів у покритті від 0,38 до 0,42 ум. од.

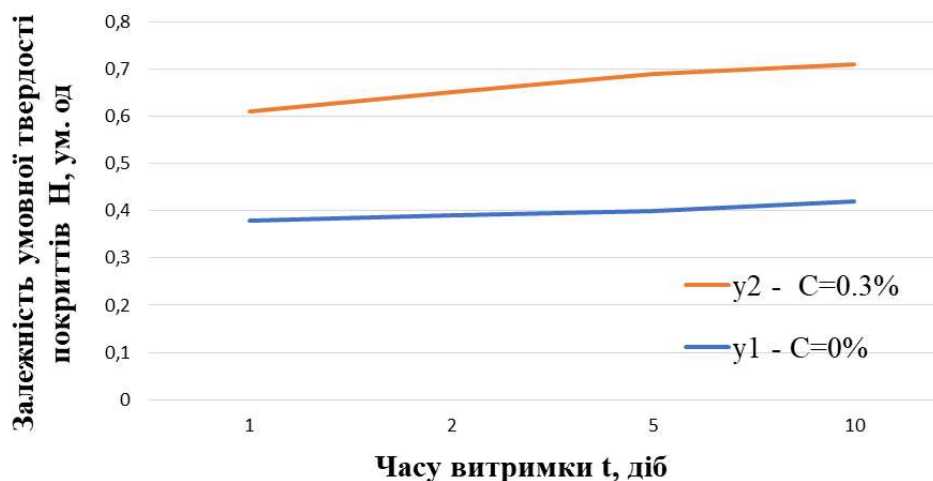


Рисунок 2. Залежність умовної твердості покриттів ( $H$ , ум. од.) від часу витримки ( $t$ , діб) для зразків з різним вмістом наноалмазів:  $C_1=0\%$ ,  $C_2=0,3\%$

Виявлене більш суттєве зростання відносної твердості покриттів з наноалмазами порівняно з покриттями на основі вихідної стирол-акрилової дисперсії свідчить про можливість структурування макромолекул полімерної матриці під дією розвиненої поверхні наноалмазного наповнювача, збільшення температури склування полімерної матриці і, як наслідок, підвищення твердості покриттів.

За результатами досліджень розроблені перспективні екологічно чисті лакофарбові матеріали різних типів:

- органорозчинний пігментований лакофарбовий матеріал з низьким вмістом легколетких органічних сполук на основі алкідних смол, титан (IV) оксиду, кальцій карбонату, органомодифікованого бентоніту, сикативу, найменш токсичного з органічних розчинників уайт-спириту з ГДК = 300 г/м<sup>3</sup>. Органорозчинна емаль характеризується високою седиментаційною стійкістю завдяки використанню у рецептурі тиксотропної добавки у вигляді органомодифікованого бентоніта. Одиничні показники якості емалі білого кольору та покриттів на її основі відповідають вимогам до алкідних матеріалів та покриттів еліт-класу;

- порошкова термореактивна епоксидно-поліестерна фарба з оптимальним гранулометричним складом, температурними інтервалами формування покриттів та гарними найважливішими властивостями порошкових

фарб (дисперсійним складом, сипкістю, здатністю до злежування, гігроскопічністю, насипною щільністю; здатністю до псевдозрідження та розпилення, електризованістю);

– водно-дисперсійні фарби архітектурно-будівельного призначення, які характеризуються різним рівнем наповнення, різними значеннями об'ємної концентрації пігментів, різною білизною покриттів та різною укривістістю сформульовані сфери застосування матеріалів та розроблена технологія їх виготовлення;

– проведені дослідження впливу концентрації нанодобавок на основі детонаційних наноалмазів на температурну залежність твердості покриттів та встановлено відсутність впливу концентрації детонаційних наноалмазів на твердість покриттів за температур покриттів вищих, ніж 85 °С.

### Список використаних джерел

1. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року». 2019, <https://ips.ligazakon.net/document/T192697>

2. Технічний регламент щодо обмеження викидів летких органічних сполук унаслідок використання органічних розчинників у лакофарбових матеріалах для будівель та ремонту колісних транспортних засобів, 2019, <http://surl.li/mqxaj>

3. Технічний регламент обмеження використання свинцю у лакофарбових матеріалах і сировинних компонентах, 2021, <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/432-2021-%D0%BF#Text>

4. Гуріна Г.І., Дружинін Е.І., Скрипинець А.В., Саєнко Н.В. Нові лакофарбові матеріали з низьким вмістом вос для зниження емісії токсичних розчинників. *Problems of Emergency Situations: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*. Харків : Національний університет цивільного захисту України, 2023. С. 319–320.

5. Gurina G., Kozub P., Kozub S., Saienko N., Skripinets A. Detonation Nanodiamonds as Part of Smart Composite Paintwork Materials *Smart Technologies in Urban Engineering STUE 2022: Smart Technologies in Urban Engineering* P. 393–402. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-20141-7\\_36](https://doi.org/10.1007/978-3-031-20141-7_36)

УДК 667.6

## СПРЯМОВАНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ГОРЮЧОСТІ ЛАКОФАРБОВИХ ПОКРИТТІВ

**Сасенко Наталія Вячеславівна,**

кандидат технічних наук, доцент, доцент;

**Коломієць Катерина Сергіївна,**

здобувачі вищої освіти факультету Пожежної безпеки;

**Роменська Юлія Вадимівна,**

здобувачі вищої освіти факультету Пожежної безпеки

**Національний університет цивільного захисту України**

*saienko@nuczu.edu.ua*

При вирішенні проблеми вогнезахисту будівельних виробів одночасно необхідно вирішити дві проблеми: захист виробів від вогню та агресивних факторів середовища в процесі експлуатації та підвищення ефективності самого вогнезахисного складу. Основні принципи побудови рецептур вогнезахисних фарб аналогічні рецептурам лакофарбових матеріалів: плівкоутворювач, наповнювачі, пігменти (якщо необхідно), реологічні добавки, сикативи (або отверджувачі). Головна відмінність – наявність антипірену, що відповідає за процес утворення пінококсу.

У цій роботі представлені результати оцінки вогнезахисних властивостей лакофарбових покриттів на основі водно-дисперсійного акрилового сополімеру марки Акронал 290 D, наповненого поліфосфатом амонію (ПФА) у кількості 10–30 мас. % та порожнистими зольними алюмосилікатними мікросферами (МС) в кількості 20–40 мас. %. За допомогою рівнянь регресії побудовані поверхні відгуку (рис. 1), що дозволяють знайти значення функції при зміні вмісту наповнювачів і спрогнозувати вогнезахисні властивості лакофарбових покриттів, які можуть нести функцію пасивного вогнезахисту будівельних виробів і конструкцій [1, 2].

Оцінку горючості отриманих покриттів визначали на установці типу «вогнева труба», такий метод широко використовується в дослідницьких цілях. Вогнезахисна ефективність при сертифікаційних випробуваннях оцінюється за методом «керамічної труби». Такий метод дозволяє визначити групу вогнезахисної ефективності: для I групи втрата маси після спалювання повинна складати не більше 9 %, для II – від 9 до 25 %, якщо втрата маси зразка більше 25 %, то покриття вважається горючим [3]. Для порівняльної оцінки горючості розроблених покриттів в певних контрольованих умовах визначали кисневий індекс (KI) відповідно до ДСТУ EN ISO 4589-2:2015, який дозволяє встановити

мінімальний вміст кисню в киснево-азотній суміші, за якого можливе свічкоподібне горіння матеріалу.

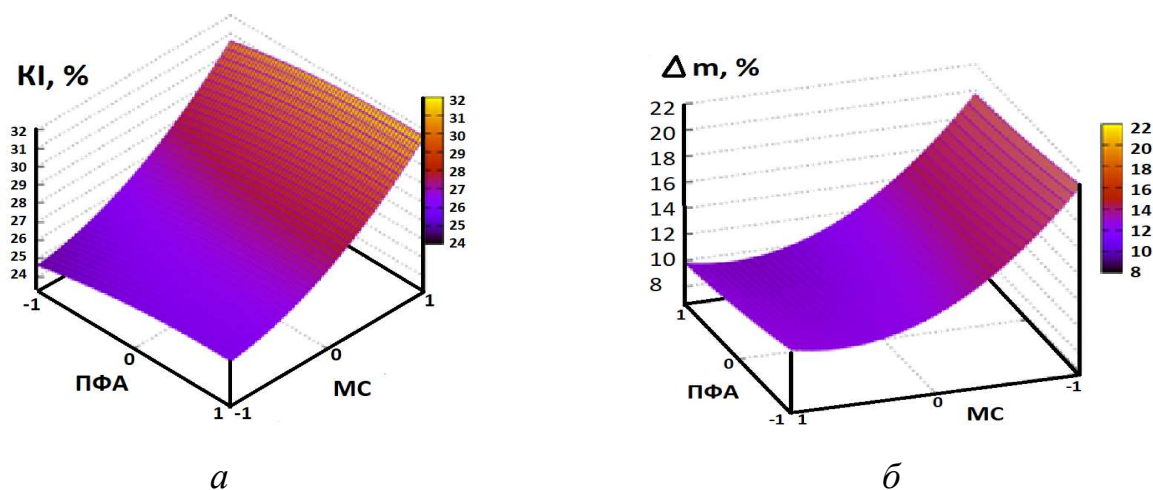


Рисунок 1 – Поверхні відгуку залежності кисневого індексу (KI) (а) і втрати маси ( $\Delta m$ ) (а) від вмісту наповнювачів

Проведеними дослідженнями по регулюванню горючості лакофарбових покриттів встановлено, що при раціональному поєднанні антипірену (ПФА) та порожнистих алюмосилікатних мікросфер, розробленні покриття відносяться до важкогорючих матеріалів за рахунок збільшення частки негорючих мінеральних наповнювачів.

Таким чином, проведені дослідження дозволили встановити закономірності впливу концентрації мінеральних наповнювачів на горючість та вогнезахисні характеристики лакофарбових покриттів. Отримані залежності дозволяють вибрати раціональне поєднання наповнювачів лакофарбових покриттів, яке буде відповідати вимогам пасивного вогнезахисту будівельних виробів та конструкцій.

### Список використаних джерел

1. Вінарський М.С., Лур'є М.В. Планування експерименту у технологічних дослідженнях. Київ : Техніка, 1975. 168 с.
2. Демідов Д.В. Вивчення впливу мінеральних наповнювачів на вогнезахисні характеристики водно-дисперсійних лакофарбових покриттів. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2018. № 182. С. 37–44.
3. Березовський А.І, Маладика І.Г., Саєнко Н.В. Визначення міцносних характеристик теплоізолюючого спученого шару вогневібростійких покриттів для протипожежного захисту металевих виробів. IV міжнародна науково-практична конференція «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій». 2012. С. 172–177.

УДК 614.84

## ВИКОРИСТАННЯ НАТУРАЛЬНИХ ВОЛОКОН ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЗВУКОПОГЛИНАЮЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

**Коврига Аліна Валер'янівна,**

здобувачка вищої освіти за спеціальністю «Хімічні технології та інженерії»;

**Скрипинець Анна Василівна,**

кандидат технічних наук, старша викладачка

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[Anna.Skrypynets@kname.edu.ua](mailto:Anna.Skrypynets@kname.edu.ua)

Зростання рівня урбанізації та розвитку транспорту в великих містах призводить до збільшення шумового забруднення. На даний час населення в цілому усвідомило, що шум не тільки значно погіршує ефективність та рівень роботи, але також може викликати ряд проблем зі здоров'ям. Тому контроль та усунення стороннього шуму в житлових і комерційних приміщеннях є завжди актуальною задачею.

Одним зі способів мінімізувати ефект шумового забруднення є використання волокнистих звукопоглинаючих матеріалів. Волокнистий матеріал грає життєво важливу роль у будівництві як подвійний ізолятор (звуковий та тепловий). Деякі традиційні волокнисті ізолятори, такі як скловата, широко застосовуються для зниження рівня шуму через її велику питому площу поверхні та високі акустичні характеристики. Але не можна ігнорувати той факт, що деякі потенційні проблеми зі здоров'ям людини виникають через подразнення шкіри та відкладення в альвеолах легень, яке спричинене вдиханням цих волокон та частинок. Використання синтетичних матеріалів (полістирол і поліуретан) призводить до негативного впливу на навколишнє середовище через високотемпературні виробничі процеси та використання нафти як джерела сировини, що в результаті призводить до значних викидів вуглецевих сполук. Отже, має сенс шукати екологічно чисті та нешкідливі матеріали для заміни звичайних звукопоглиначів. Більшість натуральних волокон є потенційно ідеальною альтернативою звичайним звукопоглиначам через їх низьку токсичність і нешкідливість для людини.

Раніше на основі хімічного аналізу та вивчення поверхневих властивостей рослинних наповнювачів та вторинних поліолефінів були встановлені закономірності технологічних процесів створення полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) на їхній основі. Також було розроблено

целюлозовмісний композиційний матеріал для будівельної сфери на основі вторинного поліпропілену та технологічних відходів агропромислового сектора, зокрема, гречаного лушпиння [1].

У даній роботі ми проводимо дослідження, спрямовані на оцінку доцільності використання натуральних волокон при створенні полімерних матеріалів на основі промислових відходів та вторинної сировини. Ці дослідження спрямовані на вирішення проблем, пов'язаних з експлуатацією будівельних конструкцій, виробів та споруд, що стосуються вимог щодо промислової, техногенної та екологічної безпеки.

Об'єктами наших досліджень є натуральні волокна, які у великій кількості присутні на території України (такі як конопляна костриця, рисове та кукурудзяне лушпиння, вовняна шерсть та інші), а також в країнах, які мають багатий досвід використання цих матеріалів (Бразилія, Індія, Малайзія, Філіппіни та Китай), де використовуються цукрова тростина, кокосове волокно, волокно кенафу, волокна сизалю, бамбук та клітковина листя ананасу.

Для створення композитів використані вторинні термопластичні полімерні матеріали, загальна товщина яких коливається від 10 до 30 мм.

Для визначення звукопоглинаючої ефективності матеріалів у діапазоні частот від 63 до 6300 Гц був використаний метод імпедансної труби.

На рисунку 1 представлена залежність коефіцієнта звукопоглинання від частоти для деяких натуральних волокон порівняно зі традиційним матеріалом – скловолном.

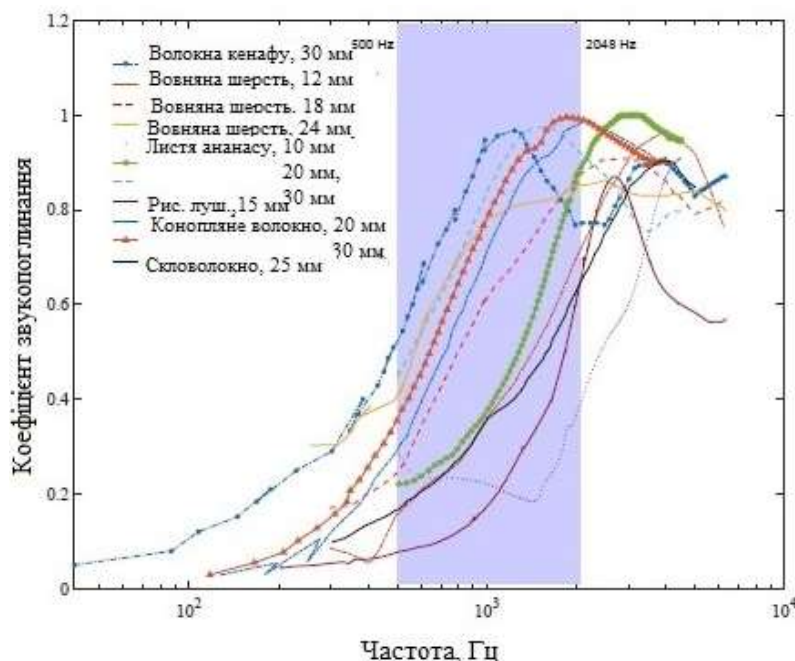


Рисунок 1. Залежність коефіцієнта звукопоглинання від частоти для деяких натуральних волокон порівняно зі традиційним матеріалом (скловолном)

Згідно з відомостями [3], найбільш чутливий частотний діапазон для слухової системи людини розташовується в межах від 500 до 4000 Гц. Водночас, найважливіші частоти для сприйняття і розуміння мовлення, зазвичай, лежать в інтервалі між 500 і 2048 Гц. Деякі матеріали мали піковий коефіцієнт поглинання дуже близький до одиниці, але ці піки не завжди випадали в діапазоні 500–2048 Гц, як у випадку з кокосовим волокном [4, 5] та грубою шерстю [6]. У той же час, волокно кенафу, цукрова тростина (з довжиною волокон 30 мм), конопляне волокно (30 мм) та лист ананаса (30 мм) показали високі показники звукопоглинання (від 0,5 до 1) в діапазоні частот 500–2048 Гц [7–9].

На основі проведеного аналізу було виявлено, що натуральні матеріали, такі як волокна кенафу (30 мм), цукрова тростина (30 мм), конопляне волокно (30 мм) та лист ананасу (30 мм), мають найвищі показники коефіцієнта звукопоглинання (від 0,5 до 1) в чутливому діапазоні частот слухової системи людини (500–2048 Гц).

Крім того, виявлено, що рисове та кукурудзяне лушпиння, а також груба шерсть мають досить високі показники коефіцієнта звукопоглинання (до 0,8), але в діапазонах більш високих частот (2000–4000 Гц). Тому варто розглядати можливість досліджень з використанням цих матеріалів та підбору полімерного зв'язуючого для досягнення максимальних значень звукопоглинаючої здатності в області низьких частот.

Проте, слід також врахувати недоліки, що властиві натуральним волокнам, такі як низька вологостійкість, обмежена протигрибкова стійкість, вогнестійкість та недостатня адгезія волокна до полімерної матриці. Ці обмеження можуть бути подолані за допомогою належної обробки волокон.

Загалом, використання натуральних волокон у створенні звукопоглинаючих полімерних матеріалів має великий потенціал для досягнення екологічної безпеки та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Ця технологія може сприяти поліпшенню якості оточуючого середовища, зниженню рівня шуму та використанню більш сталого та екологічно безпечного матеріалу. Подальший розвиток цієї галузі та проведення подальших досліджень можуть привести до створення нових інноваційних матеріалів, які будуть відповідати вимогам екологічної безпеки та сприяти сталому розвитку.

### **Список використаних джерел**

1. Карєв А.І., Скрипинець А.В., Барабаш О.С. Модернізація технології отримання рослинно-полімерних композитів / Моделювання та оптимізація



будівельних композитів : мат-ли міжнарод. сем. Одеса: ОДАБА, 3–4 грудня 2020. – С. 72–75.

2. Saienko N.V., Bikov R.O., Demidov D.V., Skripinets A.V., Obizhenko T. M. Study of the effect of silicate fillers on the structural and rheological properties of acrylic dispersions // *Voprosykhimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2023, No. 2. P. 137–144. <http://dx.doi.org/10.32434/0321-4095-2023-147-2-137-144>

3. Skripinets A., Saienko N., Blazhko V., Saienko L. Efficiency evaluation: epoxyurethane damping inserts in vibration protection systems. *Municipal Economy of Cities*, Vol. 4, No. 178. P. 17–26. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-17-26>

4. Gokulkumar S., Thyla P.R., Prabhu L., Sathish S. Measuring methods of acoustic properties and influence of physical parameters on natural fibers: a review. *J. Nat. Fibers*. 2020. Vol. 17. P. 1719–1738. <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1598913>

5. Mueller D.H., Krobjilowski A. New discovery in the properties of composites reinforced with natural fibers. *J Ind Text*. 2003. Vol. 33. P. 111–130. <https://doi.org/10.1177/152808303039248>

6. Prabhu L., Krishnaraj V., Gokulkumar S., Sathish S., Sanjay M., Siengchin S. Mechanical, chemical and sound absorption properties of glass/kenaf/waste tea leaf fiber-reinforced hybrid epoxy composites. *J. Ind. Text*. 2022. Vol. 51. P. 1674–1700. <https://doi.org/10.1177/1528083720957392>

7. Jayamani E., Hamdan S., Ezhumalai P., Bakri M.K. Investigation on dielectric and sound absorption properties of banana fibers reinforced epoxy composites. *J. Teknol*. 2016. Vol. 78, No. 6–10. P. 97–103. <https://doi.org/10.11113/jt.v78.9195>

8. Peng L, Song B, Wang J, Wang J., Wang D. Mechanic and acoustic properties of the sound-absorbing material made from natural fiber and polyester. *Adv Mater Sci Eng*. 2015. Vol. 2015. P. 1–5. <https://doi.org/10.1155/2015/274913>

9. Dhandapani N, Megalingam A. Mechanical and sound absorption behavior of sisal and palm fiber reinforced hybrid composites. *J Nat Fibers* 2021: 1–14.natural-fiber (accessed 25 June 2022).

## **СЕКЦІЯ 5**

### ***МОНІТОРИНГ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА***

УДК 579.695

**ВПЛИВ ОРГАНІЗМІВ ТА ПОПУЛЯЦІЙ ОДНОГО ВИДУ НА ІНШІ****Бабіч Олена Вікторівна,**

кандидат технічних наук, п. н. с. лабораторії міських та виробничих стічних вод;

**Зінченко Ірина Василівна,**

завідувачка лабораторії міських та виробничих стічних вод

Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»

[lenysjababich@gmail.com](mailto:lenysjababich@gmail.com)

Чутливість біорізноманіття прісноводних ресурсів є більшою, ніж будь-яких інших наземних екосистем. Уразливість прісноводного середовища полягає в тому, що у водному режимі зростає непропорційна кількість угруповань рослин і тварин. Прісноводні водойми збагачені понад 10 000 видами риб, які складають приблизно 40 % світових рибних спільнот і одну чверть різноманітної популяції хребетних у глобальному масштабі. Поєднання незліченної кількості амфібій, водних рептилій і популяцій ссавців із загальною кількістю прісноводних риб чітко зображує прісноводне середовище існування як єдине улюблене біологічне місце всіх хребетних.

Багато прісноводних екосистем також є сприятливим біологічним місцем для унікальних видів, тому що прісноводні місця існування є ізольованим середовищем у природному ландшафті. Такого роду екологічні явища сприяють еволюції нових видів у різних ресурсах прісної води [1].

Одними з провідних чинників трансформацій природних екосистем визнані біологічні інвазії видів, які були прямо чи опосередковано викликані гідробудівництвом на великих ріках, створенням високопродуктивних агроценозів, торгівлею сільськогосподарською продукцією, туризмом, регіональними війнами, аквакультурою, спортивним полюванням і рибальством. Експансія чужорідних видів риб в басейни найбільших рік Східної Європи набула масового вибухового характеру. За останні 60 років кількість видів в усіх східноєвропейських ріках зросла в 1,5 рази [2]. На сьогодні в басейнах великих рік Європи нараховується 58 інвазійних видів риб. Відзначається збільшення темпів розповсюдження чужорідних видів риб в прісноводних екосистемах за останні 10–15 років [3]. Доведено, що характер темпів і синхронності інвазій чужорідних видів риб, їх активна натуралізація в крупних прісноводних басейнах є прямим наслідком процесу глобального потепління [2].

На сучасному етапі проблема чужорідних видів для Європи має виключне екологічне та соціально-економічне значення. Кількість глобальних

екологічних катаклізмів, які викликані інвазіями різних видів тварин і рослин, постійно зростає. На сьогодні чужорідні види флори та фауни потрапляють до поверхневих водних об'єктів України з Середземного моря до Чорного моря, а потім до найбільших рік України. Найбільш ураженні до поширення чужорідних видів транскордонні гідроекосистеми, як наприклад р. Дніпро, третя за протяжністю ріка у Європі.

На жаль, в Україні проблему чужорідних (ненативних) видів на державному рівні досі не сприймають належним чином. На сьогодні відсутня Національна Стратегія України щодо розповсюдження інвазійних чужорідних видів, яка тільки розробляється структурними підрозділами Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України.

На національному рівні розробка комплексу заходів щодо запобігання неконтрольованого розповсюдження чужорідних видів, попередження несанкціонованої інтродукції, ліквідація наслідків інвазій повинна стати пріоритетним напрямком діяльності по забезпеченню екологічної безпеки України. Найважливішими завданнями стосовно вирішення проблеми чужорідних видів на сучасному етапі стають: моніторинг і розробка ефективних методів стримування темпів розселення видів та/або боротьби з натуралізованими небажаними інвайдерами.

### **Список використаних джерел**

1. Irfan S., Alatawi A. Aquatic Ecosystem and Biodiversity: A Review. Open Journal of Ecology, 2019. Vol. 9. P.1–13. <https://doi.org/10.4236/oje.2019.91001>
2. Slynko Yu.V., Dgebuadze Yu.Yu., Novitskiy R.A., Khristov O.A. Invasions of alien fishes in the basins of the Largest Rivers of the Ponto-Caspian Basin: composition, vectors, invasion routes, and rates. Journal of Biological Invasions, 2011. Vol. 2, №. 1. P. 49–59. <https://doi.org/10.1134/S2075111711010085>
3. Slynko Yu.V., Korneva I.G., Rivier I.K., Papchenkov V.G., Scherbina G.H., Orlova M.I., Therriault T.W. The Caspian-Volga-Baltic invasion corridor. In book: Invasive aquatic species of Europe – distribution, impact and management. Kluwer academic publishers, Dordrecht hardbound, the Netherlands, 2002. 600 p.

УДК 666.641

## КЕРАМІЧНІ МІНЕРАЛІЗАТОРИ ДЛЯ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ПОБУТОВОЇ ПИТНОЇ ВОДИ

**Бардакова Ксенія Володимирівна,**

учениця 9-А класу,

**Масальський Юрій Вікторович,**

учитель хімії,

Комунальний заклад «Харківський ліцей №2 Харківської міської ради»,

**Фесенко Олексій Ігорович,**

кандидат технічних наук, старший викладач кафедри хімії та інтегрованих технологій

**Зайцева Інна Сергіївна,**

кандидат хімічних наук, доцентка, доцентка кафедри хімії та інтегрованих технологій

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[Oleksii.Fesenko@kname.edu.ua](mailto:Oleksii.Fesenko@kname.edu.ua)

Не зважаючи на те, що понад 70 % площі планети вкриті водою, лише незначна її частина придатна до використання, як для вирішення побутових завдань, так і для промислового використання [1]. Використання солоної чи забрудненої води до промислових апаратів може призвести до їх скорішого руйнування, а її використання у сільсько-господарському секторі – до втрати культур. У більшості промислово розвинутих країн світу найбільшими споживачами прісної води є промисловість, сільське та домогосподарства. Саме остання група виставляє найвищі вимоги щодо якості прісної води. Адже вона має критичне значення для забезпечення нормальної життєдіяльності нашого організму. Це підтверджується тим, що кожна достатньо розвинута держава висуває свої, достатньо жорсткі вимоги до якості питної води.

Питна та побутова вода, що використовується для задоволення потреб населення повинна бути якісною, тобто вона повинна відповідати встановленим державою та міжнародною спільнотою вимогам. У загальному випадку вона не повинна містити хімічних чи механічних забруднюючих речовин, радіонуклідів, шкідливих бактерій чи вірусів та повинна мати відповідні органолептичні властивості. В Україні вимоги до якості питної побутової води регулюються рядом документів (державні санітарні правила та норми): «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [2], «Влаштування та утримання колодязів і каптажів джерел, що використовуються для централізованого господарсько-питного водопостачання» [3], «Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання» [4] та ін.

Сама по собі вода, за дотримання добових норм її споживання, не може принести шкоди організму. Проте більша частина води, яка поступає до наших осель є забрудненою домішками, які не тільки змінюють її смак, а й можуть чинити негативний вплив на наше здоров'я та самопочуття. Природна вода з колодязів, свердловин, річок чи озер може містити велику кількість забрудників, зокрема: механічні домішки, нітрати та нітроти, важкі метали, надлишкові солі, органічні сполуки, бактерії та віруси, тощо. Вода ж із систем водопостачання міст відзначається високим вмістом хлору, заліза та інших важких металів, що обумовлено значним зносом систем водопостачання. Окрім цього, постійні обстріли та агресія країни-сусіда призводить до руйнації очисних споруд, сталих водних екосистем та значного забруднення водних ресурсів України. У світі існують ряд регіонів, у яких відсутні достатні об'єми прісної питної води та централізоване водопостачання придатної до щоденного вживання води.

Ефективним рішенням цієї проблеми стало встановлення побутових фільтраційних систем. Серед їх значного різноманіття найбільшого поширення набули системи зворотного осмосу, здатні ефективно очищати воду від важких металів, розчинних солей вірусів та мікроорганізмів. Проте, через високу ефективність роботи вода після очистки має вкрай низький солевміст 15–20 мг/л та згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10 [2] потребує домінералізації (збільшення вмісту солей до 200 мг/л). Усі мінералізатори призначені для систем зворотного осмосу за матеріалами, які у них використовуються, можна розділити на 2 групи: сольові – формована (брикетована, пресована тощо) суміш розчинних солей та мінеральні – суміш природних мінералів. Незважаючи на їх широке практичне використання у побутових системах очистки води кожен із цих видів має суттєві недоліки: сольові мінералізатори – мають короткий термін використання та нерівномірну швидкість розчинення, що впливає на солевміст, а мінеральні – важко контрольований рівень вивільнення іонів, через змінний склад.

Саме тому актуальним завданням є розробка керамічних мінералізаторів пролонгованої дії на основі вітчизняної невартисної природної сировини.

Метою роботи є визначення факторів, що впливають на процес мінералізації води керамічними мінералізаторами.

Для проведення досліджень було обрано матеріал розроблений групою вчених кафедри хімії та інтегрованих технологій ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. За результатами попередніх досліджень авторів [5, 6] було встановлено оптимальний склад керамічних матеріалів та температурно-часові параметри їх синтезу.

Для перших дослідних мас авторами було використано наступні сировинні компоненти: глина Артемівська (60–65 мас. %), польвошпатована

сировина ПШС-16 (10–15 мас. %), крейда (10–15 мас. %), 7-водний сульфат магнію (2–5 мас. %) та фторид кальцію (2–5 мас. %). Проте, через ведення активних бойових дій на сході та півдні України, частина родовищ природної сировини є недоступною, тому було проведено літературний пошук та змінено шихтовий склад матеріалів. Методом екструзії сформовано циліндричні мінералізатори довжиною близько 10 мм та діаметром 4 мм (рис. 1). Зразки висушували та випалювали за раніше встановленими режимами [5, 6].

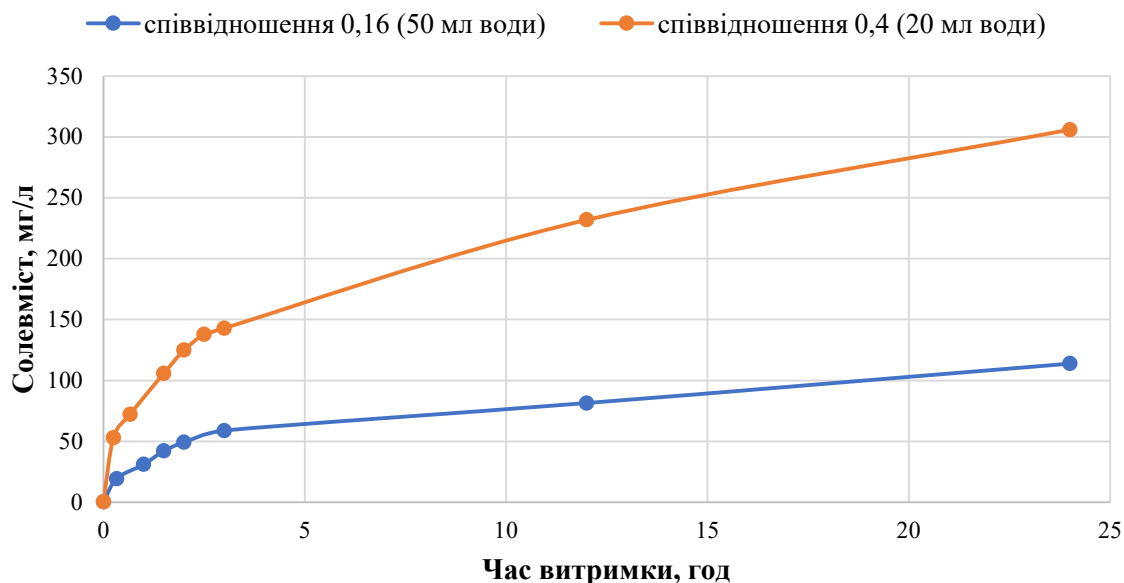


Рисунок 1. Залежність зміну солемісту у розчинах після витримки з мінералізатором

Зроблено припущення, що одним із визначальних факторів, що має значний вплив на рівень мінералізації води, є співвідношення площі контакту до об'єму рідини. Із метою його підтвердження чи спростування було проведено визначення зміни солемісту у воді при його витримці у контакті із мінералізаторами при різному співвідношенні.

Для дослідних розчинів вимірювали солеміст (рис. 1), рН та електропровідність (рис. 2.) після 1–24 годин витримки. Перед проведенням дослідів дослідні зразки промивали у дистильованій воді впродовж 5 хвилин з використанням магнітної мішалки моделювання умов першого пуску системи та усунення із зовнішньої поверхні зразків вільних (крихких) часток та солей.

Перед проведенням вимірювання показників розчинів розчин пропускали через фільтрувальний папір, а після – повертали до склянки. Збереження дослідного розчину, а не його заміна на чисту дистильовану воду була обрана з метою визначення граничної рівноважної концентрації солі, яка не повинна перевищувати допустиме значення 500 мг/л [2].

Для обох дослідних проб у перші дві години витримки спостерігається інтенсивне збільшення солемісту, яке із наближенням розчину до рівноважного стану сповільнюється. Ці дані корелюють із попередніми даними авторів матеріалу [5, 6].

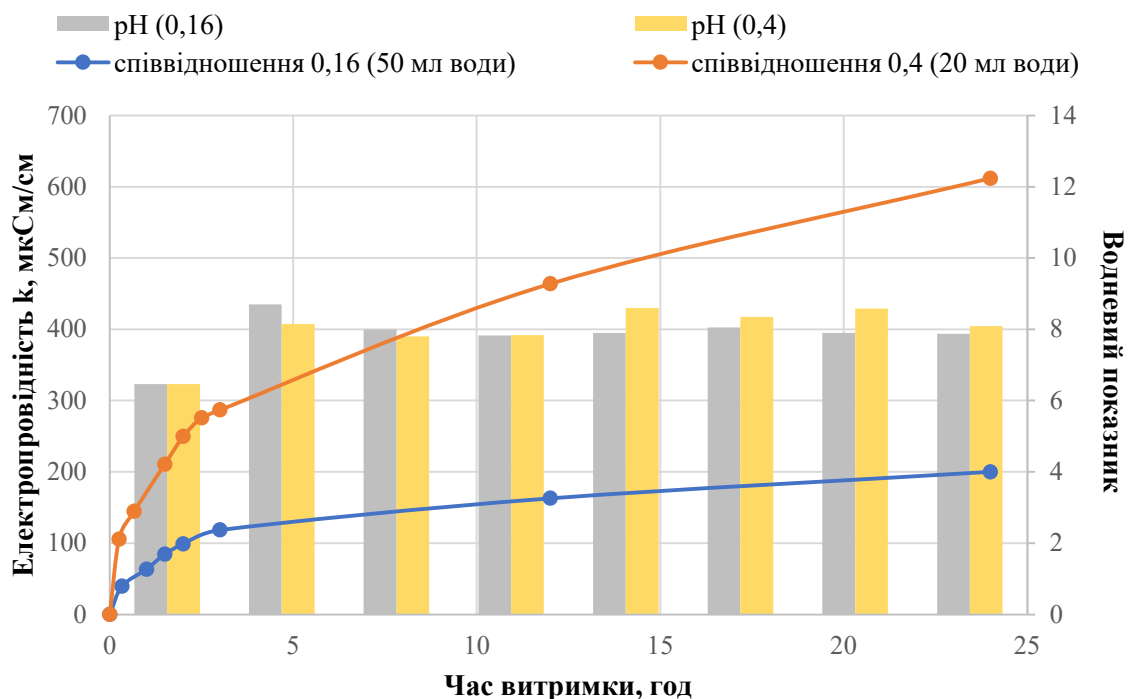


Рисунок 2 Залежність електропровідності розчинів та значень їх рН від часу витримки з мінералізатором

Незважаючи на подібність зміни характеру солемісту між двома залежностями є суттєва відмінність: при збільшенні вказаного співвідношення до 0,4 см<sup>2</sup>/мл спостерігається більш інтенсивне зростання солемісту, яке досягає мінімального для використання у якості питної повсякденної води значення 200 мг/л вже після 7х годин витримки, тоді як розчин із співвідношенням 0,16 см<sup>2</sup>/мл не досягає його і через 24 години витримки.

Аналогічну форму має залежність електропровідності води від часу експозиції (рис. 2), що підтверджує правильність одержаних результатів.

Аналізуючи зміну рН одержаних розчинів можна визначити, що вказане співвідношення не чинить суттєвого впливу на значення рН розчинів (рис. 2). Впродовж перших 30 хвилин витримки спостерігається інтенсивне зростання рН від 6,46 (дистильована вода) до 8,15–8,70 через інтенсивний процес виходу іонів. Вже через годину витримки значення рН стабілізуються і зберігаються на рівні близько 8 одиниць. Окремим дослідженням було визначено рН розчинів через 72–96 години витримки, який складає 7,72–7,87. Незначне зменшення значень рН відбувається за рахунок контакту води з вуглекислим газом з повітря.



Одержані результати досліджень (рис. 1, рис. 2) дозволили підтвердити запропоновану теорію про суттєвий вплив співвідношення площі поверхні мінералізатора до об'єму води, що є одним із факторів ефективності процесу мінералізації питної води після очистки у системі зворотного осмосу.

На основі одержаних результатів можна припустити, що при промисловому одержанні мінералізаторів на основі розроблених керамічних матеріалів, вказане співвідношення повинно максимально наближатися до одиниці. Це може бути досягнуто за рахунок більшої щільної упаковки часток мінералізатора у катриджі. Одержані матеріали є перспективними у розробці керамічних мінералізаторів для систем зворотного осмосу та рекомендовані до подальших досліджень.

### Список використаних джерел

1. World Water Week. Seeing the Unseen: The Value of Water. URL: <https://www.worldwaterweek.org/> (дата звернення: 05.09.2023)

2. Наказ Міністерства охорони здоров'я України №400 від 12.05.2010 Про затвердження державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (дата звернення: 09.09.2023)

3. Закон України про питну воду та питне водопостачання від 16.10.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14#Text> (дата звернення: 09.09.2023)

4. Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 383 від 23.12.1996 про затвердження державних санітарних правил і норм «Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0136-97#Text> (дата звернення: 10.09.2023)

5. Воронов Г.К., Єфімова А.В., Зайцева І.С., Пилипенко О.І., Фесенко О.І., Шаповал В.М. Мінералізація води керамічним мінералізатором. Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 100-річчю ХНУМГ ім. О.М. Бекетова «Актуальні питання хімії та інтегрованих технологій», 7 червня 2022 р., м. Харків. с. 28–29.

6. Воронов Г.К., Єфімова А.В., Фесенко О.І., Зайцева І.С., Саввова О.В. Композиційні керамічні матеріали для виготовлення мінералізаторів питної води. Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 100-річчю ХНУМГ ім. О.М. Бекетова «Актуальні питання хімії та інтегрованих технологій», 7 червня 2022 р., м. Харків. с. 70–71.

УДК 541.1

## ВИЛУЧЕННЯ КАТІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ З РОЗЧИНІВ МЕТОДОМ ЙОННОГО ОБМІНУ

**Зайцева Інна Сергіївна**

кандидат хімічних наук, доцентка, доцентка

**Булавина Дар'я Андріївна**

студентка

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[Inna.Zayceva@kname.edu.ua](mailto:Inna.Zayceva@kname.edu.ua)

Катіони важких металів є найпоширенішими забрудниками стічних вод. Вони не здатні до біодеградації, на відміну від більшості органічних забрудників. Катіони важких металів потрапляють у водойми як з природних, так й з техногенних джерел. У багатьох промислових виробництвах використовують розчини з висом вмістом катіонів токсичних металів у великих масштабах. Одним з основних джерел забруднення ґрунту, водоймищ та сільськогосподарських угідь важкими металами є стічні води і шлам гальванічних виробництв. Катіони важких металів потрапляють у природні водойми, ґрунт і трофічними шляхами харчування доходять до людини. Як результат виникає низка екологічних проблем: втрачається природна здатність водойм до самоочищення; порушуються функції активного мулу на водоочисних станціях; важкі метали мають загальнотоксичну, мутагенну дію, здатні до кумуляції в живих організмах. Тому проблема очищення стічних вод від катіонів важких металів є дуже актуальною [1].

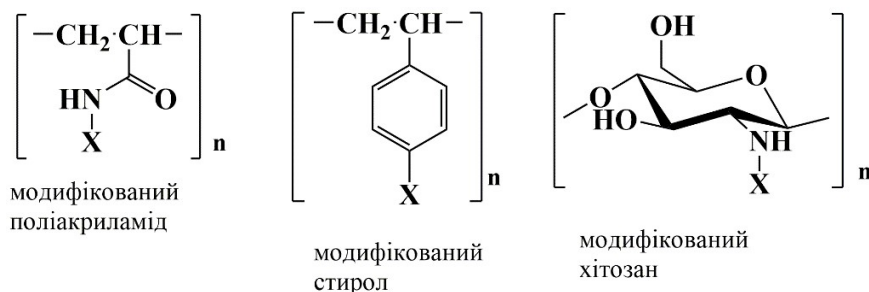
Для вилучення катіонів важких металів зі стічних вод використовують різні методи:

- реагентний метод, коли йони важких металів виділяють з водних розчинів у вигляді нерозчинних сполук;
- електрохімічні методи (процеси анодного окиснення та катодного відновлення, електрокоагуляції, електрофлокуляції, електродіалізу);
- мембранні методи (зворотний осмос, ультрафільтрація, електродіаліз);
- сорбційні методи (сорбція на активованому вугіллі, йонний обмін).

Катіони важких металів в стічних водах присутні в надзвичайно низьких концентраціях (порядку одиниць і десятків мг/л). У зв'язку з цим виникає потреба у дорогавартісному попередньому концентруванні, яке супроводжується утворенням значної кількості супутніх відходів, які також потребують утилізації.

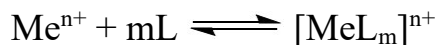
Йонообмінна технологія є самим доцільним методом очистки стічних вод від важких металів, який базується на використанні йонообмінних смол –

полімерів, що містять функціональні групи, здатні ефективно зв'язувати потрібні катіони, і не переходять в розчин. Дані матеріали складаються з полімерної основи з прищепленою на неї функціональною групою, здатною до реакції комплексоутворення з катіоном металу [2–5].

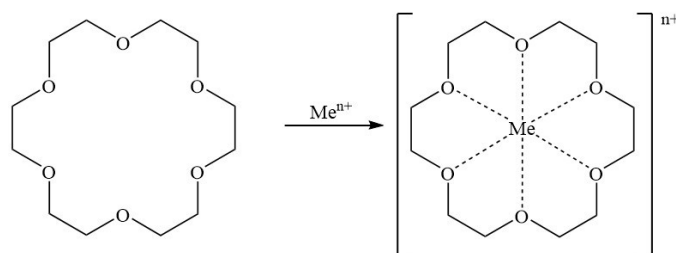


Привабливість іонообмінних сорбентів полягає в можливості створення як універсальних матеріалів, здатних зв'язувати широкий спектр катіонів важких металів, так і сорбентів, здатних до селективного вилучення конкретного катіона. При цьому однією з центральних проблем є забезпечення селективності екстракції конкретного катіона іонообмінною смолою.

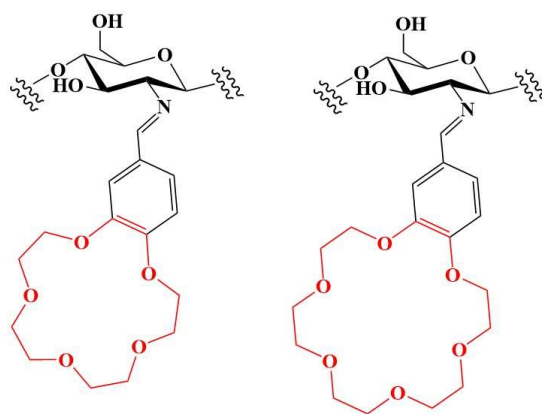
Дана робота є частиною досліджень із розробки подібних матеріалів, і присвячена теоретичному дослідженню ефективності комплексоутворення різних лігандів з катіонами важких металів.



Краун-ефіри – циклічні сполуки, здатні утворювати комплекси з йонами металів в ряді випадків з високим ступенем селективності.

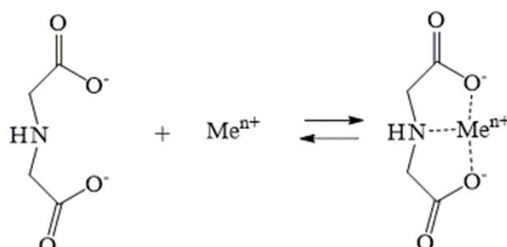


Їх використовують у органічному синтезі, аналітичній хімії (хроматографічне розділення), фотокерованих хімічних процесах, моделюванні речовин, подібних до ферментів, дослідженні трансмембранного переносу йонів (створення синтетичних іонофорів), як синтетичні рецептори в процесах молекулярного розпізнавання (розробка хемосенсорів). Прищеплення фрагментів краун-ефірів на поверхні полімеру іонообмінної смоли дає можливість ефективно очищувати стічні води від важких металів й не вносити додаткових забруднень [6].

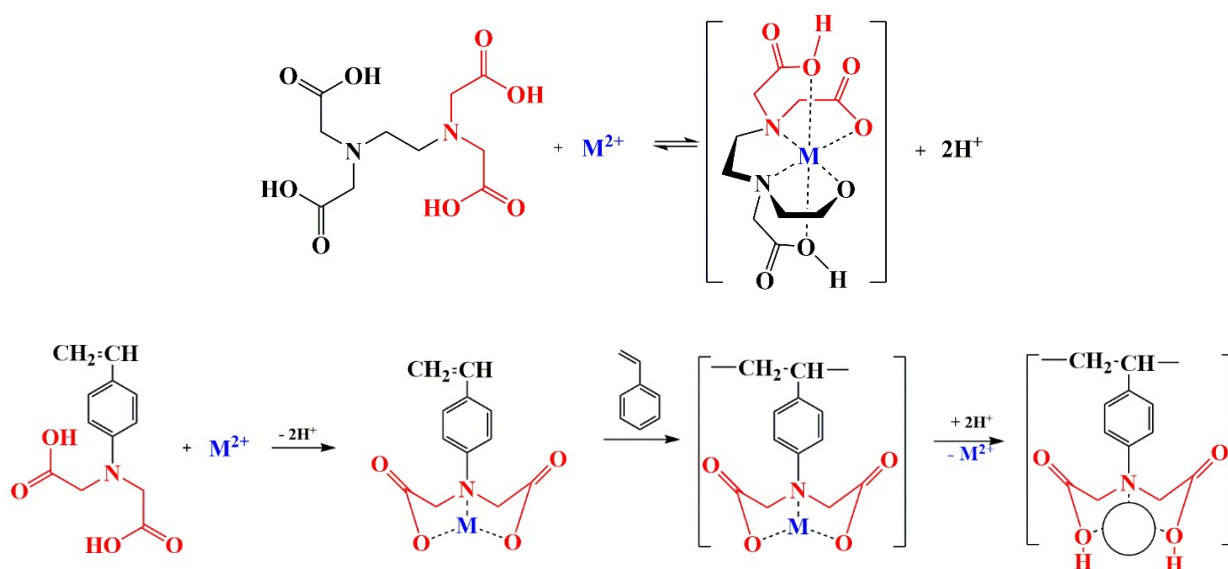


Методами квантової хімії досліджено реакцію комплексоутворення аза-18-краун-6 ефіру з катіонами одновалентних металів [7].

Іншим цікавим лігандом для теоретичного вивчення реакції комплексоутворення є імінодіоцтова кислота.



Функціональна група у вигляді фрагменту імінодіоцтової кислоти є однією з найпростіших і зустрічається у великій кількості складних молекул [8].



Було проведено теоретичну оцінку селективності комплексоутворення імінодіоцтової кислоти з металами на основі квантовохімічних розрахунків енергій відповідних комплексних сполук [9, 10]. Отримані результати довели достовірність використаної методики та показали, що краун-ефіри та

імінодіоцтова кислота є ефективними лігандами, які можна використовували у йонообмінній технології для вилучення йонів металів з технологічних середовищ та скидових вод.

### Список використаних джерел

1. Fu F, Wang Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: a review. *J Environ Manag.* 2011. Vol. 92, No. 3. P. 407–418.
2. Oshita K., Motomizu S. Development of Chelating Resins and Their Ability of Collection and Separation for Metal Ions. *Bunseki Kagaku.* 2008. Vol. 57, (5). P. 291–311.
3. George S. Nyamoto, Seth Apollo Removal of heavy metals from wastewater using synthetic chelating agents. *Physical Sciences Reviews.* 2022. <https://doi.org/10.1515/psr-2022-0139>
4. Qasem, N.A.A., Mohammed R.H., Lawal D.U.: Removal of heavy metal ions from wastewater: a comprehensive and critical review. *npj Clean Water.* 2021. Vol. 4, 36. <http://dx.doi.org/10.1038/s41545-021-00127-0>
5. Peng C., Wang Y., Tang Y. Synthesis of crosslinked chitosan-crown ethers and evaluation of these products as adsorbents for metal ions. *Journal of Applied Polymer Science.* 1998. Vol. 70, No. 3. P. 501–506.
6. Wu F.Ch., Tseng R.L., Juang R.S. A review and experimental verification of using chitosan and its derivatives as adsorbents for selected heavy metals. *J. Environ. Manage.* 2010. Vol. 91. P. 798–806. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.10.018>
7. Sorokina E.B., Zaitseva I.S., Komykhov S.A., Panayotova T.D., Murayeva O.A. Optimization of ion-exchange desalination of water: theoretical study of the influence of the ligand structure on the energy of complexation. *The Strategies of Modern Science Development. VII International scientific–practical conference. North Charleston, SC, USA, 14-15 October 2014.* P. 35–39.
8. Garg, B.S., Sharma, R.K., Bhojak N., Mittal S. Chelating Resins and Their Applications in the Analysis of Trace Metal Ions. *Microchem. Journ.* 1999, Vol. 61, No. 2. P. 94–114.
9. Зайцева М.С., Ляпун В.О., Зайцева І.С., Коміхов С.О. Теоретичне вивчення комплексоутворення імінодіоцтової кислоти з важкими металами. *Areas of Scientific Thought – 2015/2016 : Materials of the XII International Scientific and Practical Conference. Sheffield. 2015/2016.* Vol. 14. P. 44–49.
10. Zaitseva I., Pylypenko O., Panayotova T., Bulavina D. Search for the optimal organic ligands for extraction of heavy metals. *Актуальні питання хімії та інтегрованих технологій : матеріали міжнар. наук.-практ. конф, Харків, 7 червня 2022 р. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. С. 24.*

УДК 628.357.4

## ВИКОРИСТАННЯ БІОПЛАТО ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ФАРМАЦЕВТИЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

**Сорокіна Катерина Борисовна,**

кандидат технічних наук, доцентка, доцентка;

**Карпук Дмитро Сергійович,**

бакалавр

Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова

[dmytro.karpuk@kname.edu.ua](mailto:dmytro.karpuk@kname.edu.ua)

Фармацевтична промисловість є невід'ємною складовою загального народногосподарського комплексу як України, так і усього світу. Фармацевтичні підприємства, виготовляючи свою продукцію, відіграють значну роль в процесі лікування та оздоровлення людства. Але, як і більшість об'єктів промисловості, фармацевтичне виробництво негативно впливає на навколишнє середовище. Одним з таких чинників є скидання недостатньо очищених стічних вод в природні водойми.

Виробничі стічні води фармацевтичних виробництв можуть містити органічні розчинники, каталізатори, добавки, субпродукти, сировину та активні фармацевтичні субстанції, які є достатньо складними для видалення або деструкції. Через те, що у стічних водах містяться токсичні та стійкі до розкладання речовини, ступінь видалення важко окиснюваних сполук на очисних спорудах стічних вод фармацевтичних виробництв значно нижчий, ніж в інших галузях.

Деякі фармацевтичні підприємства направляють забруднені стічні води у міську каналізаційну мережу, якою стоки в подальшому надходять на очищення до міських очисних споруд. Інші підприємства мають власні локальні очисні споруди, на яких проводиться декілька первинних стадій очищення, а далі частково очищені стічні води теж скидають в міську каналізаційну мережу для подальшого доочищення на муніципальних очисних спорудах.

Ряд сучасних підприємств відповідально відносяться до очищення стічних вод та будують власні очисні споруди, після обробки на яких якісні показники очищених стічних вод повністю відповідають вимогам нормативних документів. Після адекватного очищення стічні води можуть скидатися в природні водойми, використовуватись для технічних потреб підприємства або для зрошування зелених насаджень.

Для найбільш ефективного очищення стічних вод на очисних спорудах застосовують різноманітні технологічні схеми, але будь-яке очищення проходить

в декілька стадій таких як:

- механічне очищення – вилучення нерозчинених домішок (решітки, проціджувачі);
- хімічне очищення від розчинених мінеральних домішок (відстійники, прояснювачі);
- біологічне очищення від органічних розчинених домішок (аеротенки, біореактори);
- природне біологічне очищення на біоінженерних спорудах типу біоплато.

Технологія використання для очищення води біоценозів різних видів водних організмів є досить ефективною та під час експлуатації не вимагає (або майже не вимагає) використання хімічних реагентів та значних витрат на електроенергію [1].

Біоплато – це інженерна споруда, яка використовується для очищення та доочищення господарсько-побутових, виробничих стічних вод та поверхневого стоку. Дана технологія основана на процесах самоочищення, які притаманні водним та навколководним екосистемам. По суті, біоплато, це штучна водойма в якій висаджені вищі водні рослини (далі – ВВР) (рис. 1).

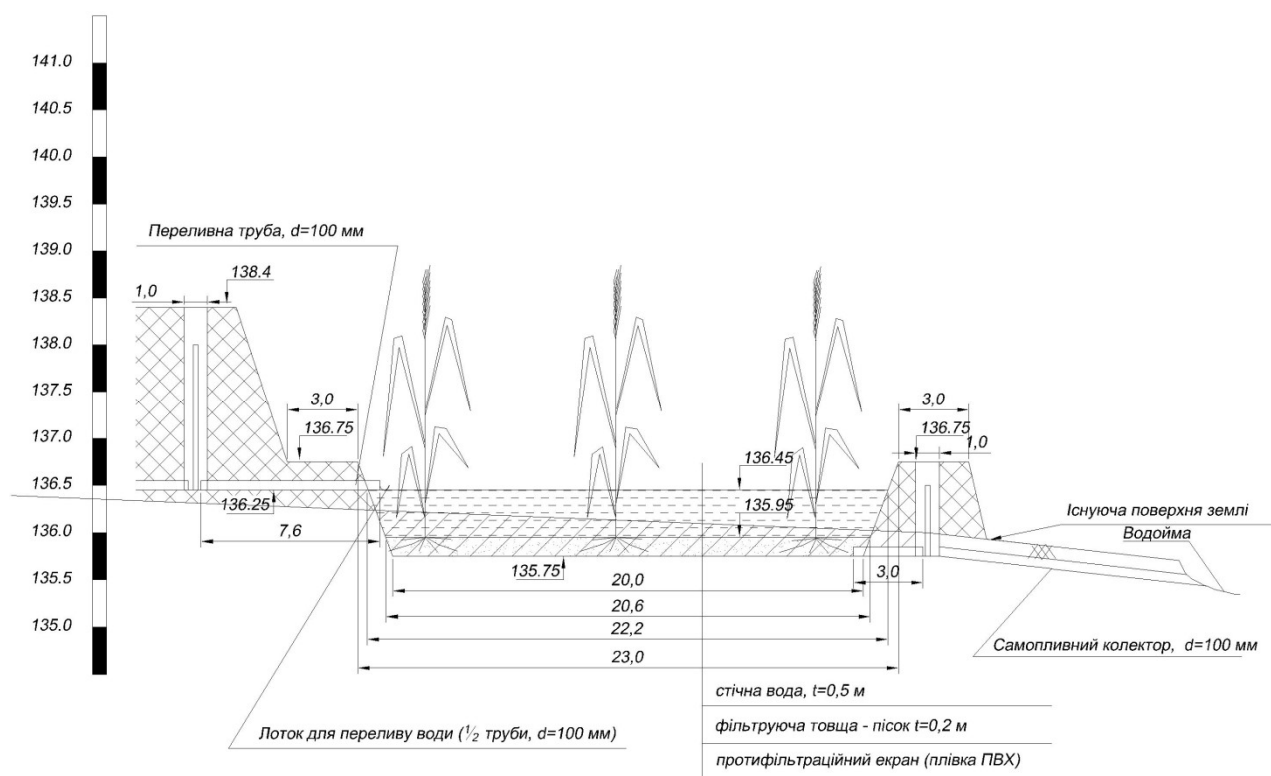


Рисунок 1. Біоінженерна споруда (біоплато)

Вищі водні рослини, такі як комиш, очерет озерний, рогоз вузьколистий і широколистий, спіродела багатокоренева, водний гіацинт та інші мають здатність

видаляти з води достатньо широкий спектр забруднюючих речовин, а саме [2]:

- біогенні елементи (азот, фосфор, калій, кальцій, магній, марганець, сірку);
- важкі метали (кадмій, мідь, свинець, цинк);
- феноли;
- сульфати;
- нафтопродукти;
- синтетичні поверхневоактивні речовини (СПАР).

Також використання фітотехнологій дозволяє поліпшити такі показники органічного забруднення середовища як біологічне споживання кисню (БСК) та хімічне споживання кисню (ХСК).

У природних умовах дані рослини виконують наступні функції [1, 3]:

- поглинальну (поглинання біогенних елементів і деяких органічних речовин);
- окисну (в процесі фотосинтезу вода забезпечується киснем);
- накопичувальну (здатність накопичувати важко розкладані органічні речовини та деякі метали);
- фільтраційну (сприяють осадженню завислих речовин);
- детоксикаційну (рослини здатні накопичувати токсичні речовини й перетворювати їх в нетоксичні).

Проведений аналіз показників функціонування локальних очисних споруд одного з фармацевтичних підприємств України. Очищення стічних вод на даних очисних спорудах проходить в декілька стадій:

- механічна (видалення твердих часток більших за 0,7 мм шляхом проціджування стоку через барабанне сито);
- хімічна (руйнування хімічних та органічних сполук шляхом окиснення їх реактивом Фентона у поєднанні з кавітаційною насадкою з подальшим отриманням осаду);
- біологічна (реалізується шляхом подачі вже підготовленого та проясненого стоку до аеротенку, в якому міститься активний мул);
- природно-біологічна стадія (реалізується шляхом проходження очищеної на попередніх стадіях стічної води через закрите біоплато гідропонного типу (далі – ЗБГТ) (рис. 2).

ЗБГТ – це інженерна споруда, яка поєднує основні елементи очищення з використанням іммобілізованої на інертному субстраті мікрофлори та ВВР. Завантаження дренажного шару біоплато складається з інертного матеріалу (наприклад, митого щебеню) крупністю 40–70 мм, куди вноситься біопрепарат з іммобілізованими на інертному носії (наприклад, торфі) мікроорганізмами-



деструкторами нафтопродуктів, жирів, олій та інших органічних речовин. Біопрепарат, який сприяє сорбції та деструкції органічних речовин, покращенню санітарних показників якості води, засипають безпосередньо в дренажний шар в місцях посадки ВВР, що сприяє їхньому зростанню.



Рисунок 2. Загальний вид закритого біоплато гідропонного типу для доочищення стічних вод фармацевтичного виробництва

Над розподільною системою дрен, покритих щебенем, укладається утеплювач товщиною 40 мм, який не перешкоджає проростанню ВВР. Утеплювач покривається шаром щебеню. Висаджування ВВР здійснюється в дренажний шар щебеню на рівні та вздовж верхніх дрен. Для посадки зазвичай використовують очерет звичайний, очерет озерний, рогоз вузьколистий, айр болотний та ін.

Біоплато з ВВР відзначаються значною окиснювальною здатністю завдяки створенню біоплівки гідробіонітів на поверхні інертного субстрату і зануреній частині кореневищ і стебел ВВР, які перебувають у стані симбіотичної взаємодії [4].

Після проходження через ЗБГТ якість води значно покращується, а саме знижуються концентрації таких забрудників як азот амонійний, ортофосфати, нафтопродукти, ХСК, АПАР, залізо загальне, а також вміст важких металів, таких як кобальт, марганець, мідь, ртуть, свинець, цинк, хром.

Дані щодо якості води до та після очищення на закритому біоплато гідропонного типу очисних споруд фармацевтичного підприємства приведені в таблиці 1.

Якісні показники очищеної води відповідають заданим показникам. Далі зворотні стічні води фармацевтичного підприємства використовують для технічних потреб очисних споруд, а їх надлишок подають на відкрите біоплато та використовують для зрошення енергетичних рослин (міскантусу). Після цього очищені стічні води проходять через товщу ґрунту, за рахунок чого доочищуються природним шляхом.

Таблиця 1. Зниження концентрацій забрудників стічної води

Показник	Концентрація	
	до біоплато	після біоплато
Азот амонійний, мг/дм <sup>3</sup>	9,14	0,09
Нафтопродукти, мг/дм <sup>3</sup>	0,28	< 0,005
ХСК, мгО /дм <sup>3</sup>	220	23
АПАР, мг/дм <sup>3</sup>	1,26	0,16
Ортофосфати, мг/дм <sup>3</sup>	14,6	3,43
Залізо загальне, мг/дм <sup>3</sup>	> 2,0	0,1

За результатами досліджень встановлено, що стічні води підприємств фармацевтичної галузі відрізняються великою різноманітністю типів забруднюючих речовин. Для успішної обробки стоків даного типу потрібно застосовувати всі відомі сучасні способи очищення стічних вод та необхідно досліджувати експлуатаційні показники діючих споруд для правильного та ефективного застосування цих методів.

Досвід експлуатації очисних споруд дає можливість стверджувати, що технологія біоплато для очищення стічних вод фармацевтичних підприємств є ефективним, екологічним та економічним технічним рішенням, але для отримання оптимальних результатів потребує досліджень та удосконалень.

### Список використаних джерел

1. Використання вищих водних рослин в практиці очистки стічних вод та поверхневого стоку [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://potential4.com.ua/statti\\_3.html](https://potential4.com.ua/statti_3.html).
2. Маджд С.М., Панченко А.О., Бондар А. М. Роль вищих водних рослин у деструкції забруднювачів у біоінженерних гідрофітних спорудах. Наукоємні технології. 2017. № 1 (33). С. 89–93.
3. Романенко В.Д., Крот Ю. Г., Киризія Т.Я., Коваль І.М., Кіпніс Л.С., Потрохов О.С., Зінковський О.Г., Леконцева Т.І. Природні і штучні біоплато. Фундаментальні та практичні аспекти. Київ : Наук. думка, 2012. 110 с.
4. Маджд С. М. Досвід експлуатації гідрофітних споруд в Україні та світі. Наукоємні технології. 2016. № 2 (30). С. 228–231.

УДК 666.7

## ВПЛИВ СУЧАСНОГО ВИРОБНИЦТВА КЕРАМІЧНИХ ВИРОБІВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

**Бабіч Олена Вікторівна,**

кандидат технічних наук, доцентка;

**Козло Дар'я Олександрівна,**

магістрантка

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[Olena.Babich@kname.edu.ua](mailto:Olena.Babich@kname.edu.ua)

Розвиток будівельної галузі на сьогодні є надзвичайно стрімким. Сучасний розвиток наукових досліджень спрямовано на проектування, дослідження та виробництво нових матеріалів для забезпечення не тільки побуту суспільства, а ще і для захисту. Тому актуальним питанням є розробка та застосування нових та модифікованих будівельних матеріалів з поліпшеними фізико-механічними та експлуатаційними показниками [1].

Перевагою використання кераміки у будівництві в порівнянні з іншими конструктивними матеріалами є висока міцність, зносостійкість, довгий термін служби, хімічна інертність і нетоксичність, жаростійкість і вогнестійкість, електричний опір, а іноді також конкретна пористість.

У сучасній технології кераміки разом з традиційними видами сировини, що включають звичайні глини і каоліни, польові шпати, кремнеземвмісні матеріали застосовують цілий ряд інших нових сировинних матеріалів. Основними етапами виробництва кераміки є підготовка, формування, сушка і випалення. Але різноманітність вихідної сировини, конструктивних особливостей, фізико-хімічних властивостей і призначення керамічних матеріалів вимагає створення відповідної технології виробництва. На сучасному рівні розвитку технології кераміки все більшого значення набувають питання вивчення матеріалів, що дозволяють не лише встановити залежність властивостей керамічних матеріалів від їх структури, але і створювати матеріали із заданими властивостями.

Зараз ринок будівельних матеріалів надзвичайно різноманітний, кожен матеріал, який використовують в тій чи іншій сфері має як переваги так і недоліки. Універсального будівельного матеріалу досить не існує. Українські вчені та дослідники намагаються створити вітчизняні матеріали, які не поступаються за властивостями закордонним. З урахуванням стрімкого темпу впровадження розробок матеріалів у виробництво є і негативні наслідки на навколишнє середовище і на сам перед на здоров'я людини.

Залежно від конкретних виробничих процесів, заводи, які виготовляють керамічні вироби, створюють викиди у повітря, воду та ґрунт (відходи). Крім того, навколишнє середовище може зазнавати впливу шуму та неприємних запахів. Тип та кількість забруднень повітря, відходів та стічних вод залежить від різних параметрів. До таких параметрів належать види сировини та допоміжні реагенти, види палива та методи виробництва. Насамперед при викидах у повітря під час виробництва керамічних виробів можуть утворюватися тверді частки, пил, сажа, газоподібні викиди (оксиди вуглецю, оксиди азоту, оксиди сірки, неорганічні сполуки фтору та хлору, органічні сполуки та важкі метали). Технологічні стічні води містять головним чином мінеральні компоненти (нерозчинні тверді частки), а також інші неорганічні матеріали, численні органічні матеріали у невеликих кількостях, а також деякі важкі метали. Технологічні втрати при виготовленні керамічних виробів складаються головним чином з різних видів шламу, розбитих виробів, використаних гіпсових форм, використаних поглинальних матеріалів, твердих залишків (пил, попіл) та відходів упаковки. Усі сектори керамічної промисловості є енергоємними, оскільки ключова частина технологічного процесу передбачає висушування, а потім випалювання до температур від 800 до 2000 °С.

На сьогодні для випалювання використовується переважно природний газ, зріджений вуглеводневий газ (пропан та бутан) і мазут сорту ЕЛ («надлегкий»), у той час як важкий мазут, зріджений природний газ, біогаз/біомаса, електроенергія та тверді палива (наприклад, вугілля, нафтовий кокс) теж можуть використовуватися у якості джерел енергії для пальників [2].

Тому важним питанням остається виробництво керамічних матеріалів за ресурсо-енергозберігаючою технологією, впровадження якої знизить негативний вплив на навколишнє середовище та забезпечить рівень виробництва будівельної кераміки на міжнародному рівні.

### **Список використаних джерел**

1. Суббота І.С., Спасьонова Л.М. Інноваційні технології кераміки [Електронний ресурс] : навч. посіб. КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 65 с.

2. Еко-інновації у галузі виробництва кераміки відповідно до вимог законодавства ЄС [Електронний ресурс] Режим доступу : <https://ecolog-ua.com/news/eko-innovaciyi-u-galuzi-vyrobnyctva-keramiky-vidpovidno-do-vymog-zakonodavstva-yes>. – (дата звернення: 30.10.2023).

УДК 666.972.162

## ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТАМПОНАЖНИХ РОЗЧИНІВ ДЛЯ КРІПЛЕННЯ ОБСАДНИХ КОЛОН СВЕРДЛОВИН

**Наливайко Олександр Іванович,**

кандидат технічних наук, доцент, доцент;

**Мележик Ангеліна Володимирівна,**

магістрантка;

**Ромашко Олександр Васильович,**

кандидат технічних наук, доцент, доцент

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[Oleksandr.Romashko@kname.edu.ua](mailto:Oleksandr.Romashko@kname.edu.ua)

Кріплення газових і нафтових свердловин обсадними колонами та їх цементування це завершальна стадія їх будівництва, а неякісне цементування може звести нанівець матеріальні ресурси, вкладені в буріння, привести до втрат вуглеводнів через міжпластові перетоки, газопроявлення та до непередбачуваних екологічних наслідків. Тенденції зростання глибин буріння та впровадження нових типів конструкції свердловин приводять до збільшення інтервалів кріплення обсадними колонами, та відповідно, зростання інтервалів цементування. Залежно від геобаротермальних умов конкретних свердловин це вимагає застосування модифікованих по густині (полегшених, обважнених) тампонажних сумішей із достатньою термостійкістю каменю. Можлива наявність в розрізі соленосних відкладів вимагає надання цементному каменю стійкості до агресивної дії солей [1].

Успішне проведення будь-яких тампонажних робіт в складних гірничо-геологічних умовах свердловини, можливо тільки при умові правильного вибору тампонажного матеріалу, параметрів тампонажного розчину, відповідної буферної рідини, технологічної оснастки обсадної колони і технології підготовки ствола свердловини.

Необхідною умовою якісного кріплення обсадних колон свердловин є чітке дотримання розроблених рецептур тампонажного розчину та буферних рідин (згідно з результатами аналізу) в комплексі з виконанням вимог необхідних регламентуючих документів.

Перед проведенням лабораторних досліджень по розробці оптимальних рецептур тампонажних розчинів для цементування обсадних колон і встановлення цементних мостів виконуються аналізи тампонажних матеріалів на відповідність діючим ДСТУ, ТУ, стандартам АРІ [2-4].

Тампонажні розчини для цементування інтервалів, схильних до газоводонафтопроявів, повинні мати специфічні властивості:

- мінімальний контракційний ефект тампонажного розчину під час твердіння;
- максимальна седиментаційна стійкість тампонажного розчину з мінімальним показником водовідділення;
- час загуснення тампонажного розчину в баротермічних умовах має перевищувати загальний час цементування на 25 %, але не більше 1 год.;
- покращені реологічні характеристики тампонажних розчинів (максимально допустима динамічна в'язкість і статичне напруження зсуву СНЗ), які забезпечують їх транспортування в інтервал цементування без ускладнень;
- мінімальна водовіддача в конкретних умовах застосування;
- при виборі тампонажних матеріалів і реагентів перевага надається матеріалам чи реагентам, які забезпечують необхідний час між початком і кінцем схоплення.

На даному етапі проведення робіт з цементування свердловин основними тампонажними матеріалами є: базові тампонажні портландцементи ПЦТ I-50-100, Class G та Class G + 35 % SiO<sub>2</sub> (Class K), шлакопідцані цементи ШПЦС-120 та ШПЦС-200, обважені ОШЦ-120, ОШЦ-200; полегшені цементи ПЦТ III Пол.5-100, IsoCem Lite-5, ОТМ 5-50 та ОТМ-150 або їх аналоги, кварц мелений та бентонітовий глинопорошок.

В якості сповільнювачів термінів тужавлення використовується нітрлотри-метилфосфонова кислота (НТФК), цукор, CemR-10F та CemR-50F.

За необхідності збільшення густини, для покращення реологічних показників тампонажного розчину, підвищення міцнісних характеристик цементного каменя, використовуються хімреагенти – пластифікатори типу СП-7Mc, Atren plast-B, Desco Chrome free, Well Fix P130 або їх аналоги.

Для зниження показників водовідділення та водовіддачі тампонажного розчину, покращення якості цементування та збереження колекторських властивостей продуктивних пластів, використовуються стабілізатори – понижувачі фільтрації СМС HV, Floset OF 4430, CELLOSIZЕ НЕС-18 та WR-FL10SP, Polytrol FL 56 або їх аналоги.

З метою покращення технологічних параметрів тампонажних розчинів та підвищення якості кріплення обсадних колон, ведеться постійна робота по розширенню гамми тампонажних матеріалів, зокрема спеццементів та високоєфективних хімреагентів – пластифікаторів, сповільнювачів, понижувачів водовідділення та фільтрації, буферних матеріалів, які можна використати при проведенні тампонажних робіт.

До теперішнього часу єдиним прямим доказом якісного кріплення нафтових і газових свердловин була відсутність міжпластових перетоків за обсадною колоною, водонафтогазопроявлення через колонний простір, а також прориви в обсадних колонах. Зниження якості кріплення свердловин зазвичай виражається в появі води в видобутій нафті або у порушенні герметичності обсадної колони.

Основними причинами міжколонних тисків є негерметичність цементного кільця за обсадними колонами, негерметичність обсадної колони та обладнання, яке встановлено на гирлі.

Покращення технологічної якості існуючих тампонажних цементів важливо для приготування ефективних гідрофобних тампонажних розчинів [5].

Застосування цементу ПЦТ-І-100 широко відомо.

Ramsinks-2М – це гідрофобізуюча (водовідштовхуюча) добавка – комплексне кремнійорганічне гідрофобізуюче з'єднання.

Матеріал виконує ізолюючі дію на поверхні пор порід-колекторів і саме цей фізико-хімічний механізм на думку авторів повинен у композиції з цементом ПЦТ-І-100 дати можливість суттєво покращити властивості тампонажних матеріалів, що взагалі повинно привести до унеможливлення виникнення заколонних перетоків. Проблема заколонних перетоків на сьогодні існує як на свердловинах ПАТ «Укрнафта» так і на свердловинах ДК «Укргазвидобування» НАК «Нафтогаз України». Одним із користувачів новітніх тампонажних розчинів є БУ «Укрбургаз».

У лабораторних умовах були досліджені фізико-механічні властивості гідрофобних тампонажних розчинів і була доведена можливість збільшення міцності у 3–5 разів. Вказані переваги новітніх тампонажних розчинів дозволять застосувати такі тампонажні суміші для цементування нафтових і газових свердловин у зонах АНПТ, що відповідає критерію промислового використання.

Запропоноване технічне рішення в порівнянні з уже існуючими дозволить отримати гідрофобні тампонажні розчини з більш низькими діапазонами густини тампонажного розчину, високою стабільністю, гарною прокачуваністю та високою міцністю затвердівшого каменю, гарантує надійність ізоляції продуктивних горизонтів.

Для формування цементного каменю з цементу ПЦТ-І-100 та добавкою Ramsinks-2М використовувалась автоклавна установка А-2.00.000.ІЕ у комплексі зі спеціальним пристроєм для встановлення металевих форм зі зразками, функцією якого є попередження руйнування зразків. Для цього попередньо в автоклавній установці формувались, у спеціально виготовлених металевих формах, циліндричні зразки каменю з цементної суміші ПЦТ-І-100 та добавкою Ramsinks-2М довжиною 39,5~1,0 мм і діаметром 26~1,0 мм.

Визначення гідрофобного ефекту проводилось шляхом лабораторного випробування на ступінь гідрофобності цементу ПЦТ-I-100 з добавкою Ramsinks-2М.

Введення Ramsinks-2М з питомою поверхнею 380 м<sup>2</sup>/г значно підвищує міцність лежалого і свіжого цементів, знижує пластичну в'язкість і динамічні напруження зсуву. На поверхні Ramsinks-2М є активні центри – гідроксильні групи, які є додатковими центрами кристалізації гідратів.

Введення до цементу Ramsinks-2М може істотно збільшувати густину структури завдяки наявності великого числа фазових контактів, що займають значну частину поверхні новоутворень, але цей механізм регулюється відсотковим складом добавки.

На рисунку 1 відображено залежність абсолютної газопроникності зразків цементного розчину від відсотку матеріалу Ramsinks-2М до в'язучого матеріалу. Даний графік являє собою лінію тренду ряду зміни відсотку матеріалу Ramsinks-2М і є степеневою функцією  $y = 0,0049x^{-2,01045}$ , величина вірогідності апроксимації при цьому (коефіцієнт детермінації) склав  $R^2 = 0,9321$ .

Дана функція доводить що газопроникність зменшується при застосуванні різних складів гідрофобних домішок, але найкращі показники досягаються з 0,3 % матеріалу Ramsinks-2М у цемент ПЦТ-I-100. Подальше збільшення відсотків кількості добавки веде до погіршення результатів.

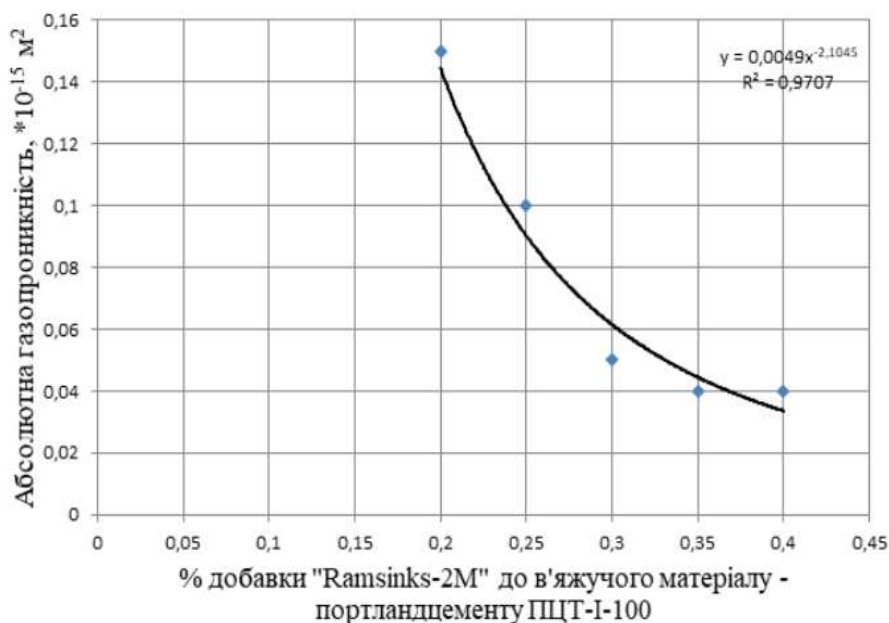


Рисунок 1 – Результати абсолютної газопроникності по зразках цементного каменю з ПЦТ-I-100 та гідрофобним матеріалом Ramsinks-2М

У таблиці 1 наведені результати випробувань зразків цементного каменю на згин.



Таблиця 1. Результати випробувань на згин, зразків цементного каменю ПЦТ-І-100 з гідрофобним матеріалом Ramsinks-2М

№ з/п	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
Склад	ПЦТ-І-100 + 0,06 % НТФК + 0,4 % Ramsinks-2М + 2 % ПАР					
Зусилля руйнування зразка за згину, МПа	5,9	7,08	6,04	6,6	7,67	
№ з/п	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>		
Склад	ПЦТ-І-100 + 0,06 % НТФК + 0,2 % Ramsinks-2М + 2 % стінол					
Зусилля руйнування зразка за згину, МПа	4,1	4,12	3,56	2,94		
№ з/п	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	
Склад	ПЦТ-І-100 + 0,06 % НТФК					
Зусилля руйнування зразка за згину, МПа	4,14	6,5	7,07	7,09	6,5	
№ з/п	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
Склад	ПЦТ-І-100+0,06 % НТФК+0,2 % Ramsinks-2М + 1,5 % стінол					
Зусилля руйнування зразка за згину, МПа	15,92	14,2	14,8	9,46	11,8	13,1

Підбір оптимальних співвідношень ПЦТ-І-100 і гідрофобного матеріалу Ramsinks-2М забезпечує необхідну густину тампонажного розчину, темп набору міцності при високих експлуатаційних параметрах каменя.

Використання при будівництві свердловин гідрофобного матеріалу Ramsinks-2М до тампонуєчих цементів, поліпшує властивості цементного каменю тампонажного розчину і в цілому якість цементування свердловин, прискорює гідратацію силікатних фаз клінкеру, збільшує міцність і корозійну стійкість каменя.

### Список використаних джерел

1. Мислюк М.А., Рибчич І.Й. Буріння свердловин: довідник: у 5 т. Т. 4: Завершення свердловин. К.: Інтерпрес ЛТД, 2012. 608 с.
2. ДСТУ Б. В. 2.7-8-99. Тампонажні цементы. Технічні умови – Київ, 1999.
3. ДСТУ Б В.2.7-186:2009 «Цементи. Метод визначення водовідділення».
4. Технологічні регламенти по цементуванню обсадних колон в свердловинах на родовищах АТ «Укрнафта» на 1996-2000 рр. Держкомнафтогаз ВАТ УкрНГІ. Київ, 1995. 36 с.
5. Наливайко О., Ромашко О., Рудий С. Покращення якості цементування нафтових і газових свердловин тампонажним розчином з гідрофобним матеріалом «Ramsinks-2М» / InterConf. 2021. Vol. 81. P. 236–248. <https://doi.org/10.51582/interconf.21-22.10.2021.031>

УДК 504

## УПРАВЛІННЯ ОРГАНІЧНИМИ ВІДХОДАМИ ЯК ІМПЕРАТИВ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

**Радіонов Вадим Сергійович,**

аспірант Навчально-наукового Інституту економіки і менеджменту  
Харківський національний університет міського господарства ім.О. М. Бекетова  
[agrokontur.ua@gmail.com](mailto:agrokontur.ua@gmail.com)

Екологічна проблема з утворенням та утилізацією великої кількості відходів є актуальною як у світі, так і в Україні. Ця проблема має серйозний вплив на навколишнє середовище через забруднення ґрунту, водних ресурсів, атмосфери та інші негативні наслідки. У той же час, використання органічних відходів у сільському господарстві може бути корисним способом одночасної утилізації відходів та покращення якості ґрунту, а також розв'язання екологічних проблем. Проте, цей підхід потребує ретельної обробки та контролю, оскільки неправильне використання органічних відходів може призвести до нових проблем, таких як забруднення ґрунту та водних джерел, засолення ґрунту й інші негативні наслідки. Тому важливо розробити ефективні методи управління відходами, які враховуватимуть специфіку їх складу та природно-господарські умови регіону. Ця проблема є значущою і вимагає наукових досліджень та розробки належних підходів до управління відходами з урахуванням екологічних та сільськогосподарських аспектів.

У нинішній час одним із значущих джерел забруднення природного середовища є різноманітні відходи виробництва та споживання. Проте досі не існує єдиної класифікації відходів у світі. Відходи різняться як за походженням (промислові, сільськогосподарського виробництва, побутові тощо), агрегатним станом (тверді, напіврідкі, рідкі, газоподібні), так і за класом їх небезпечності для природного середовища (від практично безпечних до надзвичайно небезпечних). Органічні відходи представляють собою залишки сировини, речовини та побічні продукти, що утворюються під час технологічних процесів у виробництві продукції або у побуті людей і містять органічні сполуки рослинного, тваринного та промислового походження.

Тверді органічні відходи зберігаються на смітниках, полігонах, сховищах, грязьових ділянках, незаконних сміттєзвалищах, піддаються спалюванню або утилізації. Україна опинилася на 9 місці у світі серед виробників сміття на душу населення. Майже 95 % відходів в Україні – небезпечні. До 7 % земель України займають сміттеві полігони. Це більше ніж площа Данії, або ж 14 столиць України. Щорічно сміттевий фонд України збагачується на

15 мільйонів тон. Офіційно існує 6 тисяч захоронень [1]. Україна буквально захлинається у відходах, які продукує. У середньому на одну людину припадає 250–300 кг сміття. 93 % непотребу вивозять на сміттєзвалища та полігони, більше 2 % спалюють, а 4,5 % йде на переробку [2]. Рік за роком територія країни перетворюється на величезний смітник і, якщо нічого не робити, то вже завтра на нас очікує масштабна екологічна катастрофа.

У найбільш розвинених країнах Європи розвиток сфери поводження з побутовими відходами дає можливість їх переробляти, компостувати. Досвід цих країн свідчить, що переробка відходів є економічно, екологічно та соціально вигідним видом діяльності. Для сміттянок, як правило, обираються землі, що не піддаються затопленню або мають велику рівень ґрунтових вод. Захистом від витоку відходів і є їх змішування з цементом, золою з електростанцій, асфальтом або органічними полімерами. Один із поширених методів утилізації відходів – це їх спалювання. У країнах Європейського Союзу щороку спалюється 17 % відходів [2]. Великобританії приблизно 5 % побутових, 2 % промислових і 75 % комерційних відходів піддаються спалюванню, в США обсяг спалюваних відходів становить 28 млн. тон [3].

Змінити ситуацію допоможуть апробовані практики управління відходами, які вже діють в Євросоюзі і демонструють там позитивні результати. Вони мають складний висококомплексний характер та охоплюють інфраструктурні, управлінські, фінансові і соціокультурні компоненти. В основі системи знаходиться ієрархія управління відходами, яку можна уявити у вигляді перевернутої піраміди. На верхньому щаблі – попередження їх утворення. У кожній з країн ЄС діють свої програми щодо запобігання утворення різних видів сміття, що орієновані на домогосподарства, муніципалітети, сільське господарство, добувну промисловість. Більшість стосується харчових відходів, упаковки, батарейок тощо. Найбільш ефективним способом зменшення твердих відходів є їх використання для виробництва біогазу і подальша переробка. Згідно з даними Статистичної служби Європейського союзу «Eurostat», в Австрії, Німеччині, Нідерландах і Бельгії обсяг утилізації відходів становив понад 60 % [4]. У США, Європі, Японії та Індії застосовуються методи мікробіологічної переробки відходів тваринництва та осадів стічних вод, що дозволяють отримувати біогаз і так званий органічний шлам, який використовується як добриво. Отримане добриво представляє собою однорідну напіврідку масу, в якій концентрація поживних речовин збільшується: бруто азоту та фосфору майже в 1,7 рази, калію – в 1,3 рази [5].

Є і таке компостування, коли біорганічні рештки перетворюються на гумусоподібну речовину. Наприклад, в італійському П'ємонті успіхом користується програма «Домашнє компостування»: місцеві комуни

забезпечують домогосподарства спеціальним обладнанням, а якість компостування контролюють ековолонтери. Цей проект дозволив суттєво скоротити плату за вивіз домашніх відходів.

Рідкі органічні відходи проходять очищення, зберігаються у нагнітаючих свердловинах або піддаються утилізації. Найпростіший підхід до контролю якості стічних вод – це їх очищення на джерелі утворення. Такий підхід використовується в Сполучених Штатах, Канаді і Європі, і в багатьох випадках потребує більш високого рівня технології очищення [6]. На сьогоднішній день розроблено велику кількість перспективних технологій очищення стічних вод та стоків. Схеми відведення та обробки стічних вод промислових підприємств визначаються технологічним процесом, обсягом стічних вод, складом забруднень, а також вимогами до якості очищеної води. Під час вибору способу очищення враховують не лише склад стічних вод, але й вимоги, яким повинні відповідати очищені води, і при використанні очищених стічних вод вдруге у виробництві – вимоги конкретних технологічних процесів. Ефективність очищення різними методами експерти визначають у балах. За сумою балів найбільш ефективними методами очищення є озонування, електроліз та сорбція. Але найбільший ефект досягається їх комплексним застосуванням в різних комбінаціях.

Один з широко використовуваних методів у США – це введення рідких промислових відходів через нагнітальні свердловини в водопроникні підземні геологічні шари. Для видалення розподілених часток та органічних сполук рідкі відходи фільтруються.

Усі наведені вище методи в певній мірі вирішують проблему зменшення антропогенного навантаження на природне середовище. Однак, враховуючи наявність в відходах органічних сполук та поживних елементів, доступних для рослин, у ряді випадків раціонально використовувати їх в сільському господарстві для підвищення врожайності сільськогосподарських культур і відновлення родючості деградованих і малопродуктивних земель. Механізм ґрунтовикористання органічних відходів базується на поглинаючій здатності ґрунту. Перша ступінь механізму забезпечується механічним поглинанням. У ґрунтах залишаються не лише великі, але й колоїдні частки, і навіть бактерії, діаметри яких в декілька разів менше ніж у найменших капілярів. Фізико-хімічна та хімічна поглинна здатність ґрунту забезпечує очищення переважно від мінеральних домішок, що призводить до утримання багатьох поживних речовин, важливих для рослин, у ґрунті. Розчинені мінеральні речовини поглинаються ґрунтом на 60–80%, а водорозчинні органічні речовини – на 85–95 %. Хімічна поглинна здатність ґрунту базується на здатності аніонів утворювати нерозчинні сполуки або малорозчинні солі з катіонами, що

видаються осадом, який приєднується до твердої фази ґрунту. Біологічна поглинна здатність ґрунту визначається процесами життєдіяльності мікроорганізмів, які знаходяться в ґрунті. Органічні речовини, які потрапляють до ґрунту, піддаються розкладу і перетворенню аж до утворення неорганічних речовин (процес мінералізації), а також трансформації з утворенням органічних речовин ґрунту – гумусу.

Використання органічних відходів як добрив призводить до збільшення врожаїв кормових культур до 200 %. Але, коли органічні відходи використовуються як добриво, існує серйозна загроза забруднення не лише отриманої продукції, але й навколишнього середовища різними шкідливими речовинами, які потрапляють в ґрунт разом із відходами. В органічних відходах часто виявляється висока концентрація рухомого мінерального азоту, солей важких металів і інших токсичних речовин, що вимагає введення екологічних обмежень на використання.

За вмістом основних поживних елементів у органічних відходах при природній вологості відзначаються значні відмінності між видами та внутрішньо видові різниці в залежності від особливостей їх отримання, переробки та зберігання, наприклад, азоту. Окрім азоту, відходи мають різний вміст фосфору, калію та інших макро- та мікроелементів, які також варіюються залежно від виду відходів. У відходах, таких як навоз КРС і птичий послід, не виявлено значної кількості токсичних металів і елементів, які б представляли серйозну загрозу навколишньому середовищу та якості продукції. Вміст регульованих елементів у цих відходах зазвичай не лише не перевищує максимально допустимі концентрації, встановлені для органічних добрив, але і, як правило, нижчий, ніж концентрація цих елементів у ґрунті.

Оптимізація розподілу відходів науково обґрунтовує застосування органічних відходів на сільськогосподарських землях з урахуванням максимізації прибутку сільських господарів. Дослідження показали, що вплив органічних відходів на врожайність та родючість ґрунту може бути і позитивним, і негативним. Позитивний вплив включає підвищення врожайності та покращення стану ґрунту, в той час як негативний вплив може включати біологічне забруднення, перенаселення мікроорганізмів, соління, осолонцювання та забруднення важкими металами. Один із основних показників, що визначає ефективність використання органічних відходів у сільському господарстві, – це врожайність вирощуваних культур. Посилення розвитку аграрної галузі та впровадження ефективних сільськогосподарських практик можуть сприяти збільшенню урожайності і зниженню ризику загрози від токсичних речовин у органічних відходах. Для зменшення негативного впливу токсичних речовин на мікроорганізми в ґрунті та збільшення

продуктивності сільськогосподарських культур важливо враховувати якість органічних відходів, які використовуються як добрива. Також важливо визначити оптимальну дозу та спосіб внесення органічних відходів для забезпечення найкращих результатів урожайності та родючості ґрунту. Моніторинг та регулярна оцінка впливу використання органічних відходів на якість ґрунту та врожайність допоможуть підтримувати стійке сільськогосподарське виробництво.

### Список використаних джерел

1. Яку кількість земель займають сміттєзвалища в Україні. URL : <https://acc.cv.ua/news/ukraine/yaku-kilkist-zemel-zaymayut-smittezvalischa-v-ukrayini-video-19416> (дата звернення 17.10.2023)
2. Як Євросоюз бореться зі сміттям. URL : <https://interfax.com.ua/news/blog/778998.html> (дата звернення 19.10.2023)
3. Сільське господарство Великобританії. URL : [https://geoknigi.com/view\\_country.php?id=26](https://geoknigi.com/view_country.php?id=26) (дата звернення 19.10.2023)
4. Екологічна безпека в європейських країнах: методи економічного регулювання й досвід для України: наукова доповідь [В.С. Кравців, П.В. Жук, Ю.І. Стадницький та ін.]; ДУ «Інститут регіональних досліджень імені М.І. Долишнього НАН України»; [наук. ред. В.С. Кравців]. Львів, 2020. 97 с. URL : <https://ird.gov.ua/irdp/p20200038.pdf> (дата звернення 21.10.2023)
5. Сухенко Ю.Г., Серьогін О.О., Сухенко В.Ю. Ресурсозберігаючі технології в харчових і переробних виробництвах: [Підручник] / За ред. проф. О.О. Серьогіна. К. : ЦП «КОМПРИНТ», 2016. 338 с.
6. Бабієнко В.В. , Мокієнко А.В. Знезараження води : курс лекцій / В.В. Бабієнко, А.В. Мокієнко. Одеса : Прес-кур'єр. 2022. С. 276. URL : <https://repo.odmu.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/11964/Babienko.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата звернення 25.10.2023)

УДК 502.131.1+620.9(035)

## ІННОВАЦІЙНІ РОЗРОБКИ У СФЕРІ ЕКОЛОГІЧНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

**Халін Володимир Петрович,**

студент 2 курсу

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[Volodymyr.Khalin@kname.edu.ua](mailto:Volodymyr.Khalin@kname.edu.ua)

Інноваційні розробки у сфері екологічних функціональних матеріалів є дуже важливим напрямком у сучасній науці та промисловості. Ці матеріали спрямовані на зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та покращення його стану.

Ось деякі інноваційні напрямки розробки екологічних функціональних матеріалів:

– біорозкладаючі матеріали – це матеріали, які можуть розкладатися природним шляхом і не наносять шкоди навколишньому середовищу. Вони використовуються для виготовлення упаковки, одягу та в інших галузях;

– матеріали з вторинної сировини. Вони виготовляються з перероблених матеріалів, таких як пластикові пляшки, скло, метал та інше. Це приводить до зменшення кількості вмісту та використання природних ресурсів;

– екологічно чисті полімери. Розробляються нові полімерні матеріали, які не містять токсичних речовин та не шкодять навколишньому середовищу під час виробництва та використання;

– функціональні покриття. Це матеріали, які мають певні властивості, що покращують їхню взаємодію з навколишнім середовищем. Наприклад, антибактеріальні покриття, які допомагають уникнути поширення мікроорганізмів;

– наноматеріали. Використання нанотехнологій дозволяє створювати матеріали з унікальними властивостями, такими як висока міцність, прозорість, стійкість до впливу навколишнього середовища тощо.

Ці напрямки представляють лише частину інновацій у сфері екологічних функціональних матеріалів. Дослідження в цій області продовжуються, але з урахуванням того, що дані матеріали підпадають під різноманітні екологічні обмеження з планом забезпечення безпеки та дотримання стандартів довкілля.

Ось деякі основні екологічні обмеження:

– токсичність та безпека – усі нові речовини повинні бути використані на перевірку токсичності та безпеки для навколишнього

середовища та здоров'я людини. Матеріали, які містять небезпечні хімічні речовини, можуть бути заборонені або потребувати спеціальної обробки та утилізації;

- вплив на біорізноманіття – дослідження повинно отримати можливий вплив нових матеріалів на рослинний та тваринний світ, а також на водні та обґрунтовані екосистеми;

- вплив на клімат – розгляд досліджень включає аналіз впливу нових матеріалів на зміни клімату, включаючи емісію та поглиблення парникових газів;

- видалення та переробка відходів – розроблені матеріали повинні бути піддані оцінці після закінчення терміну їх використання після можливості видалення та утилізації;

- дотримання стандартів та нормативів – усі дослідження та розробки повинні відповідати місцевим та міжнародним стандартам і нормативам у сфері довкілля та безпеки;

- соціальна прийнятність – дослідження повинні зменшити потреби та думку суспільства щодо використання нових матеріалів та їх впливу на оточуючу обстановку.

Загальна мета цих обмежень обмежена в тому, щоб забезпечити створення та використання матеріалів, які б не тільки були ефективними та інноваційними, але й безпечними для навколишнього середовища та громадського здоров'я.

### **Список використаних джерел**

1. Teliura N., Tsapko N., Khabarova H., Lomakina O., Pshenichnova O., Klochko T. Selection methodology of ecological safety priorities of sustainable development goals of urban agglomerations. In: Nechyporuk, M., et al. (eds.) Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering. 2021. LNNS. Vol. 367, P. 941–950. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-94259-5\\_73](https://doi.org/10.1007/978-3-030-94259-5_73)



УДК 628.168

## ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ КОАГУЛЯНТІВ В ПРОЦЕСАХ ВОДООЧИЩЕННЯ

**Яковлєва Поліна Єгорівна,**

студентка;

**Панайотова Тетяна Дмитрівна,**

кандидат хімічних наук, доцентка, доцентка

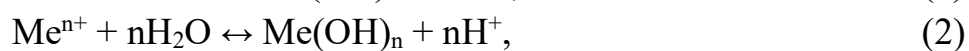
Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[Tetyana.Panayotova@kname.edu.ua](mailto:Tetyana.Panayotova@kname.edu.ua)

Актуальність проблеми забезпечення населення високоякісною питною водою підвищується і впливає на соціальний, екологічний і економічний стан у країні. Вибір методів очищення води визначається її хімічним складом і властивостями. Одним із головних технологічних процесів очищення природної води є коагулювання. Це пов'язано з його достатньою ефективністю та відносною дешевизною.

Коагуляцію застосовують для зниження седиментаційної та агрегативної стійкості іоногенних, колоїдних і високодисперсних домішок, що забруднюють воду. Суть її полягає в тому, що у воду додають коагулянти. Найчастіше – це солі алюмінію й феруму, а також їх суміші, але можна використовувати й солі інших багатовалентних катіонів – магнію, титану. Відбувається процес гідролізу коагулянту, який є одним із найважливіших етапів в процесі коагуляційного очищення води. Повнота його перебігу впливає на якість знебарвлення, дезодорації, прояснення, видалення забрудників та вміст залишкового алюмінію в очищеній воді, а також на витрату дороговартісного коагулянту.

Гідроліз солей, які використовують для коагуляції, забезпечується фізико-хімічними умовами, які відповідають природі обраної солі [1]. Перебіг реакції відбувається поетапно [1]:



$$K = [\text{Me}(\text{OH})_n], \quad (3)$$

$$K = \frac{K_W}{K_{\text{дMe}(\text{OH})_n}}, \quad (4)$$

де  $\text{Me}^{n+}$  – катіон,

$\text{A}^-$  – аніон солі,

$K$  – константа гідролізу,

$K_W$  – йонний добуток води,

$K_{\text{дMe}(\text{OH})_n}$  – константа дисоціації гідроксиду металу.

Фактори, які сприяють збільшенню константи гідролізу, що приводять до більш повного його перебігу, визначаються рівнянням (3) [1]:

- зменшення концентрації коагулянту в воді (розбавлення розчину);
- зв'язування йонів  $H^+$  в недисоційовані молекули;
- видалення важкорозчинних гідроксидів  $Me(OH)_n$  із зони реакції.

Під час гідролізу коагулянтів відбувається підкислення води за рахунок утворення кислот за реакціями (1) і (2). Тому для посилення гідролізу, крім виведення гідроксидів металів із зони реакції, необхідна нейтралізація надлишку йонів  $H^+$ . Для цього у воду додають лужні реагенти, оскільки лужності води, що визначається наявністю йонів  $HCO_3^-$ , які здатні вступати в реакцію з катіоном  $H^+$ , у воді, що підлягає очищенню, як правило, недостатня. За несприятливих фізико-хімічних умов спостерігається неповнота гідролізу солей, і катіони електроліта-коагулянта залишаються в очищеній воді (вторинне забруднення). Інформативною величиною щодо фазових переходів у розчині та ступеня гідролізу електроліту є добуток розчинності гідроксидів металів (продуктів коагуляції) та швидкість процесу гідролізу [1].

Гідроліз йонів металів, які утворюють гідроксиди з меншою константою дисоціації, відбувається більш повною мірою. Із наведених даних щодо добутку розчинності:

$$DP(Me(OH)_n) = [Me^{n+}][OH^-]^n$$

$$DP(Al(OH)_3) = 1 \cdot 10^{-32};$$

$$DP(Fe(OH)_2) = 1 \cdot 10^{-15};$$

$$DP(Fe(OH)_3) = 3,2 \cdot 10^{-38},$$

слідуює, що  $Fe(OH)_3$  менш розчинний, ніж  $Al(OH)_3$  і  $Fe(OH)_2$ . Це означає, що солі феруму(III) гідролізуються повніше, ніж солі алюмінію і феруму(II). Тому під час вибору коагулянту слід віддавати перевагу солям феруму(III).

На сьогодні найпоширенішими неорганічними коагулянтами є алюміній сульфат  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , ферум(II) сульфат  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  та ферум(III) хлорид –  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ . Використовують також основні сульфати алюмінію різної основності та змішані коагулянти на основі феруму та алюмінію [2].

До сьогодні в нашій країні використовують переважно солі алюміній сульфату та алюміній хлориду. До негативних властивостей цих коагулянтів можна віднести такі:

- необхідність регулювання показника рН;
- неповнота гідролізу за температур нижче  $+4$  °С, що призводить до появи йонів алюмінію у водопровідній мережі (це неприпустиме через високу токсичність йонів алюмінію для живих організмів);

– зміна індексу стабільності води.

Відмічено ще одну екологічну проблему за використання солей алюмінію: крім вторинного забруднення води йонами алюмінію, додається забруднення газовою фазою CO<sub>2</sub> [1]. Додавання у воду Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> знижує її лужність. Процес супроводжується утворенням вільної карбонатної кислоти:

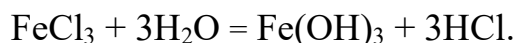
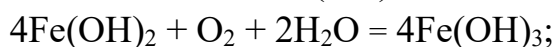
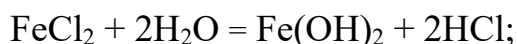
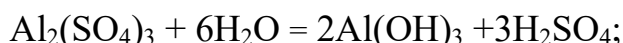


внаслідок чого підвищується агресивність води відносно бетону (будівельного матеріалу споруд) [3]. Корозійна активність робочих розчинів роблять їх небажаними в технології очистки питної води.

Коагуляція солей феруму практично не залежить від температурного режиму, ефективна в широкому інтервалі показника рН середовища. Заміна солей алюмінію на солі феруму в практиці методу коагуляції дозволить суттєво зменшити концентрацію органічних речовин у очищеній воді. Солі феруму ефективні в процесах очищення води з інтенсивним забарвленням, оскільки здатні утворювати стійкі комплексні сполуки з гуміновими речовинами. Недоліком феруму(III) хлориду є здатність катіонів феруму утворювати кольорові комплекси з деякими органічними лігандами, присутніми у воді. При цьому забарвленість води зростає [1].

Використання змішаних коагулянтів дозволяє позбутися недоліків, які мають окремі сполуки, і набути ряд цінних якостей.

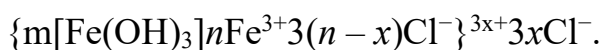
Коагуляція як солями алюмінію, так і феруму супроводжується підвищенням кислотності води, тобто в результаті їх гідролізу розчин стає корозійно активним. Цей недолік усувається додаванням у воду лужних реагентів, найчастіше Ca(OH)<sub>2</sub>. Гідроксиди тривалентного феруму мають найменшу розчинність порівняно з іншими, їх гідроліз менше залежний від рН та температури води. Разом із тим у технології водоочистки частіше використовують солі FeSO<sub>4</sub>, як відносно дешеві. Коагулянт Fe(OH)<sub>2</sub>, що утворюється під час гідролізу двовалентного феруму, більш розчинний порівняно з Fe(OH)<sub>3</sub>. З метою отримання Fe(OH)<sub>3</sub> в процесі обробки води реагентом FeSO<sub>4</sub> двовалентні йони феруму окиснюють до Fe<sup>3+</sup>, інтенсифікуючи процес додаванням до води лугу у вигляді вапняного молока:



Розробки науковців у напрямку пошуку нових реагентів дозволили отримати гідроксосульфати та гідроксохлориди алюмінію, які характеризуються

підвищеною основністю, майже повністю гідролізуються у воді, що дозволяє знизити залишок алюмінію у очищеній воді [1].

Електроліти, здатні до гідролізу, дестабілізують стійкі водні суспензії та емульсії. Вони гідролізуються з утворенням золів гідроксидів металів. Колоїдні частинки гідроксидів металів позитивно заряджені, мають значну питому поверхню та високі адсорбційні властивості відносно розчинних та колоїдно-розчинних домішок води:



Агрегативна стійкість системи характеризується наявністю енергії поверхневого шару диспергованих компонентів та подвійного електричного шару на поверхні утвореної твердої фази. Тому важливою характеристикою коагуляційного процесу може бути зміна  $\xi$ -потенціалу. Електрокінетичний потенціал  $\xi$  (визначають методом електрофорезу) виникає в динаміці потоку на межі дотику поверхонь колоїдних дисперсій, і для домішок природної води становить приблизно 70 мВ. Його зменшення вказує на послаблення агрегативної стійкості дисперсної системи [1].

Вивчення залежності електрокінетичного потенціалу від концентрації коагулянту показало, що за однакових умов алюміній гідроксохлорид (АГХС) –  $\text{Al}_n(\text{OH})_{(3n-m)}\text{Cl}_m$  –  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$  швидше зменшує  $\zeta$ -потенціал, ніж алюміній сульфат. Результати досліджень свідчать, що заміна традиційного алюміній сульфату на алюміній гідроксохлорид підвищує показники якості очищення води [4].

Переваги алюмінієвих коагулянтів підвищеної основності порівняно із сульфатом алюмінію, що традиційно застосовується, очевидні, проте в Україні переважає виробництво останнього. Гідроксохлориди ефективніші, ніж сульфат алюмінію, але дорогі, що й стримує їх впровадження.

### Список використаних джерел

1. Шкавро З.М., Антонюк Н. Г. Теорія та практика використання коагулянтів у технології її водоочищення. Наукові записки. Хімічні науки та технології. 2014. Том 157. С. 65–78.
2. Запольський А. К. Фізико-хімічна теорія очищення води коагулюванням сульфатом алюмінію. Вода і водоочисні технології. 2012. № 4(6). С. 4–14.
3. Кульський Л. А. Теоретичні основи та технологія кондиціонування води. Київ: Наукова думка, 1980. 564 с.
4. Мельник О.Д., Пукіш А.В. Дослідження процесу коагуляції в технології очищення бурових стічних вод. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2010. № 2(35). С. 125–128.

# ЗМІСТ

## Секція 1

### *Інноваційні напрямки розробки функціональних матеріалів та покриттів*

<i>Зайчук О. В., Амеліна О. А., Гордєєв Ю. С., Каліщенко Ю. Р.</i> Надвисокочастотна радіопрозора кераміка кордієритового складу.....	6
<i>Білогубкіна К. В.</i> Термодинамічні розрахунки хімічної стійкості фаз в межах системи $\text{BaO-ZnO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ по відношенню до різних реагентів.....	10
<i>Саввова О. В., Бражник Г. О.</i> Керамічна плитка як важливий цільовий продукт для галузі будівництва та архітектури.....	15
<i>Гайдаєнко О. В., Пархомова Н. С., Зальотін В. С.</i> Застосування планів Бокса-Бенкена у розв'язанні оптимізаційних задач синтезу будівельних матеріалів.....	18
<i>Гожа М. М., Саввова О. В., Воронов Г. К., Тимошук І. В.</i> Оптимальні шляхи знебарвлення скляної тари.....	20
<i>Гопко А. О., Саввова О. В., Байрамов Е. С. О.</i> Біоактивні скаффолди для тканинної інженерії кісткової тканини.....	22
<i>Григоров А. Б., Гордієнко Д. О.</i> Використання нових полімервмісних ізоляційних матеріалів при міському будівництві.....	24
<i>Єфімов О. О., Саввова О. В., Воскобойник М. В.</i> Перспективність застосування світлонакопичувальних пігментів для фотолюмінесцентних облицювальних матеріалів.....	27
<i>Казмиренко Ю. О., Таранущенко В. В.</i> Моделювання структури скло композитів стратегічного призначення.....	29
<i>Картишев С. В., Федоренко О. Ю., Плохотнікова К. А.</i> Використання лужних каолінів у виробництві керамогранітних плит.....	32
<i>Климов М. В., Саввова О. В., Шаповал В. М.</i> Металізовані гранілі для декорування керамограніту.....	36
<i>Лисак Н. М., Скородумова О. Б., Чернуха А. А.</i> Вплив ортофосфатної кислоти на властивості вогнезахисного покриття на поверхні пінополістиролу.....	38
<i>Луговой І. І., Саввова О. В., Воскобойник М. В.</i> Перспективні напрямки утилізації відходів при виробництві керамограніту.....	40
<i>Меркулова А. І.</i> Моделювання процесу деформування багатошарового скла у будівництві при ударному навантаженні.....	42

<i>Монахов С. В., Федоренко О. Ю., Гуровий Д. В.</i> Гібридні теплоізоляційні покриття для будівельних конструкцій і комунікацій.....	44
<i>Покроєва Я. О., Саввова О. В., Тимошук М. І., Куценко Є. Є.</i> Легкоочисні глазури для керамічної плитки.....	46
<i>Khrystych O., Tkachenko M.</i> Creation of composite materials for radiation protection systems.....	48
<i>Тур О. Г., Саввова О. В., Воронов Г. К., Довгопол А. В.</i> Наноструктуровані прозорі склокристалічні матеріали для лазерної техніки.....	50
<i>Тюріна О. І., Саввова О. В., Фесенко О. І., Буханцова Д. В.</i> Склокристалічні матеріали на основі дисилікату літію стоматологічного призначення.....	52
<i>Фалько Т. В., Саввова О. В., Воронов Г. К., Годійчук В. М.</i> Сучасні технології удосконалення модифікації поверхні скляної тари медичного призначення.....	54
<i>Хоменко О. С.</i> Вплив шорсткості поверхні керамічної цегли на якість ангобованих покриттів.....	57

## **Секція 2**

### ***Теорія та практика хімічних технологій у кризових ситуаціях***

<i>Miroshnichenko D., Kravchenko S., Stelmachenko S.</i> Modeling of coke distribution in a dry quenching zone.....	61
<i>Miroshnichenko D., Lebedev V., Lysenko L.</i> Efficient use of brown coal in Ukraine.....	64
<i>Miroshnichenko D., Zelenskii O., Soloviov Y.</i> The influence of organic and inorganic additives on the specific electrical resistance of coke.....	68
<i>Банніков А. Л., Карножицький П. В., Бічев М. С.</i> Причини деградації вбирної оливи.....	72
<i>Дрозд О. В., Васильєв О. В.</i> Інформаційна підтримка експертизи та повторного використання сталевих елементів зруйнованих авто.....	77
<i>Мірошніченко Д. В., Сагалай Д. В., Шмельцер К. О., Кормер М. В.</i> Дослідження впливу сировинних та технологічних факторів на сорбційні властивості коксу.....	81
<i>Чемеринський М. С., Попова В. В.</i> Відновлювані природні ресурси як заміна пластику.....	84

### Секція 3

#### Електрохімія та корозія

<i>Апалькова В. Є., Пилипенко О. І.</i> Застосування технології анодного окислення поверхні титану та титанових сплавів у виробках медичного призначення.....	87
<i>Нестеренко С. В., Бічев М. С.</i> Вибір конструкційних матеріалів обладнання на коксохімічному підприємстві.....	89
<i>Sakhnenko M., Zhelavska Yu., Zyubanov S., Dzheniuk A., Horokhivska N., Proskurina V.</i> Cobalt-vanadium coating electrodeposition via pulse mode» .....	92
<i>Ненастіна Т. О., Романюк А. Д., Сахненко М. Д., Маркова Н. Б.</i> Полілігандний електроліт для формування композиційних покриттів Co-Mo-WO <sub>x</sub> .....	97
<i>Пилипенко О. І., Щербина С. С.</i> Електрохімічне полірування як метод обробки поверхні металів.....	101

### Секція 4

#### Актуальні інноваційні напрями розвитку об'єктів цивільної інженерії

<i>Нестеренко С. В., Бічев М. С., Головка А. О.</i> Створення нової лакофарбової композиції "ФОС" для захисту металоконструкцій від корозії.....	104
<i>Владико О. О., Глоба Ю. А., Карімов Е. М., Маркуш Н. В., Кот А. Г, Гуріна Г. І.</i> Перспективні екологічно чисті лакофарбові матеріали.....	108
<i>Саєнко Н. В., Коломієць К. С., Роменська Ю. В.</i> Спрямоване регулювання горючості лакофарбових покриттів.....	116
<i>Коврига А. В., Скрипинець А. В.</i> Використання натуральних волокон для покращення звукопоглинальних характеристик полімерних матеріалів та забезпечення екологічної безпеки.....	118

### Секція 5

#### Моніторинг та захист навколишнього середовища

<i>Бабіч О. В., Зінченко І. В.</i> Вплив організмів та популяцій одного виду на інші.....	123
<i>Бардакова К. В., Масальський Ю. В., Фесенко О. І., Зайцева І. С.</i> Керамічні мінералізатори для систем очистки побутової питної води.....	125

<i>Зайцева І. С., Булавіна Д. А.</i> Вилучення катіонів важких металів з розчинів методом йонного обміну.....	130
<i>Сорокіна К.Б., Карпук Д. С.</i> Використання біоплато для очищення стічних вод фармацевтичної промисловості.....	134
<i>Бабіч О. В., Козло Д. О.</i> Вплив сучасного виробництва керамічних виробів на навколишнє середовище.....	139
<i>Наливайко О. І., Мележик А. В., Ромашко О. В.</i> Покращення технологічних параметрів тампонажних розчинів для кріплення обсадних колон свердловин.....	141
<i>Радіонов В. С.</i> Управління органічними відходами як імператив захисту навколишнього середовища.....	146
<i>Халін В.П.</i> Інноваційні розробки у сфері екологічних функціональних матеріалів.....	151
<i>Яковлєва П. Є., Панайотова Т. Д.</i> Екологічні аспекти використання коагулянтів в процесах водоочищення.....	153



*Електронне наукове видання*

# **БЕКЕТІВСЬКІ ХІМІЧНІ ЧИТАННЯ. ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА КРИЗОВИХ СИТУАЦІЙ**

***МАТЕРІАЛИ***

***міжнародної конференції для молодих вчених,  
аспірантів та магістрів  
(7–9 листопада 2023 року)***

*Матеріали конференції наведено в авторській редакції  
мовою оригіналу*

Відповідальний за випуск *І. С. Зайцева*

Технічний редактор *О. І. Фесенко*

Підп. до друку 01.12.2023. Формат 60 × 84/16.  
Ум. друк. арк. 9,4.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.  
Електронна адреса: office@kname.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 5328 від 11.04.2017.