

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

**Освіта для сталого майбутнього:  
екологічні, технологічні, економічні  
і соціокультурні питання**

---

*Колективна монографія*

Київ 2024

УДК 37:504+6+33+316.7

О-72

*Рецензенти:*

*Наталія ГРУЩИНСЬКА* – д-р екон. наук, проф., заступник директора Навчально-наукового інституту неперервної освіти Національного авіаційного університету;

*Галина САКАЛОВА* – д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри хімії та методики навчання хімії Вінницького державного педагогічного університету ім. М. Коцюбинського.

*Редактори:*

*Вікторія ПЛАВАН* – д-р техн. наук, проф., завідувачка кафедри хімічних технологій та ресурсозбереження Київського національного університету технологій та дизайну;

*Алла КАСИЧ* – д-р екон. наук, проф., завідувачка кафедри управління та смарт-іновацій Київського національного університету технологій та дизайну;

*Оксана БУТЕНКО* – д-р філос. з хімічних технологій та інженерії., ст. викл. кафедри хімічних технологій та ресурсозбереження Київського національного університету технологій та дизайну.

Рекомендовано Вченою радою  
Київського національного університету технологій та дизайну  
(Протокол № 4 від 22.11.2023)

О-72      *Освіта для сталого майбутнього: екологічні, технологічні, економічні і соціокультурні питання: колективна монографія за матеріалами Всеукраїнської наукової конференції / за ред. В. П. Плавана, А. О. Касич, О. О. Бутенко. Київ: КНУТД, 2024. 308 с.*

ISBN 978-617-7763-32-0

Монографія містить матеріали Всеукраїнської наукової конференції «Освіта для сталого майбутнього: екологічні, технологічні, економічні і соціокультурні питання», яка відбулася 18 жовтня 2023 року в Київському національному університеті технологій та дизайну. У монографії розглядаються питання сталого розвитку економіки і підприємництва, співпраці освіти, науки, бізнесу та громадських інституцій у контексті цілей сталого розвитку. Однією з передумов сталого майбутнього безумовно є інноваційний розвиток технологій та енергетична безпека, зокрема на особливу увагу заслуговують технології захисту навколишнього середовища і переробки відходів. Не залишилися поза увагою соціокультурні питання сталого розвитку, зокрема впровадження концепції кліматичної нейтральності в діяльність закладів освіти.

**УДК 37:504+6+33+316.7**

*Відповідальність за зміст публікацій несуть автори.*

ISBN 978-617-7763-32-0

© Колектив авторів, 2024

© КНУТД, 2024

## ЗМІСТ

|                                      |                                                                                                                                             |           |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>АВТОРИ КОЛЕКТИВНОЇ МОНОГРАФІЇ</b> |                                                                                                                                             | <b>6</b>  |
| 1                                    | <b>Наративи реалізації принципів неперервної освіти в сучасних умовах</b>                                                                   | <b>8</b>  |
|                                      | Н.М. Грущинська                                                                                                                             |           |
| 2                                    | <b>Зелене будівництво у відновленні України</b>                                                                                             | <b>11</b> |
|                                      | Т.І. Кривомаз, А.М. Циба, І.С. Ільченко, Р.О. Гамоцький                                                                                     |           |
| 3                                    | <b>Віртуальні лабораторії Labster - шлях до якісної освіти</b>                                                                              | <b>14</b> |
|                                      | В.А. Потаскалов, І.В. Лісовська, Н.В. Тарасенко                                                                                             |           |
| 4                                    | <b>Композиційні матеріали для літєвих елементів на основі поліфторвуглецю</b>                                                               | <b>21</b> |
|                                      | А. О. Стоцький, В. Г. Хоменко                                                                                                               |           |
| 5                                    | <b>Практика впровадження дистанційного навчання на платформі Moodle у вітчизняних ЗВО</b>                                                   | <b>26</b> |
|                                      | І. О. Коваленко                                                                                                                             |           |
| 6                                    | <b>Стратегічні орієнтири розвитку вищої школи України в умовах воєнного стану</b>                                                           | <b>32</b> |
|                                      | О. В. Черниш                                                                                                                                |           |
| 7                                    | <b>Сталий екологічний розвиток закладів освіти на основі концепції кліматичної нейтральності</b>                                            | <b>38</b> |
|                                      | В. П. Плавач                                                                                                                                |           |
| 8                                    | <b>Імплементация екологічних норм ЄС в законодавство України як елемент сталого екологічного розвитку</b>                                   | <b>44</b> |
|                                      | А. М. Савченко                                                                                                                              |           |
| 9                                    | <b>Органічні відходи, як джерело біогазу</b>                                                                                                | <b>48</b> |
|                                      | Р. О. Залєвська, Г. В. Сакалова                                                                                                             |           |
| 10                                   | <b>Ефективність сучасних методів очищення стічних вод гальванічних виробництв</b>                                                           | <b>52</b> |
|                                      | В. С. Погребєць, О. В. Кислова                                                                                                              |           |
| 11                                   | <b>Використання відпрацьованих сорбентів в синтезі полімерних матеріалів</b>                                                                | <b>59</b> |
|                                      | Л. Р. Посмітюх, Г. В. Сакалова                                                                                                              |           |
| 12                                   | <b>Екологічні аспекти та технологічний напрям використання сульфатованого галактану з чорноморської червоної водорості «Філофора Броді»</b> | <b>64</b> |
|                                      | О. П. Сумська, Н. В. Панченко                                                                                                               |           |
| 13                                   | <b>Ринкові аспекти використання карбонату кальцію в якості наповнювача для поліетилену</b>                                                  | <b>71</b> |
|                                      | Б. М. Савченко, О. О. Слєпцов, Є. С. Булгаков                                                                                               |           |
| 14                                   | <b>Екологічні підходи при виборі полімерної матриці для композитних екрануючих покриттів</b>                                                | <b>75</b> |
|                                      | В. В. Черниш, О. О. Бутенко                                                                                                                 |           |
| 15                                   | <b>Інноваційні технології адитивного виробництва – проблеми та перспективи</b>                                                              | <b>80</b> |
|                                      | О. О. Слєпцов, С. І. Осауленко, О. А. Осипенко, Я. М. Грищенко                                                                              |           |
| 16                                   | <b>Обґрунтування вибору електролітів цинкування з точки зору їх екологічної безпеки</b>                                                     | <b>85</b> |
|                                      | І.М. Костишин, О. О. Бутенко                                                                                                                |           |
| 17                                   | <b>Проблеми та перспективи повторної переробки ПВХ</b>                                                                                      | <b>89</b> |
|                                      | А. П. Савчук, Н. В. Сова                                                                                                                    |           |

|    |                                                                                                                                                  |     |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 18 | <b>Регулювання властивостей вторинного поліетилену методом механо-хімічного модифікування</b>                                                    | 93  |
|    | В. Д. Мишак, В. В. Семиног, В. В. Мужев                                                                                                          |     |
| 19 | <b>Перспективні методи переробки фосфатвмісної сировини</b>                                                                                      | 97  |
|    | М. С. Деревчинська, Т. М. Василінич                                                                                                              |     |
| 20 | <b>Біорозкладна тара виготовлена методом роздуву</b>                                                                                             | 100 |
|    | І. О. Ляшок, О. В. Іщенко, І. В. Опанащук, М. В. Іваськів                                                                                        |     |
| 21 | <b>Еластомерні гідрогелеві матеріали на основі рослинних екстрактів</b>                                                                          | 105 |
|    | І. О. Ляшок, В. А. Денисюк, І. Ю. Вишталюк, Ю. Є. Єршова, Д. О. Антоненко                                                                        |     |
| 22 | <b>Екологічні перспективи застосування рослинних барвників</b>                                                                                   | 110 |
|    | І. О. Ляшок, О. В. Іщенко, О. Г. Жукова, М. М. Полушкін, М. О. Ляшок                                                                             |     |
| 23 | <b>Екологічне пакування: сучасні тенденції</b>                                                                                                   | 115 |
|    | О. В. Іщенко, Т. М. Ткаченко, В. А. Соколовський, А. Л. Мельниченко                                                                              |     |
| 24 | <b>Технології одержання плівок на основі модифікованих полісахаридів</b>                                                                         | 120 |
|    | О. В. Іщенко, Р. А. Веселовський, А. І. Мельник, А. А. Кириченко                                                                                 |     |
| 25 | <b>Медичні вироби на основі гідрогелів</b>                                                                                                       | 125 |
|    | О. В. Іщенко, І. О. Ляшок, І. В. Охріменко, І. М. Рубан                                                                                          |     |
| 26 | <b>Тара та упаковка на основі біополімерів</b>                                                                                                   | 130 |
|    | О. В. Іщенко, Р. М. Москаль, І. В. Фролова, А.-М. В. Олексієнко                                                                                  |     |
| 27 | <b>Реологія полімерних вогнезахисних покриттів для сталевих конструкцій</b>                                                                      | 135 |
|    | А. Р. Вахітов, К. В. Калафат, В. І. Шологон, Л. М. Вахітова, Н. А. Таран, В. І. Бессарабов                                                       |     |
| 28 | <b>Розробка композицій поліетилен/поліанілін за технологією екструзії</b>                                                                        | 145 |
|    | Д. С. Новак, В. В. Козлов, М. В. Мусієнко                                                                                                        |     |
| 29 | <b>Розробка гнучких полівінілхлорид/поліанілін композитів</b>                                                                                    | 152 |
|    | Д. С. Новак, Д. О. Шакур, А. В. Бишовець, Д. М. Кириленко                                                                                        |     |
| 30 | <b>Вплив полімерної основи на електричні властивості захисних покриттів</b>                                                                      | 158 |
|    | О. О. Слепцов, Р. Ф. Свістільнік, Т. Р. Федорів                                                                                                  |     |
| 31 | <b>Полімерні композити з регульованим вологопоглинанням</b>                                                                                      | 162 |
|    | Н. В. Сова, Л. В. Розвора                                                                                                                        |     |
| 32 | <b>Стратегія циклічної економіки в організації переробки полімерних відходів</b>                                                                 | 166 |
|    | Б. М. Савченко, Б. П. Савчук                                                                                                                     |     |
| 33 | <b>Стабільність гетерометалічних комплексів Co(III)-Ni(II) з аміноспиртами в метанольних розчинах, які застосовуються в електрокаталізаторах</b> | 171 |
|    | І. С. Кузеванова, А. О. Зульфигаров, О. О. Андрійко, Н. Є. Власенко, І. В. Коваленко, В. А. Потаскалов                                           |     |
| 34 | <b>Інноваційні підходи у виробництві вогнестійких шкір</b>                                                                                       | 175 |
|    | І. А. Лісов, О. Р. Мокроусова, О. А. Охмат                                                                                                       |     |
| 35 | <b>Вплив оксиду металу на властивості стану поверхні</b>                                                                                         | 180 |
|    | І. С. Макєєва, Н. Б. Грущак                                                                                                                      |     |
| 36 | <b>Неплатиновий каталізатор відновлення кисню для метал-повітряних батарей</b>                                                                   | 186 |
|    | Д. В. Патлун, М. І. Гук, Л. Г. Щербакова, В. Г. Хоменко                                                                                          |     |

- 37 **Порівняння механічних властивостей пластмас, виготовлених із вторинної сировини методом лиття під тиском** 191  
С. В. Пристинський, В. П. Плаван, А. М. Гриценко, Д. О. Малишко, Р. О. Шуляк
- 38 **Оздоблювальні покриття на водній основі: екологічні, економічні і технологічні особливості** 197  
В. П. Плаван, А. І. Колодій, Д. М. Бойчук
- 39 **Гібридні електрохімічні конденсатори надвисокої електричної ємності** 203  
А. О. Верещак, Д. В. Патлун, В. Г. Хоменко
- 40 **Реалізація цілей сталого розвитку в період повоєнного відновлення** 208  
А. О. Касич
- 41 **Повторне використання та переробка текстилю** 241  
Є. О. Романюк, В. В. Скідан, А. В. Курушкіна, М. А. Музиченко
- 42 **Станіслав Оріховський про державно-правові інститути ( I пол. XVI ст.)** 245  
Р. В. Множинська, Д. В. Яковенко
- 43 **Протезні лайнери та перспективи використання натуральної шкіри для їх розробки** 251  
І. Б. Юнгін, О. Р. Мокроусова
- 44 **Методи неруйнівного контролю та можливості їх використання для контролю якості продукції адитивних технологій** 257  
О. А. Крюкова, О. В. Павлій
- 45 **Застосування ультразвукового методу контролю готових металевих виробів адитивного виробництва** 266  
С. Г. Глабець, І. Я. Кухта, О. А. Крюкова
- 46 **Дослідження можливостей використання дріжджів для синтезу наночасток металів** 273  
О. О. Луцій, М. В. Макаренко, В. В. Морін, І. О. Грецький, О. А. Шидловська
- 47 **Особливості будови та властивості папаїну** 285  
І. В. Копитіна, О. А. Андреева
- 48 **Дослідження сучасних модифікованих жирувальних матеріалів** 290  
А. В. Заєць, О. А. Андреева
- 49 **Наукова спадщина мистецтвом дизайну та туристичними індустріями** 295  
Т. Г. Щербатюк, Т. О. Букорос
- 50 **Мікробні агробіотехнології як складова сталого екологічного розвитку агросектору України у воєнний та поствоєнний період** 300  
О. О. Калініченко, М. М. Котляр, О. С. Юнгін

## АВТОРИ КОЛЕКТИВНОЇ МОНОГРАФІЇ

|                   |                              |                    |                    |
|-------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|
| Андрєєва О.А.     | 285,290                      | Коваленко І.В.     | 171                |
| Андрійко О.О.     | 171                          | Коваленко І.О.     | 26                 |
| Антоненко Д.О.    | 105                          | Козлов В.В.        | 145                |
| Бессарабов В.І.   | 135                          | Колодій А. І.      | 197                |
| Бишовець А.В.     | 152                          | Копитіна І.В.      | 285                |
| Бойчук Д. М.      | 197                          | Костишин І.М.      | 85                 |
| Букорос Т.О.      | 295                          | Котляр М.М.        | 300                |
| Булгаков Є.С.     | 71                           | Кривомаз Т.І.      | 11                 |
| Бутенко О.О.      | 75, 85                       | Крюкова О.А.       | 257, 266           |
| Василінич Т.М.    | 97                           | Кузеванова І.С.    | 171                |
| Вахітов А.Р.      | 135                          | Курушкіна А.В.     | 241                |
| Вахітова Л.М.     | 135                          | Кухта І.Я.         | 266                |
| Верещак А.О.      | 203                          | Лісовська І.В.     | 14                 |
| Веселовський Р.А. | 120                          | Ліясов І.А.        | 175                |
| Вишталюк І.Ю.     | 105                          | Луцій О.О.         | 273                |
| Власенко Н.Є.     | 171                          | Ляшок І.О.         | 100, 105, 110, 125 |
| Гамоцький Р.О.    | 11                           | Ляшок М.О.         | 110                |
| Глабець С.Г.      | 266                          | Макаренко М.В.     | 273                |
| Грецький І.О.     | 273                          | Макєєва І.С.       | 180                |
| Гриценко А.М.     | 191                          | Малишко Д.О.       | 191                |
| Грищенко Я.М.     | 80                           | Мельник А.І.       | 120                |
| Грущак Н.Б.       | 180                          | Мельниченко А.Л.   | 115                |
| Грущинська Н.М.   | 8                            | Мишак В.Д.         | 93                 |
| Гук М.І.          | 186                          | Множинська Р.В.    | 245                |
| Денисюк В.А.      | 105                          | Мокроусова О.Р.    | 175, 251           |
| Деребчинська М.С. | 97                           | Морін В.В.         | 273                |
| Єршова Ю.Є.       | 105                          | Москаль Р.М.       | 130                |
| Жукова О.Г.       | 110                          | Мужев В.В.         | 93                 |
| Засєць А.В.       | 290                          | Музиченко М.А.     | 241                |
| Залєвська Р.О.    | 48                           | Мусієнко М.В.      | 145                |
| Зульфїгаров А.О.  | 171                          | Новак Д.С.         | 145, 152           |
| Іваськів М.В.     | 100                          | Олексієнко А.-М.В. | 130                |
| Ільченко І.С.     | 11                           | Опанащук І.В.      | 100                |
| Іщенко О.В.       | 100, 110, 115, 120, 125, 130 | Осауленко С.І.     | 80                 |
| Калафат К.В.      | 135                          | Осипенко О.А.      | 80                 |
| Калініченко О.О.  | 300                          | Охмат О.А.         | 175                |
| Касич А.О.        | 208                          | Охріменко І.В.     | 125                |
| Кириленко Д.М.    | 152                          | Павлій О.В.        | 257                |
| Кириченко А.А.    | 120                          | Панченко Н.В.      | 64                 |
| Кислова О.В.      | 52                           | Патлун Д.В.        | 186, 203           |

|                   |              |                 |              |
|-------------------|--------------|-----------------|--------------|
| Плаван В.П.       | 38, 191, 197 | Таран Н.А.      | 135          |
| Погребець В.С.    | 52           | Тарасенко Н.В.  | 14           |
| Полушкін М.М.     | 110          | Ткаченко Т.М.   | 115          |
| Посмітюх Л.Р.     | 59           | Федорів Т.Р.    | 158          |
| Потаскалов В.А.   | 14, 171      | Фролова І.В.    | 130          |
| Пристинський С.В. | 191          | Хоменко В.Г.    | 21, 186, 203 |
| Розвора Л.В.      | 162          | Циба А.М.       | 11           |
| Романюк Є.О.      | 241          | Черниш В.В.     | 75           |
| Рубан І.М.        | 125          | Черниш О.В.     | 32           |
| Савченко А.М.     | 44           | Шакун Д.О.      | 152          |
| Савченко Б.М.     | 71, 166      | Шидловська О.А. | 273          |
| Савчук А.П.       | 89           | Шологон В.І.    | 135          |
| Савчук Б.П.       | 166          | Шуляк Р.О.      | 191          |
| Сакалова Г.В.     | 48, 59       | Щербакова Л.Г.  | 186          |
| Свістільнік Р.Ф.  | 158          | Щербатюк Т.Г.   | 295          |
| Семиног В.В.      | 93           | Юнгін І.Б.      | 251          |
| Скідан В.В.       | 24           | Юнгін О.С.      | 300          |
| Слєпцов О.О.      | 71, 80, 158  | Яковенко Д.В.   | 245          |
| Сова Н.В.         | 89, 162      |                 |              |
| Соколовський В.А. | 115          |                 |              |
| Стоцький А.О.     | 21           |                 |              |
| Сумська О.П.      | 65           |                 |              |

## **НАРАТИВИ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРИНЦИПІВ НЕПЕРЕРВНОЇ ОСВІТИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ**

**НМ ГРУЩИНСЬКА**

*Навчально-науковий інститут неперервної освіти Національного авіаційного  
університету, проспект Любомира Гузара, 1, Київ, 03085,  
[Nataliia.hrushchynska@npp.nau.edu.ua](mailto:Nataliia.hrushchynska@npp.nau.edu.ua)*

В статті проведено аналіз особливостей реалізації принципів неперервної освіти в Україні актуалізації розвитку м'яких навичок в сучасних трансформаційних умовах соціуму. Зазначено, що поява нових професій обумовлюється потребами суспільства і цінностями, що обумовлює необхідність застосування інноваційних форм в освітній діяльності та актуалізує постійну (неперервну) освіту протягом життя. Розвиток штучного інтелекту, роботизація, майбутнє, що продиктоване четвертою промисловою революцією вимагатиме надання всім робочих місць, які значно трансформуються в ході активної автоматизації. Штучний інтелект (ШІ) швидко трансформує різні галузі, і збереження навколишнього середовища та зміна клімату не є винятком. Сучасний світ трансформує спосіб життя людини, форми спілкування, змінює особливості взаємовідносин, погляди на однакові речі, манери спілкування, і в решті решт, цінності. Важливим є розвиток самосвідомості та соціальної свідомості кожної особистості.

Технологічні устрої майбутнього формуються Четвертою промисловою революцією, постіндустріальним розвитком, світовими трансформаціями. Якщо галузями шостого технологічного укладу є біотехнології, нанотехнології, робототехніка, високі гуманітарні технології, нове природокористування, то сьомий і восьмий технологічні устрої пов'язані з розвитком пс технологій, технологіями свідомості, відповідальності особистості. Емоційний інтелект — здатність розпізнавати свої почуття й емоції, розуміти стан і настрій співрозмовника. Саме емоційний інтелект дає гнучкість пристосування до нових умов, можливість займатися самоосвітою і змінювати професії та види роботи. Відповідно, розвиток емоційного інтелекту конче необхідний.

Роботодавцям, які серйозно ставляться до досягнення ефективності та продуктивності завдяки щасливим співробітникам, потрібно забезпечувати працівникам можливість виконувати цікаву, значущу, наповнену сенсом та цілеспрямовану роботу, розвивати добрі стосунки та відчувати успіх досягнень. Саме тому особливого значення набувають навички 21 століття (soft skills) як такі, що допомагають реалізовувати

власні життєві плани та досягати життєві цілі, побудувати кар'єру, ефективно реагувати на нові виклики. Навички 21 століття допомагають людині зробити життя ефективним, цікавим, комфортним, займатись власним навчанням та саморозвитком, критично мислити, розвинути лідерські якості, креативність, які сприятимуть ефективній роботі з різними сучасними джерелами інформації, її критичному аналізу та осмисленню; озброюватимуть новітніми методами дослідження реальності майбутнього фахівця; самоосвіті кожної особистості; сприянні набуття досвіду навчання у співпраці та кооперації з іншими; створення та реалізації власних проєктів.

Тенденції розвитку світу дають основу для припущення, що робота в майбутньому вимагатиме набагато більше емоційного інтелекту, аби доповнити надскладні машини, з якими нам доведеться працювати. Майбутнє продиктоване четвертою промисловою революцією, яке з одного боку сприятиме зростанню населення, фізичного здоров'я та з іншого — вимагатиме надання всім робочих місць, які значно трансформуються в ході активної автоматизації. Важливим є розвиток самосвідомості та соціальної свідомості кожної особистості. Враховуючи активний розвиток штучного інтелекту, який дозволяє домінувати машині над людиною в когнітивному напрямі, автоматизації, поступово замінюючи ручну працю, емоційне середовище залишається визначальним для людини.

Саме тому, зміни майбутніх професій повинні відбуватись з фокусуванням на творчості, зв'язку з іншими та самореалізації, що є можливим при розвинутому емоційному інтелекті.

Важливим є розвиток самосвідомості та соціальної свідомості кожної особистості. Враховуючи активний розвиток штучного інтелекту, який дозволяє домінувати машині над людиною в когнітивному напрямі, автоматизації, поступово замінюючи ручну працю, емоційне середовище залишається визначальним для людини.

Саме тому, зміни майбутніх професій повинні відбуватись з фокусуванням на творчості, зв'язку з іншими та самореалізації, що є можливим при розвинутому емоційному інтелекті. Цифрова економіка — це економіка майбутнього і існування в її умовах потребує ефективного стрессостійкого і емоційно стабільного людства. Працівники потребуватимуть швидких змін в професійній сфері, що вимагатиме їх психологічних трансформацій.

На сучасному етапі, вищими темпами зростає попит на кваліфікованих працівників. А оскільки вітчизняний ринок за таку робочу силу конкурує з європейським ринком, де аналогічні посади оплачуються значно вище, то проблема нестачі кваліфікованої робочої сили в Україні може суттєво загостритись вже в найближчі роки. Важливим в даних питаннях залишаються питання перекваліфікації та підвищення кваліфікації працівників.

### Література

- 1.D.Desteno (2020). *Syla emocyj.- Pereklad z anghlijskoji: Ju.Konstantynova* [The power of emotions]- 2020 – s. 222 (in Ukraine)
- 2.E.Shejn (2019). *Pomoshhj. Pereklad I.Shaljnov* [Help]. 2019 – s. 192 (in Ukraine).
- 3.L.Vanderkam (2020). *Chuvstvo shtylja*. [Feeling calm]- s.288 (in Ukraine)
- 4.D.Viktor (2020). *Pepfakcyonyzm. Kak ghenepypovatj ydey*. [How to generate ideas]– s. 166 (in Ukraine)
- 5.Державна служба статистики України (<http://www.ukrstat.gov.ua>);
- 6.Державна служба зайнятості України. Офіційний веб-сайт (<http://www.dcz.gov.ua>).

## **ЗЕЛЕНЕ БУДІВНИЦТВО У ВІДНОВЛЕННІ УКРАЇНИ**

**ТІ КРИВОМАЗ, АМ ЦИБА, ІС ІЛЬЧЕНКО, РО ГАМОЦЬКИЙ**

*Київський національний університет будівництва та архітектури,  
Повітрофлотський проспект, 31, Київ, 03037, ecol@i.ua*

В планах по відновленню України акцентовано увагу на зелених технологіях побудованого середовища. Це передбачає мінімізацію негативного впливу на довкілля з підвищенням якості і комфорту будівель для забезпечення здоров'я людей.

### **1. Вступ**

Українці не можуть відкладати своє життя на завтра, тому не тільки докладають всі зусилля для наближення перемоги, але й розпочали відбудову України вже зараз. Створена Указом Президента 266/2022 Національна рада з відновлення України від наслідків війни виділяє три основні завдання: 1) розроблення плану заходів з післявоєнного відновлення та розвитку України; 2) визначення та напрацювання пропозицій щодо пріоритетних реформ, прийняття та реалізація яких є необхідними у воєнний і післявоєнний періоди; 3) підготовка стратегічних ініціатив, проектів нормативно-правових актів, прийняття і реалізація яких є необхідними для ефективної роботи та відновлення України у воєнний і післявоєнний періоди [1]. В планах по відновленню України акцентовано увагу на зелених технологіях побудованого середовища, що передбачають мінімізацію негативного впливу на довкілля з одночасним підвищенням якості і комфорту будівель для забезпечення здоров'я і безпеки людей [2].

### **2. Роль технологій зеленого будівництва у відбудові України**

Узагальнені стандарти зеленого будівництва green construction, green building, екологічне будівництво) охоплюють критерії планування, економки, управління, архітектури, інфраструктури, транспорту, енергоефективності, ресурсозбереження, землекористування, екології, здоров'я, якості, комфорту, безпеки, інновацій, мінімізації забруднень, відповідального поводження з відходами та соціально-культурні аспекти. Зелене відновлення України не тільки сприятиме переходу будівельної

галузі на якісно новий рівень, але й забезпечить впровадження найкращих стандартів побудованого середовища.

### *2.1 Управління зеленими будівельними проєктами*

Планування, реалізація та управління проєктами відбудови України здійснюватиметься згідно сучасній концепції ESG: E – environmental, S – social, G – governance. Це набір стандартів, які визначають турботу про довкілля (E – екологія), відносини організації зі співробітниками, постачальниками, клієнтами та суспільством (S – соціальні взаємодії), а також відповідність і справедливість управління (G – управління).

### *2.2 Ресурсозбереження*

В своїй основі зелене будівництво передбачає використання інноваційних технологій, спрямованих на енергоефективність, збереження природних ресурсів, стале землекористування та охорону біорізноманіття. На всіх етапах життєвого циклу будівельного проєкту здійснюється оцінка об'ємів використаної енергії, матеріальних ресурсів та викидів в навколишнє середовище. Кількісна та якісна оцінка впливів проводиться для визначення шляхів їх мінімізації.

### *2.3 Раціональне поводження з відходами*

Зелене будівництво застосовує принципи циркулярної економіки, що передбачає відновлення, повторне використання, раціональне споживання ресурсів. Будівельна галузь повинна працювати з більшою ефективністю використання ресурсів, уникаючи при цьому небезпечних матеріалів. Будівельні матеріали та конструкції повинні бути надійними і функціонувати якомога довше, тим самим мінімізуючи відходи та зменшуючи потребу у видобутку обмежених ресурсів. Це вимагає управління ланцюгами постачання і моделями споживання.

### *2.4 Якість і безпека побудованого середовища*

На батьківщині зеленого будівництва Великій Британії його становлення відбулося саме у повоєнний період і розпочалося з підвищення стандартів якості побудованого середовища. Досвід України

забезпечить світ новими технологіями диверсифікації ризиків у побудованому середовищі.

### *2.5 Інфраструктура та місцеві громади*

Згідно критеріям зеленого будівництва всі будівельні проєкти ще на етапі концепції насамперед узгоджуються з місцевими громадами. Нові будівлі мають органічно вписуватись в існуючу інфраструктуру і покращувати життя людей. Прозорість взаємовідносин будівельного бізнесу з державою та громадськістю – це необхідна передумова подолання корупції в Україні.

### **Висновки**

У зеленій відбудові України втілюються нові тенденції будівельної галузі шляхом поєднання сталості, інновацій та інклюзивності. Немає ніякого сенсу приносити старі проблеми у нове і відновлене побудоване середовище. Сектор будівництва повинен значно скоротити викиди парникових газів, впровадити сертифікацію відповідно до стандартів ЄС та застосовувати ресурсозберігаючі технології.

### **Література**

1. Указ Президента 266/2022 Національна рада з відновлення України від наслідків війни. <https://www.president.gov.ua/documents/2662022-42225> (дата доступу 13-10-2023).
2. План відновлення України. <https://recovery.gov.ua> (дата доступу 13-10-2023).

## ВІРТУАЛЬНІ ЛАБОРАТОРІЇ LABSTER - ШЛЯХ ДО ЯКІСНОЇ ОСВІТИ

ВА ПОТАСКАЛОВ, ІВ ЛІСОВСЬКА, НВ ТАРАСЕНКО

*Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,  
проспект Берестейський, 37, Київ, 03056, [kznh@kznh.kpi.ua](mailto:kznh@kznh.kpi.ua)*

Досліджено можливість використання платформи Labster для вивчення хімії у дистанційному режимі в умовах воєнного часу. Показано, що віртуальне середовище Labster, яке надає студентам можливість вивчати хімію в інтерактивному форматі, забезпечує більш ефективне засвоєння матеріалу студентами та значно підвищує їх мотивацію, що підтверджується збільшенням успішності студентів.

*Ключові слова:* платформа Labster, віртуальне середовище, вивчення хімії, дистанційний режим, якісна освіта у воєнний час, сталий розвиток.

Умови воєнного часу потребують удосконалення підходів до навчання студентів, особливо в тих галузях наук, в яких організація практичних і лабораторних занять в дистанційному режимі може виявитися складною. Завдяки платформі для віртуальних лабораторних занять Labster [1] студенти можуть продовжувати вивчати хімію, навіть якщо їхні навчальні заклади переведені в дистанційний режим. Labster - це віртуальний лабораторний дослідник, який дозволяє студентам відтворювати реальні хімічні експерименти в безпечному та контрольованому середовищі. Використання платформи Labster для вивчення хімії в дистанційному режимі шляхом виконання віртуальних лабораторних досліджень є актуальним для багатьох викладачів та студентів. Ця платформа надає можливість віртуально взаємодіяти з хімічними реакціями та процесами, дозволяє краще зрозуміти складні хімічні концепції [2].

*Мета дослідження* - використання віртуального середовища Labster для вивчення хімії в дистанційному режимі.

*Аналіз наукових досліджень і публікацій.*

Ефективність використання віртуального середовища для вивчення хімії в дистанційному режимі підтверджують наступні публікації. У дослідженні [3] було відзначено, що використання віртуальних

експериментальних платформ в хімічній лабораторії забезпечує студентам реалістичний досвід вивчення хімії, збільшує їх інтерес до предмету та допомагає краще його зрозуміти. Інше дослідження [4] показало, що використання моделювання віртуальних лабораторних робіт для вивчення різних дисциплін в дистанційному режимі виявилось ефективним для різних груп студентів, в тому числі студентів з різним рівнем знань та попереднім досвідом.

Деякі публікації [5, 6] також констатують, що використання віртуальної платформи може бути особливо корисним для студентів, які навчаються віддалено.

Отже, аналіз останніх досліджень підтверджує, що симуляційна платформа для наукових експериментів може бути ефективним інструментом для вивчення хімії в дистанційному режимі. Віртуальний лабораторіум забезпечує студентам можливість віртуальної взаємодії з хімічними процесами та матеріалами, що може забезпечити реалістичний та ефективний досвід навчання.

*Результати дослідження.* Дослідження ефективності використання платформи Labster для вивчення хімії у дистанційному режимі є важливим кроком у розвитку сучасної освіти.

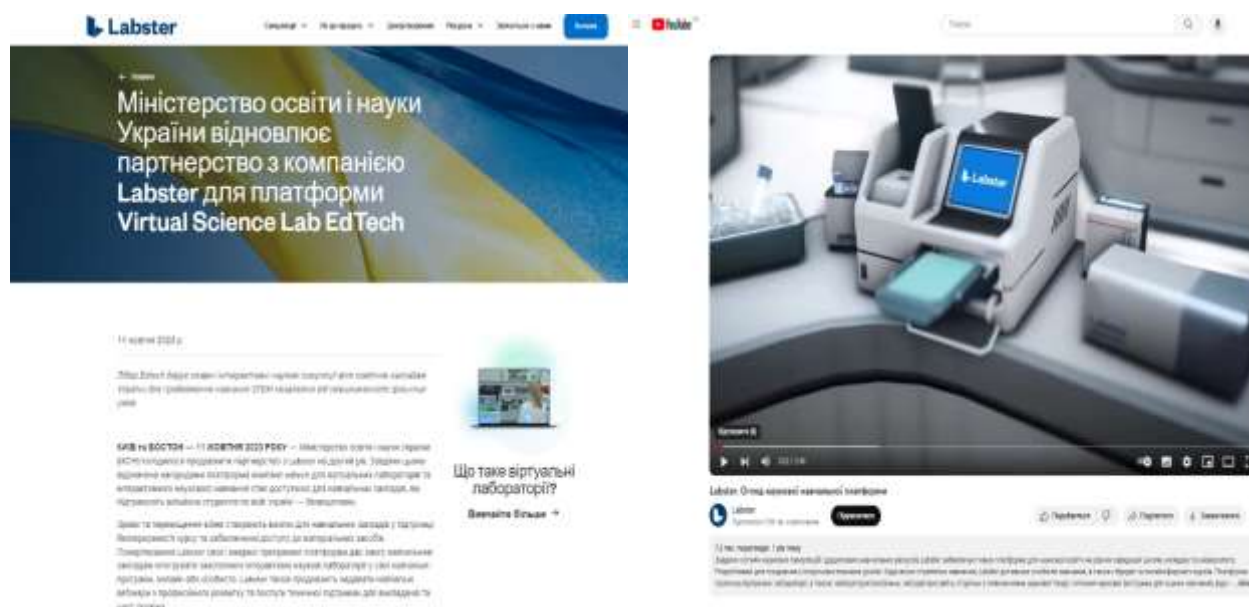


Рисунок 1 – Міністерство освіти і науки України продовжило партнерство з Labster

В 2022-2023 навчальному році на кафедрі Загальної та неорганічної хімії Київського політехнічного інституту ім. Ігоря Сікорського частині студентів першого рівня підготовки (бакалавр) напряму підготовки “161 Хімічні технології та інженерія” було запропоновано доповнити вивчення освітньої компоненти “Загальна хімія” виконанням віртуальних лабораторних робіт на платформі Labster. За власним бажанням 15 % від загальної кількості студентів виконували запропонований курс віртуальних лабораторних робіт. Вибір тематики лабораторних робіт було здійснено у відповідності до рекомендацій викладача та у відповідності до власних уподобань студентів. Студенти виконували симуляції з тем, що максимально наближені до силабуса освітньої компоненти: Хімічна безпека, Збалансування формул і рівнянь, Стехіометрія, Елементи та сполуки, Будова атома, Періодична система елементів, Іонні та ковалентні зв'язки, Приготування розчинів, Кислоти та основи, Окисно-відновні реакції, Електроліз тощо (рис. 2).

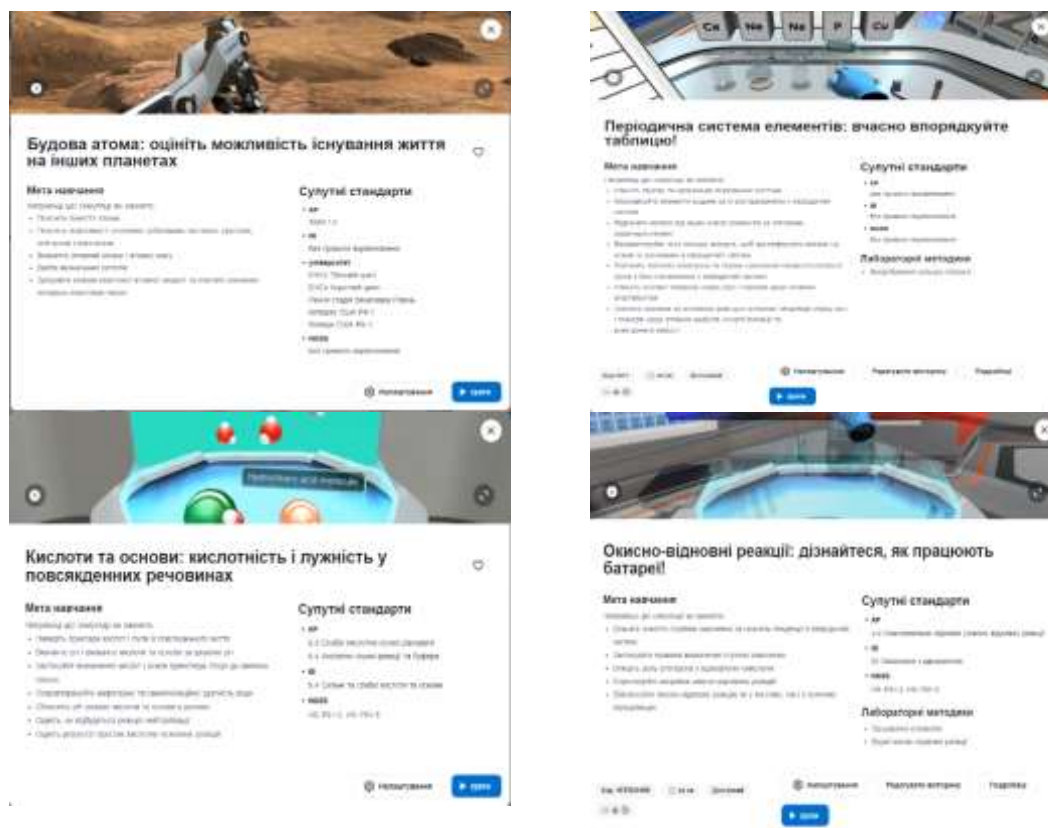


Рисунок 2 – Приклади віртуальних симуляцій Labster з хімії

Освітні ресурси Labster, які включають симуляції з вбудованими питаннями вікторини, теоретичні сторінки, анімаційні відео з поясненнями, посібники з лабораторних робіт і лабораторні звітні вправи, адаптовані до української мови та програми з природничих наук.

В результаті дослідження було показано, що використання платформи Labster наближає навчання до реальності, дозволяє студентам вивчати хімію в навколишньому середовищі, експериментувати з різними речовинами, досліджувати реакції та спостерігати за хімічними процесами в реальному часі.

Одним з основних результатів дослідження є те, що віртуальне середовище Labster, яке надає студентам можливість вивчати хімію в інтерактивному форматі, може забезпечити більш ефективне засвоєння матеріалу студентами та значно підвищити їх мотивацію. Дослідження також показало, що інтерактивна платформа допомагає підвищити зацікавленість студентів у навчанні. Використання платформи забезпечує засвоєння новітніх технологій та методів навчання, що, в свою чергу, робить процес навчання більш захоплюючим та результативним. Студенти можуть самостійно здобувати нові знання, нові навички, експериментувати та отримувати незабутні враження від навчального процесу. Симуляції Labster використовують методи гейміфікації, які підвищують ентузіазм і залученість студентів. За допомогою Labster студенти можуть досліджувати найсучасніші лабораторії зі своїх інтернет-браузерів на настільних комп'ютерах, ноутбуках і планшетах (рис. 3).

Серед інших важливих результатів дослідження варто відзначити збільшення успішності студентів, що було підтверджено під час тестування після використання Labster, а також під час складання тривіальних семестрових іспитів. Це дозволяє стверджувати, що платформа сприяє більш глибокому та ефективному засвоєнню матеріала.

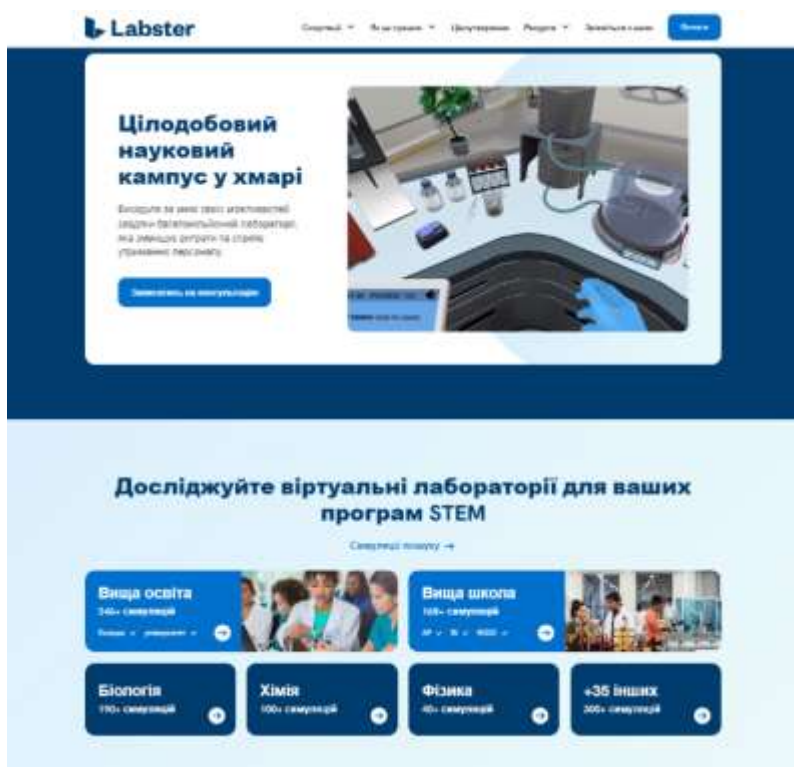


Рисунок 3 – Доступність освітніх ресурсів Labster

Слід зазначити, що основна частина симуляції не адаптована під українську мову, мовою середовища Labster можна обрати англійську, німецьку іспанську або французьку. Переклад на українську мову можна здійснювати для допоміжних матеріалів, наприклад через перекладач браузера. Основна частина студентів проходила симуляції англійською. Це дозволяє не тільки вдосконалювати свої знання з хімії, а ще й паралельно поліпшити знання з англійської мови, звертаючи увагу на технічну термінологію.

## Висновки

Використання симуляційної платформи Labster для наукових експериментів може слугувати ефективним методом вивчення хімії у дистанційному режимі. Студенти, що використовували цю платформу, як додаткове джерело здобування знань та практичних навичок, демонстрували значно вищий рівень знань та розуміння хімічних концепцій. У цьому контексті, Labster може бути корисним інструментом, що надає студентам можливість продовжувати навчання та розвиватися.

Самі студенти відзначили високу якість візуалізації матеріалу та широкі можливості взаємодії з різними елементами лабораторної роботи, що сприяло збільшенню їх зацікавленості у вивченні хімії та кращому розумінню матеріалу. Використання платформи також сприяло зростанню самодисципліни.

За результатами дослідження, можна зробити висновок, що віртуальне середовище Labster може стати корисним доповненням до традиційних методів навчання хімії, зокрема в дистанційному режимі. Водночас важливо враховувати особливості технічної підтримки та методики використання середовища для досягнення максимальної ефективності в навчанні.

У майбутньому дослідження використання платформи віртуальних наукових експериментів Labster можуть бути спрямовані на вивчення її впливу на інші аспекти навчання, такі як розвиток пізнавальних процесів та творчих здібностей студентів. Також планується включення симуляцій платформи до силябусів навчальних дисциплін, тобто використання віртуальних лабораторних робіт в якості основного, а не тільки додаткового джерела пізнання. Не зважаючи на те, що повноцінний досвід роботи в лабораторії та навчання на реальних хімічних матеріалах є доволі важливими, заміна частини лабораторних робіт на віртуальні є запорукою сталого розвитку, зокрема його екологічної та соціальної складових.

### Література

1. Labster. (2021). Labster Virtual Labs Impact Report: Transforming Science Education. [Офіційний звіт Labster].
2. Sack J. D., Nieves B. Labster. *The American Biology Teacher*. 2023. Vol. 85, no. 1. P. 55. URL: <https://doi.org/10.1525/abt.2023.85.1.55>
3. Kolil V. K., Muthupalani S., Achuthan K. Virtual experimental platforms in chemistry laboratory education and its impact on experimental self-efficacy. *International Journal of Educational Technology in Higher*

*Education*. 2020. Vol. 17, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s41239-020-00204-3>

4. Al-nakhle H. The effectiveness of scenario-based virtual laboratory simulations to improve learning outcomes and scientific report writing skills. *PLOS ONE*. 2022. Vol. 17, no. 11. P. e0277359. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277359>
5. Tatli, Z., & Ayas, A. (2013). Effect of a Virtual Chemistry Laboratory on Students' Achievement. *Educational Technology & Society*, 16(1), 159–170.
6. Game on: Immersive virtual laboratory simulation improves student learning outcomes & motivation / D. Tsirolnikov et al. *FEBS Open Bio*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1002/2211-5463.13567>

## **КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЛІТІЄВИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ОСНОВІ ПОЛІФТОРВУГЛЕЦЮ**

**АО СТОЦЬКИЙ, ВГ ХОМЕНКО**

*Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала Шияновська 2,  
м. Київ, 01011, dimapatlun@gmail.com*

Розроблені нові композиції катодів для первинних літєвих джерел струму системи літій-поліфторвуглець. Встановлено, що поліфторвуглецевий матеріал, отриманий шляхом фторування кам'яного коксу, має розрядну питому ємність 800 мА·год/г, що дозволяє суттєво покращити електричні характеристики літєвих елементів. Експериментально доведено, що використання електропровідної добавки на основі комбінації терморозширеного графіту та нанорозмірної графітизованої сажі дозволяє збільшити питому потужність елементів. Розроблені прототипи елементів типу BR2016 мають ємність на рівні 120 мА·год при розрядному струмі, що в 8 разів вищий, ніж рекомендований для комерційних елементів BR2016.

### **Вступ**

Добробут людини сильно корелює з обсягом споживаної енергії. На сучасному етапі розвитку суспільства неможливо уявити існування людини без різноманітних електронних пристроїв, що живляться від хімічних джерел струму (ХДС). Розвиток мікроелектроніки, енергетики та медицини потребує створення високоенергоємних ХДС. До таких джерел струму можна віднести літєві елементи з катодами на основі поліфторвуглецю. Починаючи з 70-х років минулого століття, елементи на основі поліфторвуглецю активно розробляються у всьому світі [1]. Поліфторвуглець може бути описаний загальною формулою  $(CF_x)_n$ . Поліфторвуглець, зазвичай, отримують шляхом реакції вуглецевих матеріалів з фтором при температурах від 400-450 °С. Головною перевагою такого активного матеріалу є його відносно низька молекулярна маса, що дозволяє досягти високих значень питомої ємності (понад 800 мА·год/г) [2].

Елементи з поліфторвуглецем виробляються на промисловому рівні у багатьох країнах світу. В Україні також було виробництво літєвих елементів (підприємство "Октава"). Однак вітчизняне виробництво літєвих ХДС було припинено через брак матеріалів. Тому дослідження

перспективних катодних матеріалів на основі поліфторовуглецю є актуальним завданням. Одним з основних завдань цієї роботи була створення лабораторних прототипів літєвих елементів, які могли б підтримувати значно більший розрядний струм ніж їх комерційні аналоги. Це завдання було успішно вирішено за допомогою розробки композитів на основі поліфторвуглецю та нанорозмірних вуглецевих матеріалів в якості електропровідних наповнювачів.

### **Матеріали та методи**

Для створення катодних мас використовували поліфторвуглецеві матеріали, отримані за допомогою фторування кам'яного коксу (CF-КК) і ацетиленової сажі (CF-АС). Катодні маси були виготовлені з додаванням різних видів вуглецевих матеріалів, таких як ацетиленова сажа (АС), графітизована сажа (ГС), терморозширені графіти (ТРГ). Як зв'язуючий компонент був використаний політетрафторетилен (ПТФЕ) у вигляді 15% водної емульсії.

Вимірювання опору зразків здійснювалися за допомогою чотирьохелектродної комірки та мікроомметра Ф4104-М1.

Для створення лабораторних літєвих елементів використовували корпусні деталі первинних літєвих елементів типорозміру CR2016. Розрядні характеристики були виміряні за допомогою потенціостату MSTAT компанії Arbin Instruments. Розряд елементів проводили при постійному значенні струму до напруги 2В. Для забезпечення надійності отриманих результатів досліджувалась серія, що складалася з трьох елементів, із однаковим складом катодного матеріалу.

### **Результати**

Згідно з представленими даними у таблиці 1, можна визначити, що поліфторвуглець має дуже високий опір. Як наведено в таблиці 1, катод, створений на основі матеріалу CF-КК, має менший питомий опір. У роботі досліджений вплив різних електропровідних добавок на електропровідність та щільність катодних матеріалів. Результати цих

досліджень наведені в таблиці 1. Встановлено, що найнижчий питомий опір спостерігається у випадку зразків, що містять ТРГ.

**Таблиця 1** – Питомий опір та щільність катода на основі поліфторвуглецевого матеріалу

| Склад зразка                  | Масова частка, % | Питомий опір, Ом·см |         | Щільність, г/см <sup>3</sup> |       |
|-------------------------------|------------------|---------------------|---------|------------------------------|-------|
|                               |                  | CF-KK               | CF-AC   | CF- KK                       | CF-AC |
| CF <sub>x</sub> / ПТФЕ        | 95 / 5           | 1642000             | 1918000 | 1,49                         | 1,53  |
| CF <sub>x</sub> / ГС / ПТФЕ   | 80 / 15 / 5      | 5,40                | 5,51    | 1,54                         | 1,33  |
| CF <sub>x</sub> / АС / ПТФЕ   | 80 / 15 / 5      | 6,77                | 3,93    | 1,30                         | 1,24  |
| CF <sub>x</sub> / ТРГ / ПВДФ  | 80 / 15 / 5      | 0,59                | 0,09    | 1,74                         | 1,35  |
| CF <sub>x</sub> /ТРГ/ГС/ ПТФЕ | 80 / 10 / 5 / 5  | 1,53                | 1,56    | 1,59                         | 1,53  |
| CF <sub>x</sub> /ТРГ/АС/ ПТФЕ | 80 / 10 / 5 / 5  | 0,57                | 1,97    | 1,64                         | 1,49  |

Щільність композитів з ТРГ також найвища. Ацетиленова сажа та графітизована сажа також суттєво покращують значення електропровідності композитів, але щільність катодної маси нижча, що може бути недоліком враховуючи питомі характеристики хімічних джерел струму. Зрозуміло, що катодна маса повинна включати максимально можливу кількість активних компонентів та одночасно мати високу електропровідність. Тому було важливо визначити оптимальну кількість і склад електропровідної добавки для катодної суміші. У даній роботі проводилося оптимізування відношення між активним матеріалом та електропровідною добавкою. Зокрема, при наявності 5% електропровідної добавки відзначається досить високий питомий опір композиту, і зі збільшенням кількості електропровідної добавки питома електропровідність суттєво зростає.

Для отримання високої електропровідності у зразках із сажею потрібно мати її вміст на рівні 15%. У випадку терморозширеного графіту цей рівень становить 10%. Однак, при високому вмісту ТРГ в композиті виникають проблеми просочування його електролітом через високу гідрофобність графіту. Тому були проведені дослідження композитів, що містять суміш електропровідних добавок, а саме ТРГ та сажі.

При використанні комбінації ТРГ та сажі спостерігається незначне зменшення електропровідності, проте значно підвищується здатність

катода до адсорбції електроліту завдяки наявності сажі. Встановлено, що при масовому вмісті електропровідних добавок понад 20%, електропровідність композиту суттєво не змінюється, що свідчить про досягнення перколяційного порогу при вмісті добавок в межах 15%.

Оскільки катод в монетних ХДС повинен бути у формі таблетки, яка повинна мати високу механічну стійкість, то для її виготовлення необхідно визначити оптимальну кількість полімерної зв'язуючої речовини. У роботі досліджений вплив вмісту зв'язуючої речовини на електропровідність композитів з поліфторвуглецем. Були досліджені зразки з однаковим вмістом електропровідних добавок, але з різним вмістом полімерної зв'язуючої речовини (ПТФЕ), яка становила 5%, 7% та 10%. Встановлено, що збільшення кількості зв'язуючої речовини призводить до зниження електропровідності. При збільшенні кількості зв'язуючої речовини з 2 до 10% питомий опір композитного матеріалу збільшується удвічі. Очевидно, зв'язуюча речовина блокує частинки електропровідних добавок у масі композиту. За результатами проведених досліджень було встановлено, що оптимальний вміст зв'язуючої речовини в катоді становить 5%.

Для оцінки електрохімічних властивостей катода з рекомендованим складом у роботі були зібрані лабораторні елементи типу BR2016. Для їх розробки були проведені інженерні розрахунки, враховуючи електричні та фізико-хімічні характеристики запропонованого катода.

Лабораторні зразки елементів були досліджені при розрядному струмі в 0,25 мА, що практично в 8 разів перевищує рекомендований струм розряду (0,03 мА) комерційних літій-поліфторвуглецевих ХДС типорозміру BR2016 [3].

Метою тестування було визначити електричні характеристики розроблених елементів при високих значеннях розрядного струму.

У таблиці 2 представлені розрядні характеристики дискових елементів типорозміру розміру BR2016 з катодами різного складу.

**Таблиця 2 – Електричні характеристики розроблених елементів BR2016**

| Склад катодної маси елемента | Масова частка, % | $I_p$ , мА | $U_{сер}$ , В | Q, мА·год | $W_{пит}$ , Вт·год/кг |
|------------------------------|------------------|------------|---------------|-----------|-----------------------|
| CF-AC/AC /ПТФЕ               | 80 / 15 / 5      | 0,25       | 2,41          | 55        | 88                    |
| CF-AC/ ТРГ / ПТФЕ            | 80 / 15 / 5      | 0,25       | 2,45          | 54        | 88                    |
| CF-AC/ТРГ/ГС/ПТФЕ            | 80 / 10 / 5 / 5  | 0,25       | 2,47          | 90        | 148                   |
| CF-KK/ТРГ/ сажа/ ПТФЕ        | 80 / 15 / 5      | 0,25       | 2,60          | 100       | 175                   |
| CF-KK/ ТРГ/ ПТФЕ             | 80 / 15 / 5      | 0,25       | 2,60          | 75        | 130                   |
| CF-KK /ТРГ/ PureBlack/ПТФЕ   | 80 / 10 / 5 / 5  | 0,25       | 2,60          | 120       | 205                   |
| Комерційний елемент          | -                | 0,03       | 2,70          | 75        | 105                   |

**Висновки**

З наведених даних можна зробити висновок, що найкращі характеристики мають елементи з катодами, що складаються з комбінованої електропровідної добавки – ТРГ та ГС. Зокрема, елемент з CF-KK мають рекордну ємність майже 120 мА·год. Меншу ємність (приблизно 100 мА·год) мають елементи з катодами на основі CF-AC. Слід відмітити, що номінальна ємність комерційних елементів BR2016 при розрядному струмі 0,03 мА становить 75 мА·год. Розроблені лабораторні елементи мають стабільну розрядну напругу 2,6 В, яка починає зменшуватись тільки при досягненні ємності 80 мА·год. Отже, розроблені елементи з катодами на основі комбінованої електропровідної добавки (ТРГ і ГС) є значно потужнішими, ніж їх комерційні аналоги.

**Література**

1. Huo, H.; Radhakrishnan, S.; Shaw, L.L.; Németh, K. High-Energy and High-Power Primary Li-CFx Batteries Enabled by the Combined Effects of the Binder and the Electrolyte. *Batteries* **2023**, *9*, 268.  
<https://doi.org/10.3390/batteries9050268>
2. Sharma, N.; Dubois, M.; Guérin, K.; Pischedda, V.; Radescu, S. Fluorinated (Nano) Carbons: CFX Electrodes and CFX-Based Batteries. *Energy Technol.* **2021**, *9*, 2000605
3. T.B. Reddy, Linden's Handbook of Batteries, vol. 4, Mcgraw-hill, New York, 2011.

## **ПРАКТИКА ВПРОВАДЖЕННЯ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ НА ПЛАТФОРМІ MOODLE У ВІТЧИЗНЯНИХ ЗВО**

**ІА КОВАЛЕНКО**

*Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала Шияновська  
(Немировича-Данченка), 2, Київ, 01011, ilchenkoin@ukr.net*

З метою підвищення якості освіти та створення оптимальних умов для саморозвитку особистості студента в більшості закладів вищої освіти застосовується дистанційне навчання, засноване на використанні сучасних телекомунікаційних технологій. Основна увага при розробці та впровадженні систем дистанційного навчання приділяється питанням управління навчальним процесом, обліку результатів навчання та тестування інтеграції з механізмами електронного спілкування і зовнішніми системами. Дистанційне навчання реалізується за допомогою інформаційно-освітнього середовища, в якому створюють дистанційні курси.

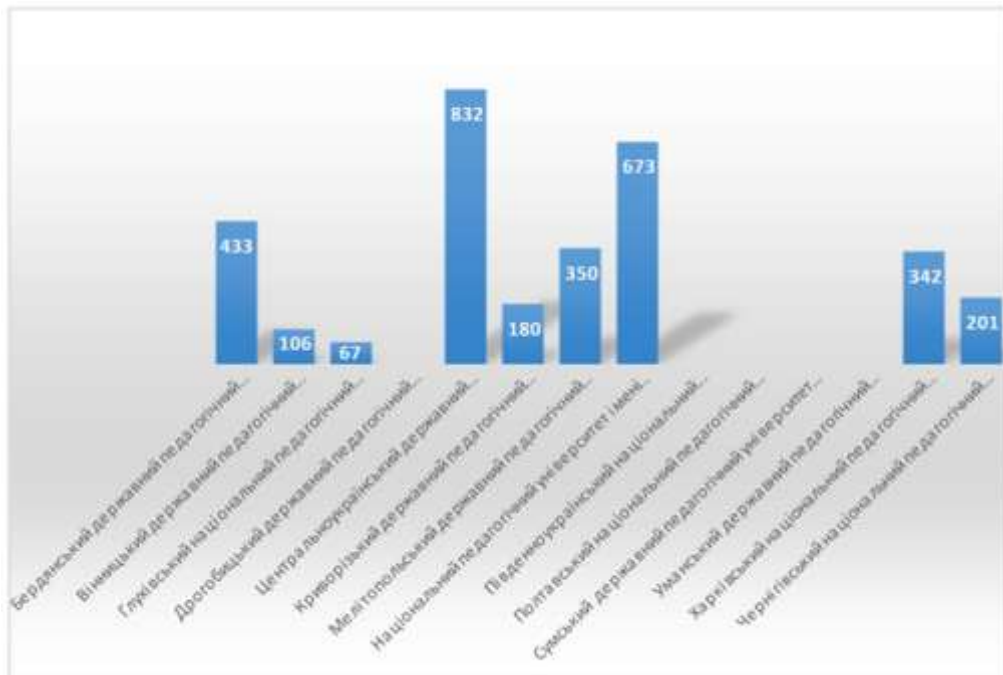
Деякі науковці зазначають, що дистанційний курс – це структурований, цілісний процес, який повинен містити не тільки текстові матеріали, а й здійснювати пошук інформації, мати засоби взаємодії між викладачем та студентами, студентами між собою, здійснювати звернення до баз даних, та періодичних видань, розміщених в мережі Інтернет [1, с. 44].

На даний момент десятки українських ЗВО пропонують дистанційну освіту. Тому, насамперед, вважаємо за необхідне проаналізувати стан організації дистанційного навчання у деяких ЗВО України.

Для визначення стану організації дистанційного навчання нами був проведений аналіз наявності середовища Moodle для дистанційного навчання у педагогічних ЗВО.

Для проведення аналізу ми обрали 14 педагогічних ЗВО України. Відвідавши сайти цих закладів, з'ясували, що лише 10 педагогічних закладів вищої освіти мають середовище для дистанційного навчання.

За результатами була складена порівняльна таблиця, яка висвітлює дані про кількість наявних дистанційних курсів у обраних закладах. На підставі отриманих результатів нами була побудована гістограма кількості дистанційних курсів у ЗВО (рис. 1)



**Рисунок 1** – Кількість дистанційних курсів у ЗВО України

Основними та обов'язковими елементами дистанційного курсу за визначенням В. Бикова є [2, с. 117]:

- «Передмова» – інформаційна сторінка курсу, що відкрита для всіх бажаючих.
- «Автори курсу» – відкрита сторінка, яка містить інформацію про викладачів.
- «Тьютор».
- «Новини курсу».
- «Програма курсу» - містить основні складові курсу, відкрита лише для слухачів які мають доступ.
- «Головна сторінка тижневого заняття» – відкрита для слухачів, допущених до занять.

В методичних рекомендаціях до основних характеристик електронного навчального курсу відносять [3, с. 63-64]:

1. Структурованість навчально-методичних матеріалів.
2. Логіка вивчення навчального курсу.
3. Чіткий графік виконання студентами навчального плану.

4. Наявність налагодженої системи інтерактивного спілкування засоби ресурсів дистанційних курсів та технологій протягом усього часу навчання.
5. Якість підготовлених матеріалів, задекларованих у робочій програмі.
6. Система оцінювання та контролю всіх видів навчальної діяльності студентів.

Важлива роль у визначенні якості дистанційного курсу приділяється критеріям. Отож розробено систему оцінювання дистанційного курсу на базі платформи дистанційного навчання, яка включає наступні складові: робочу програму, графік навчання, шкалу оцінювання, друковані та інтернет джерела, термінологічний словник, оголошення, теоретичний матеріал, практичні (лабораторні роботи), завдання для самостійної роботи, модульний контроль, підсумкову атестацію.

Деталізація критеріїв здійснюється у розрізі структурно-функціональної, науково-змістовної та методичної експертиз. Вони виділяють шість основних характеристик якості електронного курсу: функціональність, надійність, зручність, ефективність, супровід та мобільність [3, с. 67].

При оцінюванні дистанційного курсу потрібно враховувати сукупність змістовних, технічно-технологічних, дидактичних, методичних та дизайно-ергономічних параметрів. Критерії оцінювання структурно-функціональної експертизи представлені в таблиці 2.

Аналізуючи результати дослідження на підставі зазначених критеріїв, ми зробили висновки, що серед обраних дистанційних курсів жоден повністю не відповідає структурно-функціональними критеріям та потребує доопрацювання.

**Таблиця 2 – Критерії оцінювання якості дистанційного курсу**

| <b>Структурно–функціональна експертиза</b>             |                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Складова</b>                                        | <b>Критерії</b>                                                                                                                                                                                                                                                |
| Навчальна програма                                     | Наявні мети та завдань вивчення курсу; вимоги до знань, умінь та навичок учнів; вказано кількість годин на вивчення кожної теми.                                                                                                                               |
| Графік навчання                                        | Наявне календарно–тематичного планування проведення занять.                                                                                                                                                                                                    |
| Методичні рекомендації по роботі з дистанційним курсом | Надаються методичні матеріали, чіткі інструкції щодо використання ресурсу, виконання завдань, самостійної роботи, тестів.                                                                                                                                      |
| Критерії оцінювання                                    | Наведено таблицю критеріїв оцінювання навчальних досягнень студентів з предмету.                                                                                                                                                                               |
| Друковані та інтернет джерела                          | Вказано основні та додаткові друковані джерела з навчального предмету, наведені Інтернет-джерела з активними гіперпосиланнями.                                                                                                                                 |
| Термінологічний словник                                | Подано у форматі глосарія, означення наводяться до всіх термінів у словнику.                                                                                                                                                                                   |
| Оголошення                                             | Подано у форматі форуму.                                                                                                                                                                                                                                       |
| Теоретичний матеріал                                   | Електронні навчальні матеріали представлено у вигляді окремих тем і забезпечені розвиненою системою навігації.                                                                                                                                                 |
|                                                        | Мультимедійні навчально-методичні матеріали (відео, аудіо) та презентації подано у файлах стандартних форматів.                                                                                                                                                |
| Практичні та лабораторні роботи                        | Кожна робота містить основні структурні елементи: тема, мета, методичні рекомендації, список завдань, форма подання результатів виконаної роботи, критерії оцінювання.                                                                                         |
| Завдання для самостійної роботи                        | Наявні завдання для самостійного виконання, які містять основні структурні елементи: зміст завдання, хід виконання, список індивідуальних завдань, інформаційні джерела, форма подання результатів виконаного завдання, критерії оцінювання, термін виконання. |
| Модульний контроль                                     | Наявні навчальні та інтерактивні тести для проміжного контролю навчальних досягнень студентів.                                                                                                                                                                 |
| Підсумкова тематична атестація                         | Наявний тест для підсумкової тематичної атестації з навчального предмету, що містить необхідну кількість тестових запитань і завдань.                                                                                                                          |

Оскільки, інформаційно-освітнє середовище ЗВО – це системно організована сукупність засобів передавання інформації, принципів взаємодії учасників навчального процесу, дидактичного, організаційного та методичного забезпечення, яка орієнтована на задоволення потреб тих, хто навчається.

Функціями інформаційно-освітнього середовища є:

1. Інформаційна (задоволення інформаційно-освітніх потреб учасників навчального процесу);
2. Освітня (своєчасне та якісне забезпечення навчальним матеріалом);
3. Контролююча (контролювання самостійної роботи слухачів);
4. Організаційна (взаємозв'язок з викладачами).

Отже, інформаційно-освітнє середовище прямо чи опосередковано впливає на процеси становлення особистості в сучасних умовах. Воно виконує інформативну та комунікативну функції; а також сприяє реалізації тих видів діяльності, що пов'язані з використанням комп'ютера та засобами нових інформаційних технологій.

Згідно ж положення про дистанційне навчання, веб-середовище дистанційного навчання – системно організована сукупність веб-ресурсів навчальних дисциплін (програм), програмного забезпечення управління веб-ресурсами, засобів взаємодії суб'єктів дистанційного навчання та управління дистанційним навчанням. А система управління веб-ресурсами навчальних дисциплін (програм) – програмне забезпечення для створення, збереження, накопичення та передачі веб-ресурсів, а також для забезпечення авторизованого доступу суб'єктів дистанційного навчання до цих веб-ресурсів [4, с. 3].

## Література

1. Drobnitsa, I. Pedagogical technologies in a modern general educational institution. *Pedagogical Kryvyi Rih: pedagogical almanac*: collection of scientific and methodological works. Kryvyi Rih: Ice Print, 2018. Issue 4. p. 55-58.
2. Dzyuba, P. Guide to studying the discipline "Methodology of teaching professional disciplines in higher education": manual. PAS. *Dzyuba, T. Zaitseva Dnipro: Lira*, 2015. 24 p.
3. Mukoviz, O. "Fundamentals of distance learning organization in the continuing education system." *Guidelines*. Mukoviz, O. P. Uman: FOP Zhovtyi, O., 2016. 66 p.
4. Syrotenko, G. Innovative development of education: problems of the transition from theory to practice / Syrotenko, G. *School management*. 2005. No. 1. p. 15 - 18.

## **СТРАТЕГІЧНІ ОРІЄНТИРИ РОЗВИТКУ ВИЩОЇ ШКОЛИ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ**

**ОВ ЧЕРНИШ**

*Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала Шияновська  
(Немировича-Данченка), 2, Київ, 01011, [chernysh.o@knutd.com.ua](mailto:chernysh.o@knutd.com.ua)*

У статті розкривається актуальність проблеми розробки адекватної стратегії розвитку вищої школи України в умовах воєнного стану, яка сприятиме посиленню позиції закладу вищої освіти на ринку освітніх послуг. Здійснено аналіз стратегій розвитку вищої освіти України на 2022-2032 рр. Дана оцінка стану й визначено місце стратегії розвитку вищої школи в системі стратегічних планів держави. Показано лакуни законодавства в галузі формування стратегії розвитку вищої школи. Виявлено переваги й недоліки світового досвіду формування стратегій розвитку вищої школи. Досліджено систему управління ризиками у вищій школі, проведено аналіз ризиків і розроблено заходи щодо їх обмеження. Розкрито зміст, виявлено цілі та пріоритети регіональної політики у сфері вищої освіти, проаналізовано індикатори якості регіональної стратегії розвитку вищої школи, визначено та проаналізовано її напрями.

Поширення інноваційних технологій в освітній галузі стало об'єктивною закономірністю, зумовленою новою філософією освіти. Інновації варто розглядати як ефективні та результативні нововведення у змісті, методах, засобах і формах навчання та виховання особистості, в управлінні системою освіти, в організації освітнього процесу, у структурі закладів освіти. Особливої актуальності набули інновації з початком широкомасштабної війни, розв'язаної російською федерацією на території України, коли стало життєво необхідним приймати швидкі, нестандартні, по суті – інноваційні рішення. Функціонування системи освіти в умовах воєнного стану характеризується інтенсивним пошуком нових підходів до навчання, інноваційних форм організації освітнього процесу, ефективних педагогічних та інформаційних технологій.

Велику увагу та широкий інтерес у сфері дослідження досвіду стратегічного управління закладами вищої освіти приділено у працях таких вітчизняних науковців, як І. Кочарян, С. Натрошвілі, О. Слюсаренко. Типологізація стратегій розвитку в галузі управління закладом вищої освіти зустрічаються в роботах Н. Багаутдинова, В. Григораша, В. Огаренка, С. Салиги, О. Яришко, О.Єгоршина, В.Крижка, Є. Павлютенкова, Г. Дмитренка, В. Кухаренка, О. Рибалко, О. Касьянової, О. Мармази.

В результаті дослідження наукових джерел встановлено, що виокремлюють три основні групи чинників, які впливають на рівень розвитку сучасної системи вищої освіти [1]:

- загальні (глобальні) чинники, які діють в усьому світі;
- специфічні чинники, які є спільними для певної групи країн;
- внутрішні чинники, які характерні для конкретної країни.

Відповідно до Концепції (основ державної політики) національної безпеки України, основними загрозами національній безпеці в науково-технологічній сфері визначено [3]:

- невизначеність державної науково-технологічної політики;
- вплив інтелектуального та наукового потенціалу за межі України;
- науково-технологічне відставання України від розвинутих країн;
- зниження рівня підготовки висококваліфікованих наукових та інженерно-технічних кадрів.

Вирішення розглянутих проблем потребує розробки стратегії розвитку вищої освіти України, визначення стратегічного бачення як орієнтиру для інноваційних перетворень в освітній сфері. При розробці стратегічного бачення і відповідної стратегії доцільно враховувати такі основні аспекти:

➤ **на державному та регіональному рівнях** необхідним є: створення системи прогнозування тенденцій розвитку освітньої галузі конкретного регіону, України в цілому; формування правового поля та нормативного забезпечення за напрямками розвитку системи вищої освіти; формування дієвих механізмів фінансування та підтримки наукової та інноваційної діяльності ВНЗ. Слід зазначити, в Стратегії національної безпеки України серед основних напрямів державної політики з питань національної безпеки зазначено такі, що безпосередньо стосуються системи вищої освіти, а саме: активізацію інноваційних процесів в освітній, науково-технологічній та інформаційно-комунікаційній галузях, які в сукупності формують інфраструктуру економіки знань – основу майбутньої конкурентоспроможності України у глобалізованому світі;

➤ **на мікрорівні доцільним є:** визначення ринкової ніші закладу вищої освіти в освітній та науково-дослідній сфері; врахування результатів моніторингу результативності роботи ЗВО при складанні стратегії інноваційного розвитку та в процесі її реалізації; націленість на підвищення ефективності організації роботи університету; залучення зовнішніх інвестицій для розвитку науково-дослідної та здійснення інноваційної роботи, покращення матеріально-технічної бази університету.

У квітні 2022 року, на сайті Кабінету Міністрів України було опубліковано розпорядження №286-р від 23 лютого 2022 року «Про схвалення Стратегії розвитку вищої освіти в Україні на 2022-2032 роки» [2].

У зазначеній стратегії йдеться про те, що не зважаючи на складну ситуацію яка нині склалась в Україні, одним з пріоритетних завдань є продовження освітнього процесу. Також важливо реформувати систему освіти відповідно до нових викликів. Саме цим стратегічним документом визначено основні пріоритети системи вищої освіти на сучасному етапі розвитку суспільства та економіки країни, а також головні характеристики, що будуть сформовані до 2032 року. Стратегію було ухвалено 23 лютого, за день до повномасштабної війни, яку розпочала росія проти України. З урахуванням теперішньої ситуації, завдання та заходи з реалізації потребуватимуть коригування, проте стратегічні цілі та ключові завдання залишаються незмінними [2].

Цей документ, орієнтований на період входження України до Європейського Союзу, є вкрай актуальним і важливим. Цілі та завдання Стратегії є детальною дорожньою картою для відбудови та продовження реформування системи вищої освіти в післявоєнний період. Виконання завдань, визначених Стратегією, дозволить зменшити деструктивні наслідки, спричинені повномасштабним вторгненням російської федерації на територію незалежної України.

На основі проведеного аналізу динаміки розвитку вищої освіти в Україні, з урахуванням думки експертів робочих підгруп із розроблення Стратегії та зважаючи на глобальні тенденції розвитку вищої освіти, визначено сильні та слабкі сторони національної системи вищої освіти,

можливості подальшого розвитку та загрози зовнішнього середовища. На основі здійсненого SWOT-аналізу розроблено сценарії розвитку вищої школи в Україні (песимістичний, реалістичний і оптимістичний).

Варто зазначити, що документ передбачає реалізацію 5-ти стратегічних цілей. Коротко охарактеризуємо кожен з них.

**1. Ефективність управління в системі вищої освіти. Передбачено виконання таких завдань:**

- збільшення бюджетного фінансування та удосконалення формули розподілу за результатами діяльності;
- розширення бюджетного кредитування здобуття вищої освіти та освіти дорослих;
- модернізація мережі, укрупнення закладів вищої освіти, підтримка дослідницьких університетів.

**2. Довіра громадян, держави та бізнесу до освітньої, наукової, інноваційної діяльності закладів вищої освіти. Для досягнення цілі передбачено:**

- розширення сфери застосування зовнішнього незалежного оцінювання, адресного розміщення та проведення конкурсу;
- сприяння проведенню закладами вищої освіти досліджень і консалтингу для бізнесу;
- створення умов для розвитку державно-приватного партнерства у сфері вищої освіти;
- запровадження ефективних механізмів виявлення порушень академічної доброчесності та процедур притягнення до академічної відповідальності.

**3. Забезпечення якісної освітньо-наукової діяльності, конкурентоспроможної вищої освіти, яка є доступною для різних груп населення. Для досягнення стратегічної цілі та відповідних операційних цілей передбачено виконання таких завдань:**

- підтримка національної та міжнародної академічної мобільності студентів, а також направлення на навчання до іноземних університетів;

- надання особливої підтримки мешканцям тимчасово окупованих територій, незахищеним і вразливим групам населення;
- створення особливих умов для вступників із видатними досягненнями;
- сприяння використанню інноваційних технологій і новітніх засобів навчання в освітньому процесі, розвиток дослідницьких інфраструктур.

**4. Інтернаціоналізація вищої освіти України. Передбачено забезпечити:**

- гармонізацію структури вищої освіти відповідно до зобов'язань країн-членів Європейського простору вищої освіти;
- розвиток національної системи кваліфікацій;
- спрощення процедур визнання іноземних освітніх кваліфікацій;
- трансформацію освіти в секторі безпеки та оборони відповідно до доктринальних підходів і принципів НАТО.

**5. Привабливість закладів вищої освіти для навчання та академічної кар'єри. Для досягнення передбачено виконання таких завдань:**

- дотримання підходів до студентоцентрованого навчання в організації освітнього процесу;
- розширення перехресного вступу, спільних, міждисциплінарних і подвійних програм, дуальної та інших форм здобуття освіти;
- розвиток загальних компетентностей, правової культури, рухової активності, спорту та студентських змагань;
- розвиток програм управлінської підготовки керівного складу та перспективних лідерів закладів вищої освіти (кадровий резерв), тренінгів на підтримку реформ;
- проведення комунікаційних кампаній для підтримки реформ у системі вищої освіти тощо.

Очікуваним результатом реалізації Стратегії є створення сучасної ефективної системи вищої освіти, яка задовольняє потреби громадян, економіки та суспільства, має гідну репутацію та є конкурентоспроможною на внутрішньому та світовому ринку освітніх послуг.

Модернізація системи управління освітою повинна здійснюватись на засадах інноваційної стратегії відповідно до принципів сталого розвитку, сучасних освітніх проєктів, моніторингу, розвитку моделі державного громадського управління у сфері освіти, в якій особистість, суспільство та держава є рівноправними партнерами. Для досягнення модернізації системи управління освітою передбачено: оптимізацію та децентралізацію управління у сфері освіти, що дозволить здійснити перерозподіл функцій між центральними та місцевими органами управління; застосування професійного підходу до обрання та призначення керівників навчальних закладів; автономія навчальних закладів, що передбачає розширення прав та фінансову самостійність ЗВО; подолання бюрократії шляхом удосконалення порядку звітності та перевірок навчальних закладів; здійснення професійної підготовки менеджерів освіти на основі компетентнісного підходу, здатних приймати управлінські рішення та ефективно використовувати наявний ресурс; розвиток автоматизованої системи управління освітою.

### **Література**

1. Фініков Т. В. Сучасна вища освіта: світові тенденції і Україна / Т. В. Фініков. – К.: Таксон, 2002. – 176 с
2. Про схвалення Стратегії розвитку вищої освіти в Україні на 2022-2032 роки: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 23.02.2022 р. № 286-р URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/286-2022-%D1%80#Text>
3. Про Концепцію (основи державної політики) національної безпеки України: Постанова Верховної Ради України URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3/97-%D0%B2%D1%80#Text>

## **СТАЛИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ РОЗВИТОК ЗАКЛАДІВ ОСВІТИ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ КЛІМАТИЧНОЇ НЕЙТРАЛЬНОСТІ**

**ВП ПЛАВАН**

*Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала Шияновська  
(Немировича-Данченка), 2, Київ, 01011*

В статті показано, що забезпечення всеохоплюючої і справедливої якісної освіти для всіх та заохочення можливості навчання впродовж усього життя це шлях для досягнення цілей сталого розвитку і кліматичної нейтральності. Втілення екологічної освіти до всіх сфер суспільного життя; широка обізнаність щодо причин і наслідків зміни клімату; інтеграція питань сталого розвитку і кліматичної нейтральності в існуючі дисциплінарні навчальні програми; популяризація кліматичної науки на основі міждисциплінарності сприятиме реалізації цілей сталого розвитку в Україні.

Руйнівні наслідки зміни клімату, із якими людство зіштовхується зараз та буде зіштовхуватись у майбутньому, роблять цю проблему невідкладним питанням порядку денного. Паризька угода, прийнята в 2015 році, має на меті посилити здатність країн боротися з наслідками зміни клімату за допомогою відповідних фінансових механізмів, нової технологічної бази та в рамках нарощування інтелектуального потенціалу в освіті, культурі, в соціально-політичній сфері [1].

Відповідно до Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року, затвердженої 7 грудня 2016 року [2], основою для вирішення проблеми зміни клімату є декарбонізація суспільства, тобто зменшення викидів CO<sub>2</sub>. На 24 Сесії Конференції сторін Рамкової конвенції ООН з питань зміни клімату (COP24), яка відбулась 12 грудня 2018 року у м. Катовіце (Польща), 15 міжнародних організацій спільно оголосили про зобов'язання зробити свою діяльність кліматично нейтральною [3]. Організації почали вимірювати свої викиди парникових газів, зменшувати їх, наскільки це можливо, і намагатися компенсувати неминучі викиди. Зокрема, про свою прихильність до ідеї кліматичної нейтральності оголосили такі міжнародні організації, як Європейський банк реконструкції та розвитку, Європейський інвестиційний банк, Секретаріат Організації об'єднаних націй та інші. Сукупні дії цих

організацій є важливим прикладом, який може надихнути інші інституції. завдяки попередженню викидів більше 2 мільйонів тон CO<sub>2</sub> на рік.

Збільшення викидів діоксиду карбону, нестабільний клімат та прискорення втрати біорізноманіття вимагають невідкладних заходів. Освітня діяльність вже відіграє важливу роль у вирішенні цих проблем, не тільки через навчання студентів, але й використовуючи результати своїх наукових досліджень. Однак зараз спостерігається низька зацікавленість викладачів і студентів в організації «кліматичних» навчальних курсів, причиною тому є нерозуміння принципу кліматичної нейтральності і можливого внеску університетів в його реалізацію.

Впровадження знань про зміну клімату в зарубіжних університетах здійснюється через навчання та дослідження, питання зміни клімату висвітлюються в програмах бакалаврів, магістрів, аспірантів [4]. На думку вітчизняних науковців і громадськості [5], одним з важливих інструментів адаптації до глобальних змін клімату, виступають комунікативні, освітні програми, тобто способи інформування широкої громадськості про ці проблеми. Тобто наука і освіта виступають однією з передумов досягнення збалансованого (сталого) розвитку суспільства, і водночас є найважливішими інструментами ефективного управління, обґрунтованого прийняття рішень, розвитку демократії [5].

**Мета роботи** – розвиток науково-методичних основ та практичних рекомендації щодо впровадження принципів сталого екологічного розвитку і кліматичної нейтральності в діяльність закладів вищої освіти для зменшення або уникнення негативного впливу на довкілля.

Відповідно до Указу Президента України «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» від 30 вересня 2019 року № 722/2019 [6] визначаються три основні фактори сталого розвитку: соціальний, економічний та екологічний. Якщо більшість закладів вищої освіти постійно вживає заходів щодо економічного та соціального сталого розвитку в таких сферах як доступ до освіти незалежно від статі,

релігійних переконань, соціального становища чи якихось інших обмежень, расова рівність та усунення гендерного розриву в оплаті праці, то питання екологізації освітньої діяльності інколи залишаються поза увагою.

Стратегія сталого екологічного розвитку закладів вищої освіти як правило зосереджена на таких пріоритетних сферах: дослідження; освіта, соціальна робота та пропаганда сталого розвитку; зміни в інфраструктурі і стале використання ресурсів. Протягом останнього десятиліття помітно скорочено споживання енергії в університетських будівлях за рахунок модернізації системи ізоляції та освітлення в будівлях, встановлення ефективних систем опалення/ охолодження, зниження витрат на технічне обслуговування об'єктів університетської інфраструктури, посилення збору та переробки відходів (металу, паперу, пластику). Підтримка *ініціативи в галузі екологічного транспорту* ставить на меті обмеження викидів транспорту і включає рекламу пішохідних, велосипедних подорожей та громадського транспорту. *Стале використання ресурсів* здатне суттєво зменшити вплив нашого постачання і споживання ресурсів на стан навколишнього середовища, навіть більшою мірою ніж стале використання енергії. Зменшення впливу непередбаченого постачання і споживання ресурсів можна досягти шляхом залучення всіх членів трудового колективу до зменшення використання ресурсів та мінімізації відходів. Отриманий *досвід пандемії* спонукав більшість університетів до переходу до більш екологічно стійких методів роботи. Зокрема, дистанційне навчання, віддалена робота та участь в нарадах, дистанційна участь у всіх конференціях, організованих і проведених університетами, сприяла зменшенню споживання ресурсів.

Відповідно до «Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року» [2] у запобіганні зміни клімату важливу роль відіграє широке інформування громадськості про наслідки зміни клімату, фактори впливу на клімат, механізми і практики протидії та

адаптації; упровадження відповідних освітніх програм на всіх рівнях формальної та неформальної освіти. У «Концепції екологічної освіти в Україні» наголошується [7-8], що екологічна освіта як цілісне культурологічне явище повинна спрямовуватися на формування екологічної культури, яка є складовою системи національного виховання молоді. Результатом набуття системних знань з питань сталого розвитку і кліматичної нейтральності є розуміння первинності законів природи щодо соціальних законів, усвідомлення зростання взаємозалежності і взаємовпливу природи і суспільства, особистої відповідальності за екологічні проблеми не лише свого регіону чи країни, а й світу загалом.

Втілення екологічної освіти до всіх сфер суспільного життя; широка обізнаність щодо причин і наслідків зміни клімату; інтеграція питань сталого розвитку і кліматичної нейтральності в існуючі дисциплінарні навчальні програми; популяризація кліматичної науки на основі міждисциплінарності сприятиме реалізації цілей сталого розвитку в Україні [7-8]. Дієвими інструментами для повноцінної реалізації концепції сталого екологічного розвитку і кліматичної нейтральності в освітній діяльності в Україні також може стати впровадження вимог екологічної стійкості та кліматичної нейтральності в управління та прийнятті рішень університетом; розробка системи звітності щодо заходів з екологічного сталого розвитку і кліматичної нейтральності; постійне заохочення співробітників і студентів до активної природоохоронної діяльності. Очікуваними результатами реалізації концепції сталого розвитку і кліматичної нейтральності є зменшення шкідливих викидів у навколишнє середовище [9], популяризація та розвиток зеленої економіки, циклічного виробництва та дбайливого природокористування, формування у студентської спільноти і працівників закладів вищої освіти відповідального ставлення до екологічних проблем та сталого розвитку.

## Висновки

У роботі показано, що втілення екологічної освіти до всіх сфер суспільного життя; широка обізнаність щодо причин і наслідків зміни клімату; інтеграція питань сталого розвитку і кліматичної нейтральності в існуючі дисциплінарні навчальні програми; популяризація кліматичної науки на основі міждисциплінарності сприятиме реалізації цілей сталого розвитку в Україні. Дієвими інструментами для повноцінної реалізації концепції сталого екологічного розвитку і кліматичної нейтральності в освітній діяльності в Україні може стати: впровадження вимог екологічної стійкості та кліматичної нейтральності в управління та прийнятті рішень університетом; розробка системи звітності щодо заходів з екологічного сталого розвитку і кліматичної нейтральності; постійне заохочення співробітників і студентів до активної природоохоронної діяльності.

## Література

1. Плаван В.П., Моргулець О.Б., Іщенко О.В., Коляда М.К. Концепція сталого екологічного розвитку і кліматичної нейтральності та її реалізація в освітній діяльності. *Екологічні науки*. **2022**, 6(45), 66-71.
2. Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України № 932-р від 7.12.2016 [Online]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/932-2016-%D1%80#n8>
3. United Nations Climate Change. At COP24, Leading International Organizations Commit to Climate Neutrality. UN Climate Press Release, 12.12.2018 <https://unfccc.int/news/at-cop24-leading-international-organizations-commit-to-climate-neutrality> (accessed 2023-10-09).
4. Дух О.І., Цицюра Н.І., Галаган О.К. Особливості формування у студентської молоді знань про зміни клімату. *Екологічні науки*. **2021**, 6(39), 214-217.
5. Санковська, І.М., Халаїм, О.О., Сіда, О.А. Освіта з питань зміни клімату в університетах України та світу. *В Екологічна освіта для сталого*

*розвитку з питань зміни клімату у дошкільній, середній, позашкільній та вищій освіті України: короткий аналітичний огляд; ГО УЕК «Зелена Хвиля»; Київ, 2020; сс 15–19.*

6. Національна доповідь «Цілі сталого розвитку: Україна», 2017.  
<https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-Ukraine.pdf> (accessed 2023-10-09).
7. Міністерство освіти і науки України. *Концепція екологічної освіти України*; Інформаційний збірник. по. 7; 2002; с. 3-23.
8. Люленко С.О., Подзерей Р.В. Формування екологічної компетентності особистості як одне з найголовніших завдань освіти сталого розвитку. *Екологічні науки*. **2022**, 3(42), 226-229.
9. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року. Закон України № 2697-VIII від 28.02.2019; Відомості Верховної Ради, № 16, 2019, ст. 70.  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19> (дата звернення: 27.11.2021).

## **ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ЕКОЛОГІЧНИХ НОРМ ЄС В ЗАКОНОДАВСТВО УКРАЇНИ ЯК ЕЛЕМЕНТ СТАЛОГО ЕКОЛОГІЧНОГО РОЗВИТКУ**

**АМ САВЧЕНКО**

*Київський національний університет будівництва і архітектури, пр.  
Повітрофлотський 31, Київ, asav2509@gmail.com*

Глобальні екологічні проблеми потребують швидкого реагування для їх вирішення. Світова спільнота розуміє потребу в забезпеченні сталого розвитку суспільства. Сталий екологічний розвиток – розвиток суспільства, за якого економічне зростання, матеріальне виробництво і споживання відбуваються в межах, що визначаються властивістю екосистем до самовідновлення. Україна, чи не найбільше з усіх європейських держав, відчуває на собі негативні екологічні наслідки. Антропогенні чинники найбільше впливають на природне середовище. Війна на українській території призвела до ще більших негативних наслідків. Як і раніше, сьогодні імплементація екологічних норм ЄС в законодавство України є важливим елементом сталого екологічного розвитку.

Україна як активний учасник міжнародних відносин направляє свої зусилля на подолання екологічної кризи на шляху до сталого розвитку суспільства. Після ратифікації Угоди про асоціацію з ЄС (повна назва — Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським Співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони) Україна активно розпочала процес імплементації екологічних норм ЄС в законодавство України. Додаток ХХХ Угоди про асоціацію містить перелік із 29 екологічних директив та регламентів, які Україна зобов'язана імплементувати у 8 тематичних сферах. Зазначені сфери охоплюють управління довкіллям та інтеграція екологічної політики в інші галузеві політики; якість атмосферного повітря; управління відходами та ресурсами; якість води та управління водними ресурсами, включаючи морське середовище; охорона природи; промислове забруднення та техногенні загрози; зміна клімату та захист озонового шару; генетично модифіковані організми [1].

Починаючи з 2017 року проводиться активна політика екологізація законодавства України в рамках Угоди про асоціацію з ЄС. За цей період були прийняті такі закони України: «Про оцінку впливу на довкілля» від

23 травня 2017р., яким враховуються вимоги Директиви 2011/92/ЄС про оцінку впливу окремих державних і приватних проектів на довкілля; «Про стратегічну екологічну оцінку» від 20 березня 2018 р., яким імплементуються вимоги Директиви 2001/42/ЄС про оцінку впливу на стан довкілля окремих проектів та програм; «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28 лютого 2019 р., яким визначаються основні стратегічні цілі екологічної політики держави з урахуванням вимог УА, етапи її реалізації та очікувані результати; «Про моніторинг, звітність та верифікацію парникових газів» від 19 грудня 2019 р., розроблений з метою імплементції окремих положень Директиви 2003/87/ЄС про встановлення схеми торгівлі викидами ПГ [2]; «Про регулювання господарської діяльності з озоноруйнівними речовинами та фторованими парниковими газами» з урахуванням положень Регламенту (ЄС) № 842/2006 (скасований Регламентом (ЄС) № 517/2014) та Регламенту (ЄС) № 2037/2000 (скасований Регламентом ЄС №1005/2009); «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом», яким запроваджуються правові засади інтегрованого управління водними ресурсами за басейновим принципом відповідно до Водної рамкової Директиви 2000/60/ЄС.

Наслідками імплементції екологічних норм ЄС в законодавство України стали Основні засади (стратегія) державної екологічної політики на період до 2030 року [3], Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року, Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року, Концепція реформування системи державного нагляду (контролю) у сфері охорони навколишнього природного середовища в Україні.

Звичайно війна внесла свої корективи, але не зупинила процес імплементції. Так, 4 квітня 2022 року міністерство захисту довкілля та

природних ресурсів України затвердило «Методику визначення розміру шкоди завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану», з метою в врегулювання питань визначення розміру шкоди завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану. В травні 2023 року Кабінет Міністрів України своєю постановою затвердив Порядок ведення Єдиного реєстру стратегічної екологічної оцінки, Порядок створення охоронних зон для збереження біорізноманіття у лісах, Порядок створення охоронних зон для збереження об'єктів Червоної книги України та Порядок здійснення публічного моніторингу земельних відносин та моніторингу ринку земель у його складі, а міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України своїм наказом затвердило Порядок оприлюднення публічної інформації та Критерії з визначення підприємств, установ і організацій, які мають важливе значення для національної економіки в галузі навколишнього природного середовища в особливий період.

Набуття Україною статусу кандидата у члени до ЄС вимагає імплементації всього чинного європейського правового поля. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів створило робочу групу, яка проведе первинну оцінку стану імплементації актів права Європейського Союзу у напрямку захисту довкілля. В аналітичному звіті Єврокомісії щодо спроможності України виконувати умови членства в ЄС в кластері охорони довкілля країна отримала найнижчий бал – 1 з можливих 5. Як повідомляла ЕкоПолітика раніше, Україна виконала 77% євроінтеграційних зобов'язань у напрямку навколишнього природного середовища [4]. Отож , Україна рухається в напрямку інтеграції в єдиний європейський екологічний простір, не зважаючи на постійні перепони.

## Література

1. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом і його державами-членами, з іншої сторони. – [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [http://www.kmu.gov.ua/docs/Agreement/AA\\_Body\\_text.pdf](http://www.kmu.gov.ua/docs/Agreement/AA_Body_text.pdf) Дата доступу: 4.10.2023.
2. Закон України «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів» від 12 грудня 2019р. № 377-IX //Відомості Верховної Ради України, 2020, № 22, ст.150
3. Закон України «Про Основні засади (стратегія) державної екологічної політики на період до 2030 року» 28 лютого 2019р. № 2697-VIII [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> Дата доступу: 8.10.2023.
4. Екополітика. Назва з екрану. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/mindovkillya-perevirit-vidpovidnist-ukrainskogo-ekozakonodavstva-normam-ies/> Дата доступу: 11.10.2023.

## ОРГАНІЧНІ ВІДХОДИ, ЯК ДЖЕРЕЛО БІОГАЗУ

РО ЗАЛЄВСЬКА, ГВ САКАЛОВА

Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, вул.  
Острозького 32, м. Вінниця, 21001, [Kafedra.Chemistry@vspu.edu.ua](mailto:Kafedra.Chemistry@vspu.edu.ua)

Досліджено перспективи переробки і утилізації органічних відходів. Охарактеризована проблема рециклінгу органічних відходів та раціональний метод їх переробки шляхом використання біогазових установок.

Аналіз останніх публікацій показує, що не дивлячись на велику кількість наукових досліджень, проблема утилізації органічних відходів остаточно не вирішена, тому необхідність вивчення перспектив застосування передових, екологічно безпечних технологій утилізації органічних відходів є очевидною.

Проведення довгострокової політики в області переробки органічних відходів та біоенергетиці особливо актуальні для сьогодення, оскільки війна на території України спричинила глибоку та затяжну енергокризу, вихід з якої передбачає широкомасштабні комплексні заходи використання альтернативних екологічних джерел енергії.

Зважаючи на те, що в Україні 92 % побутових відходів потрапляють на звалища, більшість органічних відходів безповоротно втрачаються. Органічні компоненти (особливо харчових відходів) з високою вологістю швидко загнивають і біологічно розкладаються, вони є джерелом антисанітарії та екологічного забруднення оточуючого природного середовища. Такі відходи створюють санітарно-гігієнічну та епідеміологічну небезпеку, а також утворення шкідливих газів, які мають неприємний запах і підсилюють парниковий ефект, є вибухо- і пожежонебезпечними. У разі стихійного загоряння полігонів у атмосферу потрапляють особливо токсичні речовини, такі як діоксини і фурани [1]. Відповідно кожна тонна таких побутових відходів виділяє від 120 м<sup>3</sup> до 200 м<sup>3</sup> газу у навколишнє середовище, внаслідок біологічного розкладання відходів на звалищах. Такий газ містить переважно метан (CH<sub>4</sub>) та вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>), із незначними кількостями неметанових органічних сполук, які включають забруднювачі повітря та леткі органічні сполуки [2].

Утворення біогазу та поширення його емісій за межі полігонів твердих побутових відходів (ТПВ) є не лише проблемою для прилеглих територій та здоров'я населення, але також має суттєвий вплив на глобальний клімат у зв'язку з розповсюдженням метану, що є основною складовою біогазу.

Присутність метану в біогазі привертає увагу інвесторів до проектів дегазації полігонів, оскільки утилізація метану відкриває можливість виробництва тепла та електричної енергії. Такі проекти не лише сприяють зменшенню емісії метану в атмосферу, але й сприяють зменшенню ефекту парникового газу, що допомагає знизити температурні зміни на планеті та змінити подальший розвиток клімату. Таким чином, звернення уваги на проблему метанових емісій та їх використання в проектах дегазації є важливим кроком у боротьбі з кліматичними змінами та покращенню якості навколишнього середовища.

**Таблиця 1** – Вихід біогазу внаслідок органічного розкладання відходів

| Субстрат                                 | Вихід біогазу, м <sup>3</sup> /тонну субстрату | Вихід метану, м <sup>3</sup> /тонну субстрату |
|------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Органічна сировина тваринного походження |                                                |                                               |
| Гнійна рідота ВРХ                        | 20-30 (середнє значення 25)                    | 11-19 (середнє значення 14)                   |
| Свинячий гній                            | 20-30 (середнє значення 28)                    | 12-21 (середнє значення 17)                   |
| Твердий гній ВРХ                         | 60-120 (середнє значення 80)                   | 33-36 (середнє значення 34)                   |
| Пташиний послід                          | 130-270 (середнє значення 140)                 | 70-140 (середнє значення 90)                  |
| Органічна сировина рослинного походження |                                                |                                               |
| Кукурудзяний силос                       | 170-230 (середнє значення 200)                 | 89-120 (середнє значення 106)                 |
| Солом'яно-зернова силосна маса           | 170-220 (середнє значення 190)                 | 90-120 (середнє значення 105)                 |
| Зерно злаків                             | (середнє значення 620)                         | (середнє значення 320)                        |
| Трав'яний силос                          | 170-200 (середнє значення 180)                 | 93-109 (середнє значення 98)                  |
| Цукровий буряк                           | 120-140 (середнє значення 130)                 | 65-76 (середнє значення 72)                   |
| Кормовий буряк                           | 75-100 (середнє значення 90)                   | 40-54 (середнє значення 50)                   |

Анаеробний процес найбільш поширений до використання з метою отримання біогазу з органічних відходів. Біогаз одержують внаслідок розкладання органічних (сільськогосподарських, харчових) відходів. Залежно від якості сировини й технології обробки, такий біогаз містить 55-75% метану. Інші істотні складові частини біогазу - двоокис вуглецю 30-40%, водень 5-10%, азот 1-2% і сірководень. Анаеробне зброджування

здійснюється в герметичних ємностях - реакторах (метантенках) зазвичай циліндричної форми горизонтального або вертикального розташування. Для ефективного зброджування в порожнині реактора необхідно підтримувати постійну температуру у відповідності з прийнятим режимом бродіння: мезофільного або термофільного і здійснювати регулярне перемішування зброджуваного сировини. Збільшення етапів зброджування (доброджування) в додаткових реакторах сприяє збільшенню виходу біогазу та підвищенню вмісту метану в ньому [3].

Основні напрямки використання біогазу:

- В якості палива для отримання теплової, механічної і/або електричної енергії безпосередньо в місці отримання біогазу.
- В європейських країнах практикується подача біогазу до систем газопроводу. Це потребує додаткового обробки біогазу.
- На біогазі можуть працювати генератори, що виробляють енергію, яка використовується для опалення, освітлення, для роботи водонагрівачів, газових плит, інфрачервоних випромінювачів і двигунів внутрішнього згоряння.
- Найбільш простим способом є спалювання біогазу в газових пальниках (котлах), так як газ можна підводити до них з газгольдерів під низьким тиском. Використання біогазу для отримання теплової енергії має суттєві обмеження, які полягають в тому, що потреба в тепловій енергії має сезонний характер.

Відходи продукування біогазу (дигестат), також відносять до органічних відходів; таку біомасу можливо ефективно переробити і утилізувати. Ця біомаса містить значну кількість поживних речовин і може бути використана в якості біодобрива. Біологічні добрива отримують в рідкому та твердому вигляді. Утворені при зброджуванні гумусні матеріали покращують фізичні властивості ґрунту, а мінеральні речовини служать джерелом енергії і харчуванням для діяльності ґрунтових мікроорганізмів, що сприяє підвищенню засвоєння поживних речовин рослинами. Основна перевага дигестату полягає в збереженні в легко засвоюваній формі практично всього азоту та інших поживних речовин, що містяться у вихідній сировині. Значною перевагою таких біодобриків перед

гноєм є те, що при зброджуванні гною у біогазових установках гине значна частина яєць гельмінтів, патогенних мікроорганізмів та насіння бур'янів, що містяться в гної. Однак біологічне забруднення залишається значною загрозою і обмежує використання дигестату, тому у багатьох країнах ЄС використання дигестату обмежено певним терміном зберігання, або заборонено [5]. Замість цього рекомендовано виробництво з дигестату твердих і капсульованих добрив, що утворюють при зневодненні або піроліз біомаси; при цьому фермери зазначають нижчу ефективність таких добрив, в порівнянні з дигестатом [4].

### **Висновки**

Біологічні методи переробки органічних відходів з метою отримання енергетичних продуктів є ефективними з екологічних та економічних поглядів. Ці методи можуть бути застосовані як у локальних, так і в централізованих системах утилізації. Вони вимагають незначних трудових і матеріальних ресурсів порівняно з іншими методами обробки органічних відходів, та забезпечують одержання цінного паливного ресурсу.

### **Література**

1. Organic Waste Recycling: How To Recycle Organic Waste? *Earth Reminder* [Ел. ресурс]. <https://www.earthreminder.com/organic-waste-recycling-process-and-steps/>
2. Горобець О. В. Перспективні напрями утилізації органічних відходів. 2016. 102.
3. R. Korol, H. Sakalova. Methanogenesis of waste in technical systems as an energy conservation factor. *Personality and Environmental Issues*, 2022. 1(2). 22-26.
4. Myroslav Malovanyy, Vladimir Nikiforov, Elena Kharlamova and Alexander Synelnikov. Production of renewable energy resources via complex treatment of cyanobacteria biomass. *Chemistry & Chemical Techn.* **2016**. 10(2). P.252-254.
5. Tymchuk, I., Shkvirko, O., Sakalova, H., Malovanyy, M., Dabizhuk, T., Shevchuk, O., Vasylynych, T. Wastewater a Source of Nutrients for Crops Growth and Development. *Journal of Ecol. Eng.*, **2020**. 21(5), 88-96.

## **ЕФЕКТИВНІСТЬ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ГАЛЬВАНІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ**

**ВС ПОГРЕБЕЦЬ, ОВ КИСЛОВА**

*Київський національний університет технологій та дизайну,  
вул. Мала Шияновська 2, Київ, 01011, kievkislova@gmail.com*

Охарактеризовано різні технології видалення важких металів зі стічних вод, які наносять значну шкоду навколишньому середовищу, зокрема: хімічне осадження, іонообмін, мембранна фільтрація, коагуляція-флокуляція.

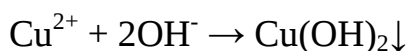
Гальванічне виробництво використовується в багатьох галузях: приладо- та машинобудівній, електронній, електротехнічній, енергетичній та космічній галузях, літакобудуванні та у будівельній індустрії. Проте гальванічне виробництво належить до екологічно небезпечних, оскільки для електрохімічного нанесення покриттів використовується велика кількість токсичних та шкідливих речовин. Утворюються відходи, які в подальшому потрапляють у навколишнє середовище та наносять значну шкоду довкіллю та живим організмам. Велика кількість забруднених стічних вод, які потрапляють в навколишнє середовище, є причиною погіршення якості поверхневих вод, зниження їх самоочисної здатності, виснаження та розпаду водних екосистем, розвитку різноманітних захворювань. Нагальним завданням сьогодення є необхідність удосконалення технологічних процесів для зменшення викидів забруднюючих речовин, підвищення ефективності очищення стічних вод шляхом розробки нових та вдосконалення існуючих технологій [1, 2].

На сьогоднішній день в Україні більшість діючих ліній гальванічного виробництва не забезпечують високого рівня очищення стічних вод. Понад 70% всієї кількості важких металів, що містяться в рідких відходах гальванічного виробництва, становлять іони цинку, хрому, нікелю та міді [3].

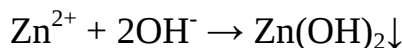
Аналіз існуючих методів очищення гальванічних стоків показав, що на сьогоднішній день масово застосовуються іонообмінні, сорбційні,

мембранні, електрохімічні методи, але найпопулярнішим залишається реагентний метод [4].

Очищення стічних вод від іонів важких металів реагентним методом здійснюється шляхом переведення іонів важких металів у малорозчинні сполуки (гідроксиди або основні карбонати) при нейтралізації стічних вод за допомогою різних лужних реагентів (гідроксидів кальцію, натрію, магнію, оксидів кальцію, карбонатів натрію, кальцію, магнію) [2, 4].



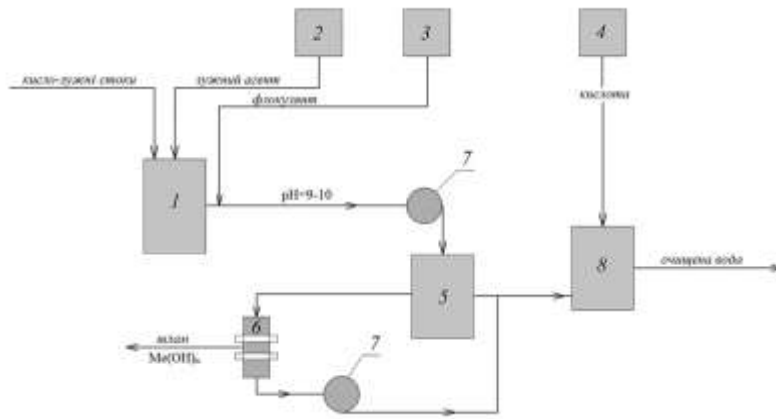
Цинк та хром є амфотерними металами, гідроксиди яких розчиняються в надлишку лугу з утворенням комплексних сполук. Тому осадження слід проводити при  $\text{pH} = 8-9$ , тоді як при значеннях  $\text{pH}$  вищих за 12 утворюються розчинні гідроксокомплекси:



Практикою очищення стічних вод встановлено також, що при спільному осадженні гідроксидів двох або кількох металів при однаковому значенні  $\text{pH}$  досягаються кращі результати, ніж при роздільному осадженні кожного з металів [4].

При локальному знешкодженні стоків, що містять цинк, кадмій та нікель, в якості лужного реагенту рекомендується використовувати вапно (краще третього сорту, що містить  $\text{CaCO}_3$ ). При цьому витрата вапна на 1 вагову частину (в. ч.) становить: для сполук кадмію – 0,5 в. ч.  $\text{CaO}$ , нікелю – 0,8 в. ч.  $\text{CaO}$ , цинку – 1,2 в. ч.  $\text{CaO}$ .

На рис. 1 подано принципову схему реагентного очищення стічних вод від іонів важких металів. При обсягах стічних вод до  $30 \text{ м}^3 / \text{год}$  зазвичай рекомендується періодична схема очищення, а при вищих – змішана або безперервна.



**Рисунок 1** – Принципова схема реагентного очищення стічних вод від іонів важких металів: 1 – реактор-нейтралізатор кисло-лужних стоків; 2 – дозатор лужного агента; 3 – дозатор флокулянта; 4 – дозатор розчину кислоти; 5 – відстійник; 6 – механічний фільтр; 7 – насос; 8 – нейтралізатор очищеної води

Осадження нерозчинних сполук, що утворюються в процесі реагентної обробки, здійснюється у відстійниках (переважно вертикальних з низхідним або висхідним рухом води або в тонкошарових поличних відстійниках). Число відстійників становить не менше двох, а тривалість відстоювання понад дві години.

Для прискорення освітлення нейтралізованих стічних вод рекомендується додавати до них синтетичний флокулянт поліакриламід в кількості 2–5 г на 1 м<sup>3</sup> стічних вод залежно від вмісту іонів металів. Чим меншою є сумарна концентрація іонів металів, тим більшою повинна бути доза флокулянта. Додавання поліакриламиду до стічних вод проводять перед їх надходженням у відстійник.

Вологість осаду після відстійників становить 98–99,5 %. Для зниження вологості осаду до 95–97 % рекомендується додаткове відстоювання протягом 3–5 діб в шламоушільнювачі. В подальшому осад подається на вузол зневоднення, де здійснюють такі операції як вакуум-фільтрацію, центрифугування, фільтрпресування. Вологість осаду після вакуум-фільтру становить 80–85 %, після центрифугування – 72–79 %, після фільтрпресу – 65–70 %.

В окремих випадках перед скиданням очищених стічних вод у каналізацію або при подальшому їх знесоленні методами іонного обміну

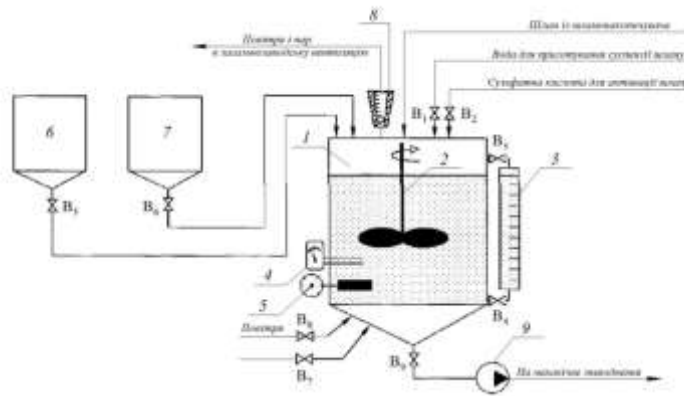
або електродіалізу потрібно зниження концентрації завислих речовин в очищеній воді. Освітлення стоку в даному випадку здійснюється шляхом фільтрування через фільтри з піщаним або двошаровим завантаженням (пісок, керамзит), а також через фільтри з плаваючим завантаженням [5].

Проте використання методу реагентного осадження іонів важких металів, в тому числі і цинку, дозволяє досягнути відносно невисокого рівня очищення при чималих затратах часу та реагентів. Більш перспективною в порівнянні з зазначеними методами є переробка стічної води методом феритизації. Суть феритного методу полягає у створенні в забрудненій воді передумов, які сприяють швидкому формуванню дисперсних речовин з магнітними властивостями в присутності іонів феруму, які зазвичай містяться у рідких відходах гальванічних виробництв. Ця технологія дає можливість повторного використання як сполук важких металів, так і очищеної води на виробництві [6].

При феритизації формуються хімічно стійкі осади в основному з кристалічною феритною структурою, які майже не містять кристалізаційної чи адсорбованої води. Зокрема осади, утворені в результаті очищення стічних вод ліній цинкування методом феритизації, зазвичай, мають складний фазовий склад і містять наступні сполуки: оксиди, оксогідрати та ферити заліза і цинку різних модифікацій [7].

Оптимальні умови для проведення основних технологічних операцій процесу феритизації:

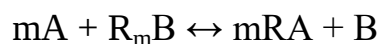
- рН – 10...10,5;
- рівень вихідних концентрацій іонів важких металів,  $C_{\text{вих. заг.}} \leq 20$  г/л;
- співвідношення концентрацій іонів  $\text{Fe}^{2+}/\text{Zn}^{2+}$  - 5/1;
- час процесу – 15...20 хв;
- температура середовища – 70 °С.



**Рисунок 2** – Технологічна схема феритного процесу:

- 1 – реактор феритизації; 2 – мішалка; 3 – скло для вимірювання рівню; 4 – рН-метр;  
5 – термометр; 6, 7 – ємності з розчинами сульфату заліза (II) та їдкого натру;  
8 – ротаметр; 9 – насос; B1...B9 – вентилі.

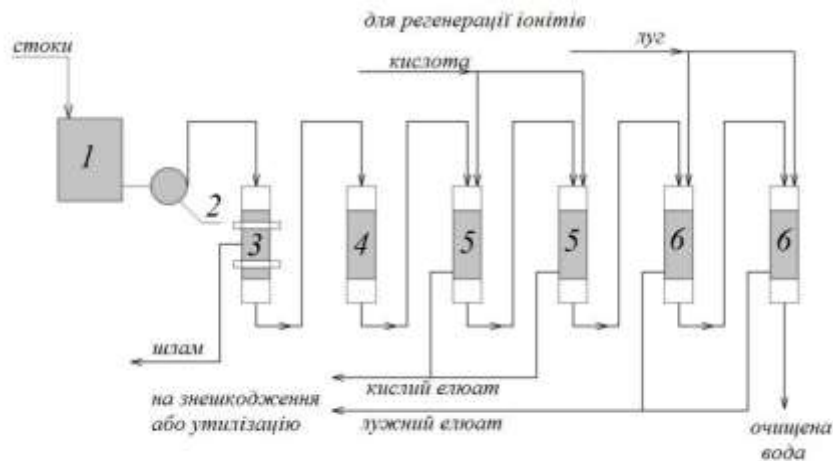
При іонообмінному очищенні з стічних вод електрохімічних виробництв видаляють солі важких, лужних і лужноземельних металів, вільні мінеральні кислоти і луги, а також деякі органічні речовини. Очищення стічних вод проводять за допомогою синтетичних іонообмінних смол (іонітів). Це практично нерозчинні в воді полімерні матеріали, що випускаються у вигляді гранул величиною 0,2–2 мм. У складі молекули іоніту є рухливий іон (катіон або аніон), здатний у певних умовах вступати в реакцію обміну з іонами аналогічного знаку заряду, що знаходяться у водному розчині (стічній воді). Іонний обмін відбувається в еквівалентних відношеннях та в більшості випадків є оборотним. Реакції іонного обміну перебігають внаслідок різниці хімічних потенціалів іонів, що обмінюються між собою. У загальному вигляді ці реакції можна представити таким чином [8]:



Реакція перебігає до встановлення іонообмінної рівноваги. Швидкість встановлення рівноваги залежить від зовнішніх і внутрішніх факторів: гідродинамічного режиму рідини, концентрації іонів, що обмінюються між собою, структури зерен іоніту, його проникності для іонів.

Іонообмінне очищення стічних вод зазвичай здійснюють шляхом послідовного фільтрування через катіоніти (в  $H^+$  - формі) та аніоніти (в  $OH^-$  - формі). У деяких випадках для очищення водних розчинів застосовують іоніти в сольовій формі (наприклад, катіоніти в  $Na^+$  - формі, аніоніти в  $Cl^-$  - формі). При наявності у воді аніонів сильних і слабких кислот аніоніювання ведуть в дві ступені, вилучаючи спочатку аніони сильних кислот на слабоосновних аніонітах, а потім – аніони слабких кислот на сильноосновних аніонітах.

На рисунку 3 подано принципову схему очищення промивних і стічних вод іонообмінним методом при початковій концентрації іонів важких металів до 300 мг/л.



**Рисунок 3** – Принципова схема очищення промивних і стічних вод іонообмінним методом: 1 – накопичувач стоків; 2 – насос; 3 – механічний фільтр; 4 – сорбційний фільтр; 5 – катіонітні фільтри; 6 – аніонітні фільтри

Принципово можливі три варіанти іонообмінного очищення стічних вод електрохімічних виробництв:

- 1) очищення стічних вод, що утворюються в окремих технологічних процесах – локальне очищення;
- 2) очищення загального стоку окремого цеху або ділянки;
- 3) очищення стічних вод, підданих попередньому знешкодженню за допомогою хімічних реагентів для видалення з них мінеральних солей.

З економічної точки зору найбільш доцільним є іонообмінне очищення не загального стоку цеху, а локальна очистка. В цьому випадку

переробка і повернення у виробництво концентрованих розчинів, що утворюються при регенерації іонітів і містять різні хімічні продукти, викликає найменші труднощі. Перспективною також є розробка енергоефективних та екологічно безпечних технологій очищення стоків, які дають змогу повторно використовувати не тільки очищені води для гальванічного виробництва, але й концентрувати відходи кольорових металів для подальшого застосування.

### Література

1. Fu, F., Qi, W. Removal of heavy metal ions from wastewaters: a review. *J. EnvironManag*, 92(3), 2009. P. 407 – 418.
2. Rajoria, S.; Vashishtha, M.; Sangal, V.K. Environmental Science and Pollution Research Treatment of Electroplating Industry Wastewater: A Review on the Various Techniques. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2022**, 1, 3.
3. Qin, J.J.; Wai, M.N.; Oo, M.H.; Wong, F.S. A Feasibility Study on the Treatment and Recycling of a Wastewater from Metal Plating. *J.Memb.Sci.* **2002**, 208, 213–221.
4. Очищення від сполук цинку, міді, нікелю, свинцю, кадмію, кобальту. Електронний ресурс. Режим доступу: [https://stud.com.ua/177729/ekologiya/ochischennya\\_spoluk\\_tsinku\\_midi\\_nikelyu\\_svintsyu\\_kadmiyu\\_kobaltu](https://stud.com.ua/177729/ekologiya/ochischennya_spoluk_tsinku_midi_nikelyu_svintsyu_kadmiyu_kobaltu). Дата звернення: 15.10.2023.
5. Нестер А. А. Стічні води підприємств та їх очищення : монографія / А. А. Нестер, Н. М. Корчик, Б. А. Баран. – Хмельницький : ХНУ, 2008. – 171 с.
6. Tu, Y.J., Chang, C.K., You, C.F., Wang, S.L. Treatment of complex heavy metal wastewater using a multi-staged ferrite process. *J. Hazard. Mater.* **2012**, 209, 379–384.
7. Ємчура, Б.; Кочетов, Г.; Самченко, Д. Феритна очистка стічних вод від іонів цинку: вплив швидкості аерації. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки.* **2018**, 30, 14-22.
8. Hsu, C.C.; Tran, T.T.V.; Kumar, S.R.; Lue, S.J. Highly Permeable Transition Metal Ions through Perfluorosulfonate Cation-Exchange Membrane. *Polym. Bull.* **2019**, 76, 6257–6274.

## ВИКОРИСТАННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ СОРБЕНТІВ В СИНТЕЗІ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

ЛР ПОСМІТЮХ, ГВ САКАЛОВА

Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, вул. Острозького 32, м. Вінниця, 21001, [Kafedra.Chemistry@vspu.edu.ua](mailto:Kafedra.Chemistry@vspu.edu.ua)

Проведено дослідження використання відпрацьованого бентоніту в процесах наповнення полімерів. Метою роботи було дослідження впливу наповнювачів на хід зшивання та функціональні властивості вулканізованих еластомерних сумішей. Випробувані композиції включали хлоропреновий каучук і хлорсульфований поліетилен. Як речовину для зміцнення використано нанонаповнювачі. В якості нанонаповнювача використано монтморилоніт, та відпрацьований монтморилоніт, насичений іонами купруму

Аналіз останніх публікацій показав, що важливим напрямком наукових досліджень на сьогоднішній день є визначення ефективних способів регенерації та шляхів утилізації сорбентів, що попередньо були використані в якості сорбентів при очищенні стічних вод та комунальних стоків. Адже утилізація сорбційних матеріалів допомагає не тільки зменшити техногенне навантаження на навколишнє середовище, але і вдосконалити технології створення альтернативних матеріалів внаслідок застосування високоякісного глинистого матеріалу [1].

В роботі досліджено вплив наповнювачів – модифікованих монтморилонітів - на хід зшивання та на функціональні властивості композицій, що містять стирол-бутадієн-каучук, хлоропреновий каучук або хлорсульфований поліетилен. Як зміцнювальну речовину було використано нанонаповнювачі.

*Мета роботи* полягала у використанні монтморилоніту та відпрацьованих матеріалів, попередньо використані у технологіях водоочищенні як адсорбент. Очікувано, що такі наповнені еластомерні композиції будуть мати задовільні властивості.

Було досліджено вплив наповнювачів, які поглинули іони важких металів (відпрацьований адсорбційний матеріал) на зшивання та властивості еластомерних сумішей. Досліджено суміш хлоропренового каучуку зі стирол-бутадієном (CR/SBR). Як вулканізуючу речовину для

випробуваних сумішей CSM / SBR і CR / SBR використовували оксид міді (I) ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ). Для досліджень використані матеріали промислового виробництва:

1. Хлоропреновий каучук (CR) під назвою Ваурген 216, виробництва Lanxess GmbH (комбінований вміст хлору близько 40%);
2. Хлорсульфоновий поліетилен (CSM) під торговою назвою Нуралон 20, виробництва DuPont (сумісний вміст хлору близько 29%);

Нанобент ZR1 (монтморилоніт, модифікований диметилбензил-алкіламоній хлоридом) і нанобент ZR2 (монтморилоніт відпрацьований, відходи водоочисних технологій з вмістом іонів  $\text{Cu}^{+2}$  3%, модифікований диметилбензил-алкіламоній хлоридом).

Додаткові матеріали:

Вулканізуюча група

–оксид міді ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) фірми POCh S.A.

–стеаринова кислота (стеарин) фірми Chemical Worldwide Business S.A.

Суміші готували на лабораторних вальцях з розмірами циліндрів: діаметр - 200 мм, довжина - 450 мм, температура 433 К. Загальний час приготування кожної суміші не перевищував 10 хвилин. Суміші відстоювали приблизно 24 години перед вулканізацією [3]. Склад еластомерних сумішей представлений у таблиці 1

**Таблиця 1** – Склад еластомерних сумішей Бутадієнстиреновий каучук (SBR)/Хлоропреновий каучук(CR)

| Варіант               | 1 (контроль) | 2  | 3  | 4  |
|-----------------------|--------------|----|----|----|
| CR                    | 80           | 80 | 80 | 80 |
| SBR                   | 20           | 20 | 20 | 20 |
| $\text{Cu}_2\text{O}$ | 4            | 2  | 4  | 4  |
| Стеарин               | 1            | 1  | 1  | 1  |
| ZR1                   | -            | -  | 5  | -  |
| ZR2                   | -            | 7  | -  | 5  |

Наповнювачі вводили в розплав полімеру на початку змішування. Після охолодження та відстоювання вводили компоненти вулканізуючої групи. Вулканізацію здійснювали на електропресі. Зшивання еластомерних сумішей здійснювали шляхом розміщення в сталевих формах між пластинами гідравлічного преса, що нагріваються електрично, при температурі 433К. Зшивання відбувалося за час, визначений кінетикою вулканізації (30 хв), під тиском 300 бар. Отримані зліпки кондиціонували протягом 24 годин. Потім з вулканізату вирізали відповідні зразки для проведення випробувань дослідних зразків.

Результати визначення кінетики вулканізації дослідних зразків показують, що наявність наповнювачів впливає на хід зшивання сумішей CSM/SBR з оксидом міді (І). Час структуроутворення для незаповненої суміші становив 1,06 хв. Серед сумішей, що містять монтморилоніти, найкоротший час обпалювання (1,02 хв) досягнуто при витраті наповнювача з відпрацьованого монтморилоніту 5 м.ч., і цей показник на 0,5 хв нижчий, ніж для найгіршого варіанту 2. Тобто час структуроутворення залежить як від вмісту наповнювача так і витрат оксиду міді (І).

Отримані значення об'ємного рівноважного набухання показали, що вулканізати, які містять додатково іони купруму у наповнювачі, були більш зшиті та менше набухали в толуені та гептані. Загалом вулканізати набухають краще в толуолі, ніж у гептані. Це пояснюється більшою термодинамічною схожістю толуолу з досліджуваною гумовою сумішшю [4].

Результати досліджень фізико-механічних властивостей вулканізаців CR/SBR свідчать, що найнижчу міцність при розриві має зразок варіанту 2, однак після проведення старіння матеріалу його властивості найкращі. Також варіант 2 характеризується високим видовженням нативних зразків та зразків після термоокислення. Однак, узагальнюючи показники напруження – видовження варто зазначити, що варіант 4 більш близький за значеннями як до контрольного варіанту, так і до варіанту 3.

На основі результатів досліджень пружно-деформаційних властивостей еластомерів робимо висновок, що чим нижче значення модуля пружності  $\Delta G'$ , тим менш протягну структуру наповнювача має вулканізатор. Проведені випробування показують, що зразок 4, що містить відпрацьований бентоніт у кількості 5 м.ч., отримав найвище значення модуля пружності  $\Delta G' = 1,971$  МПа, тобто має найбільш розгалужену структуру наповнювача. З поміж усіх заповнених вулканізаторів контрольний зразок 1, характеризувався найнижчим значенням  $\Delta G' = 1,536$  МПа. Таким чином, модуль пружності може бути непрямым показником, що характеризує ефективність наповнення полімеру [3].

Визначено час горіння в повітрі та кисневий індекс випробуваних вулканізованих еластомерів. Аналізуючи наведені результати випробувань, можна зробити висновок, що випробувані вулканізовані еластомери є негорючими завдяки за класифікацією визначеного кисневого індексу. Значення ОІ усіх вулканізаторів перевищило 28%. Найвище значення кисневого індексу – варіант 4 (ОІ = 37%).

### **Висновки**

Застосування бентоніту у виробництві полімерів забезпечує якісне формування структури полімеру за рахунок специфічних колоїдно-хімічні властивостей основного мінералу бентонітових глин – монтморилоніту. Застосування бентоніту, попередньо використаного у технологіях водоочищення, дозволяє додатково вирішити проблему ефективної утилізації відпрацьованих адсорбційних матеріалів. На ступінь зшивання еластомерів впливає як витрати наповнювача, так і вулканізатору. При цьому походження монтморилоніту на процеси структуроутворення сумішей CSM/SBR впливає в незначній мірі.

### **Література**

1. Myroslav Malovanyy, Oleg Blazhko, Halyna Sakalova, Tamara Vasylinych Ecological Aspects of Clay Sorption Materials Usage in Leather and Fur Production Technologies. *Materials Science Forum*. 2021. 1038. 276-281.

2. Сакалова Г.В., Василінич Т.М., Петрук Г.Д., Трач І.А. Оцінка ефективності використання відпрацьованого глинистого сорбенту: Львів. 2020. 364-376.
3. J.Pagacz, K. Pielichowski. Modyfikacja krzemianów warstwowych do zastosowań w nanotechnologii. Kraków. 2007. 230.
4. Rostyslav Kryklyvyi, Halyna Sakalova, Kateryna Petrushka, Liubov Luchyt Use of clay sorptive materials in the synthesis of polymer materials. *Environmental Problems*. 2022.7(1). 18-22.

## **ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАПРЯМ ВИКОРИСТАННЯ СУЛЬФАТОВАНОГО ГАЛАКТАНУ З ЧОРНОМОРСЬКОЇ ЧЕРВОНОЇ ВОДОРОСТІ «ФІЛОФОРА БРОДІ»**

**ОП СУМСЬКА, НВ ПАНЧЕНКО**

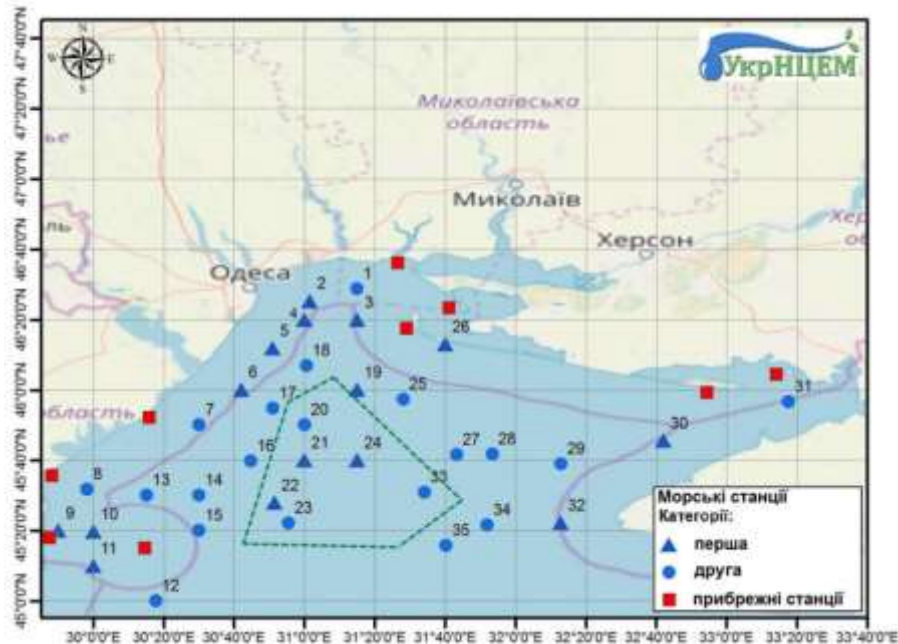
*Херсонський державний аграрно-економічний університет,  
просп. Університетський, 5/2, Кропивницький, 25030, sumskaetdt@gmail.com*

Наведено відомості про динаміку розповсюдження чорноморської філофори, перспективи виробництва сульфатованого галактану з чорноморської червоної водорості філофора Броді, визначено основний напрям його використання у харчовій промисловості.

**Вступ.** В північно-західній частині Чорного моря розташоване так зване «філофорне поле Зернова» (ФПЗ) - унікальне скупчення червоної агароносної водорості роду філофора Броді. У період бурхливого розвитку евтрофування (1970 – 90 рр.) і, як наслідок, придонної гіпоксії, відбулася деградація поля, що відобразилось на скороченні біомаси та ареалу її розповсюдження. В останнє десятиліття відбувається відновлення філофорного поля та поліпшення його екологічного стану. Червоні водорості, що ростуть у водах Чорного моря, містять унікальні сульфатовані галактани, важливою властивістю яких, особливо з точки зору практичного використання, є їх здатність утворювати в'язкі та гелеві розчини у водних середовищах. На сьогодні сульфатовані галактани червоних водоростей, так само, як і бурих, є найважливішими продуктами, які одержують із морських водоростей. Знання про їхні властивості розширюються, що відкриває нові можливості їх застосування у харчовій, фармацевтичній, хімічній, текстильній, целюлозно-паперовій, парфумерно-косметичній промисловості, у біотехнології, медицині, мікробіології. Сульфатовані полісахариди, витягнуті з червоних морських водоростей є одними з ключових стабілізуючих, емульгуючих і структуроутворюючих добавок, які використовуються в харчовій промисловості. Наразі потреба харчової галузі України у регуляторах консистенції продуктів задовольняється практично повністю за рахунок імпорتنих поставок. Особливої актуальності набувають дослідження, спрямовані на пошук перспективних регуляторів консистенції харчових продуктів вітчизняного виробництва та розроблення технології їх застосування.

**Аналіз основних досягнень і літератури.** Перші скупчення червоних водоростей на північнозахідному шельфі Чорного моря були зафіксовані в квітні 1909 року академіком С. А. Зерновим, які були названі на його честь «Філофорним полем Зернова». У 1950-х роках ФПЗ було найбільшим у світі скупченням червоноагароносних водоростей роду *Phyllophora* (*nervosa*, *hrodiaei*, *memhranifolia*, *pseudoceranoïdes*), займаючи площу 11 000 км<sup>2</sup>. Загальна біомаса водоростей була за різними оцінками 7-10 мільйонів тонн. На початок 1980-х років водоростеве поле скоротилося до 3 000 км<sup>2</sup> і його біомаса до 1,4 млн. тон. На початку 1990-х років площа Поля становила лише 500 км<sup>2</sup>, а біомаса не перевищувала 300 - 500 тис. тон [1]. На початку нового тисячоліття відзначено відновлення фітоценозів ФПЗ [2].

Угруповання ФПЗ населяють найбільш антропогенно навантажену частину Чорного моря, на яку впливає стік трьох великих європейських річок - Дунай, Дністер і Дніпро. Тому біота цієї акваторії є найбільш чутливим показником моніторингу, який використовують для оцінки всієї екосистеми Чорного моря.



**Рисунок 1** – На картосхемі зображено станції моніторингу ФПЗ [3]

Державний моніторинг вод здійснюється з метою забезпечення збирання, обробки, збереження, узагальнення та аналізу інформації про стан водних об'єктів, прогнозування його змін та розроблення науково

обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень у галузі використання, охорони вод та відтворення водних ресурсів.

Значні розміри ФПЗ визначають просторову неоднорідність його біотопів, пов'язану з якістю донних відкладень, глибиною і ступенем впливу річкових вод. Відповідно до відмінностей якості біотопів ФПЗ показники фітоценозів мають різні значення на станціях. Більшість відмінностей спостерігається за індексом біомаси. Показники, які мають високий ступінь сезонності та просторової мінливості (тобто біомаса та індекс поверхні фітоценозів  $SI_{ph}$ ), менш придатні для інтегрованої оцінки таких великих об'єктів, як ФПЗ. Низькі коефіцієнти коливань для показників  $S/W_x$  (індекс середньої питомої поверхні структурних елементів водоростей) та  $S/W3Dp$  (індекс екологічної активності трьох домінантів) стали підставою для використання їх значень в інтегрованому порівняльному аналізі екологічного стану Філофорного поля. Середній показник відносної екологічної якості (EQR) для показників:  $S/W_x$  та  $S/W3Dp$  відповідає єдиній категорії ESC (Ecological Status Class) – «Задовільний стан». Важливо, що на сучасному етапі «стійкої тенденції деєвтрофікації» Чорного моря, на Філофорному полі відбувається інтенсивне відновлення червоних водоростей, для яких глибини шельфу є сприятливими умовами – оскільки вони є сциафільними (тіньовитривалими) [3].

На підставі даних та інформації, отриманих в результаті здійснення державного моніторингу морських вод, визначено їх екологічний стан, відзначено прогрес у досягненні «доброго» екологічного стану морських вод в межах виключної морської економічної зони та територіального моря України. Вищевикладене дає підставу на сьогодні розглядати питання відновлення видобутку чорноморської червоної водорості філофори броді як промислової сировини для отримання сульфатованого галактану. За оцінками фахівців, переробка всього лише десятої частини водорості від теоретично можливого обсягу (тобто без будь-якої небезпеки підриву

сировинної бази), дозволить одержувати щороку близько 10 тис. тонн полісахариду.

Морські водорості викликають великий інтерес у різних галузях і мають численні комерційні застосування [4, 5]. Робота [6] пов'язана з хімічною та фізичною характеристикою, спектральним та термодинамічним дослідженням каррагінану, виділеного з *Nurpea musciformis* (червоних водоростей) узбережжя Карачі. Однак відомо, що лише обмежена кількість видів водоростей доступна для зручного застосування.

В останні десятиліття дослідження полісахаридів стали основною метою ряду досліджень. Вивчення властивостей полісахаридів важливо для розробки технологій їх використання в промисловості, вони є основою для застосування полісахаридів у функціональних харчових продуктах. Автори [7] досліджували реологічні властивості та інфрачервоний спектр полісахаридів, екстрагованих із водорості *Cystoseira myriophylloides* в діапазоні концентрацій від 3 до 9% (мас./об.) і при різних температурах. Результати реологічних характеристик при постійній швидкості зсуву показали псевдопластичні властивості, а динамічні реологічні властивості продемонстрували в'язкопружну поведінку. Текучість і в'язкопружні характеристики полісахаридів описані за допомогою степеневому закону (модель Оствальда). Автори дослідження дійшли до висновку, що полісахариди, витягнуті з *Cystoseira myriophylloides*, можуть мати інтерес як загусники.

Таким чином, досить перспективною є орієнтація на природні полісахариди, оскільки при раціональному підході рослинна сировина є практично невичерпним джерелом.

**Метою даної роботи є визначення найбільш екологічного й технологічно обґрунтованого підходу до використання сульфатованого галактану з чорноморської червоної водорості філофора (СГЧЧВФ).**

**Методика досліджень.** Сульфатований галактан, що використовується в цій роботі виготовлений на Одеському дослідно-експериментальному гідролізно-агароїдному заводі, ЧВОРП "Антарктика", має вигляд порошку кремового кольору. Вологість 11%, масова частка золи 25,5%. Вміст 3,6-ангідрогалактози - 21,3%, масова частка сульфоефірних груп (в перерахунку на SO<sub>4</sub>) - 24,2%.

СГЧЧВФ утворюються із дисахаридних ланок, що повторюються [A→B]<sub>n</sub>, при цьому у положенні А — завжди є 3-зв'язана β-D-галактопіраноза, а у положенні В — 4-зв'язана α-галактопіраноза чи 3,6-ангідрогалактопіраноза, яка має L- або D-конфігурацію.

Розчини з СГЧЧВФ готують шляхом внесення порошку в холодну воду, з наступним нагріванням суміші до 80-85°C, витриманням при цій температурі протягом 10 хв і охолодженням при постійному перемішуванні зі швидкістю 90-100 хв<sup>-1</sup>.

Розчинення СГЧЧВФ контролювали рефрактометричним методом.

Ефективну в'язкість зсуву розчинів СГЧЧВФ вимірювали на ротаційному віскозиметрі «Реотест-2», Німеччина.

**Результати досліджень.** Встановлено залежності в'язкості розчинів СГЧЧВФ від градієнта швидкості зсуву в інтервалі 3 -1312 с<sup>-1</sup>. Як і для більшості високомолекулярних систем зі збільшенням швидкості зсуву відбувається аномальне зниження в'язкості. Отримані залежності є, мабуть, ділянками "структурних гілок" повних реологічних кривих, оскільки будь-яких ознак переходу до режимів перебігу з найбільшою або найменшою в'язкістю не спостерігається.

У дослідженому інтервалі швидкостей зсуву, в'язкість розчинів підпорядковується степеневому закону і описується рівнянням Оствальда-Вейля:

$$\eta = \frac{P}{\dot{\gamma}} = k\dot{\gamma}^{n-1}$$

Значення констант  $k$  та  $n$  рівняння для 1-3 % - них розчинів СГЧЧВФ наведені в таблиці.

**Таблиця** – Значення констант рівняння Оствальда-Вейля

| Концентрація СГЧЧВФ, % | $k$ , Па·с          | $n$   |
|------------------------|---------------------|-------|
| 1,0                    | $3,7 \cdot 10^{-3}$ | 0,950 |
| 1,5                    | 0,234               | 0,609 |
| 2,0                    | 5,320               | 0,420 |
| 2,5                    | 7,467               | 0,411 |
| 3,0                    | 10,43               | 0,403 |

Зі збільшенням концентрації СГЧЧВФ від 1 до 2% індекс течії розчину різко зменшується, що свідчить про зростання структурованості системи. Розчини, що містять більше 2% сульфатованого галактану, мають досить розвинену просторову структуру.

Отримані дані реологічних властивостей розчинів СГЧЧВФ дають можливість спрогнозувати властивості гелів для структурованих продуктів харчування з розширенням їх функціонального призначення.

### **Висновки**

Обговорено екологічні аспекти виробництва сульфатованого галактану з чорноморської червоної водорості «філофора Броді». Показано, що застосування такого препарату доцільно для розширення асортименту регуляторів консистенції продуктів харчової промисловості України.

### **Література**

1. Zaitsev, Yu.; Mamaev, V. Biological Diversity in the Black Sea: A Study of Change and Decline. United Nations Publications Sales: New York, 1998, Volume 3. No. 95. III.B.6: Black Sea Environmental Series, 92-94.
2. Берлінський, М. А.; Деньга, Ю. М.; Матвеев, А. В.; Подуст, О. С.; Попов, Ю. І.; Третьяк, І.П. Вплив мінливості умов морського

середовища на динаміку розповсюдження чорноморської філофори (поля Зернова). *Вісник ОНУ*. 2015, 19, 40-57.

3. Коморін, В. М.; Трет'як, І. П.; Грандова, М. О.; Наболін, М. В.; Чужекова, Т. О. Науково-методичне забезпечення створення та розвитку мереж охоронюваних морських акваторій та приморських територій. Том 2. Базова оцінка стану ботанічного заказника загальнодержавного значення «Філофорного поля Зернова», розробка проекту системи постійного моніторингу; Звіт про науково-дослідницьку роботу: Український науковий центр екології моря, Одеса, січень 2019.
4. Volery, P., R. Besson and C.S. Lequart, 2004. Characterization of commercial carrageenans by fourier transform infrared spectroscopy using single reflection attenuated total reflection. *J. Agric. Food Chem.*, 52: 7457-7463.
5. Hussain, S.A., V.A. Saeed and A. Masood, 2001. Economic seaweeds of pakistan coast. *Pak. J. Mar. Biol.*, 7: 281-290.
6. Fatima Bi, Muhammad Arman, Mahmood-ul-Hassan and Seema Iqbal, 2007. Chemical and Thermodynamic Studies of K-carrageenan Isolated from *Hypnea musciformis* (Red Algae) of Karachi Coast. *Trends in Applied Sciences Research*, 2: 395-403.
7. Zaim S, Cherkaoui O, Rchid H, Nmila R, El Moznine R. Rheological investigations of water-soluble polysaccharides extracted from Moroccan seaweed *Cystoseira myriophylloides* algae. *Polymers from Renewable Resources*. 2020;11(3-4):49-63

## РИНКОВІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ КАРБОНАТУ КАЛЬЦІЮ В ЯКОСТІ НАПОВНЮВАЧА ДЛЯ ПОЛІЕТИЛЕНУ

БМ САВЧЕНКО, ОО СЛЄПЦОВ, ЄС БУЛГАКОВ  
Київський національний університет технологій та дизайну,  
вул. Мала Шияновська 2, Київ, 01011,  
[1079@ukr.net](mailto:1079@ukr.net), [slyepcov.oo@knutd.edu.ua](mailto:slyepcov.oo@knutd.edu.ua), [y.bulhakov@gmail.com](mailto:y.bulhakov@gmail.com)

Робота присвячена аналізу стану питання економічної та функціональної доцільності використання карбонату кальцію в якості наповнювача для поліетилену.

*Ключові слова:* полімерні матеріали, наповнювач, поліетилен, карбонат кальцію, економічна доцільність.

Карбонат кальцію є надзвичайно популярним наповнювачем для полімерних матеріалів і використовується у широкому спектрі застосувань, включаючи виробництво гуми, полісульфонів, ПВХ, поліпропілену, полілактиду та олефінових еластомерів, а також у виготовленні труб та біаксіально орієнтованих плівок. Карбонат кальцію може бути отриманий двома методами: хімічним осадженням (шляхом гашення негашеного вапна та подальшого оброблення розчином вуглекислоти) або фізичним подрібненням природних матеріалів (таких як мармур, вапняк або крейда), а потім просіюванням через сита або водне осадження для досягнення необхідного розміру часток [1].

Карбонат кальцію може виконувати різноманітні корисні функції у ролі наповнювача, такі як використання його як пігменту, модифікатора реології, матуючої добавки, антиблоку для плівок, біологічно нейтрального наповнювача для біорозкладних пластиків, добавки для збільшення щільності кінцевого виробу, покращення диспергованості інших наповнювачів або барвників, модифікації механічних характеристик (збільшення модулю пружності) і багато інших. Однак в більшості випадків українські виробники полімерних виробів використовують карбонат кальцію головним чином для однієї цілі: зниження собівартості кінцевого виробу.

Постачальники полімерних матеріалів і наповнювачів завжди встановлюють ціни на свої продукти у гривнях (або іншій валюті) за одиницю ваги. Ця практика розповсюджена у всіх аспектах обліку, включаючи аналітичні компанії, які аналізують ринок, а також у внутрішньому обліку підприємств, які переробляють полімери. Собівартість також обчислюється у гривнях за кілограм готової продукції. Однак ніхто практично не звертає уваги на об'ємну вартість сировини, яку вони закупають, хоча цей параметр є важливим для кінцевого споживача. Наприклад, ми купуємо плівку або шпалери у гривнях за квадратний метр, пакети-майка в магазинах або вазони для квітів – у гривнях за одиницю, а труби або шланги для поливу – у гривнях за метри довжини. Практично жоден полімерний виріб не продається кінцевому споживачу у гривнях за кілограм. Наприклад, на українському ринку, який характеризується високим рівнем конкуренції та споживчим тиском, українські виробники часто надають знижки мережам роздрібної торгівлі, щоб зберегти своє місце на ринку і підтримати обсяг виробництва для забезпечення стабільності підприємства [2].

Самі знижки розраховуються у відсотках від ціни кінцевого продукту (як вже зазначено, ці ціни виражені у гривнях за одиницю, гривнях за метр чи гривнях за квадратний метр). Потреба у зниженні цін стимулює підприємців до зменшення собівартості своєї продукції. Оскільки собівартість продукту також виражена в гривнях за кілограм (як ми вже зазначали, вся сировина для переробки надходить до підприємця в гривнях за кілограм), підприємець легко визначає найпростіший і очевидний спосіб економії: додавати більше дешевих компонентів до своєї суміші та менше дорогих. Зазвичай карбонат кальцію є дешевшим компонентом, тоді як основний полімер є дорогим. Однак вплив додаваного карбонату кальцію на щільність кінцевого продукту залишається складним аспектом, який не всі беруть до уваги. Зміна щільності продукту є критичним фактором у цьому розрахунку, оскільки

зниження вагової собівартості продукту за допомогою карбонату кальцію не завжди пропорційно знижує об'ємну собівартість того ж продукту.

Найбільш масовим видом переробки термопластичних полімерів є компаундування. Найбільш вживаним полімером в компаундуванні є лінійний поліетилен низької щільності через його високу сумісність з поліолефінами. Таким чином отримуються барвники, суперконцентрати наповнювачів, концентрати модифікаторів, УФ-стабілізаторів тощо.

Як показують дослідження з розрахунками собівартості [3], при розгляді можливості надання знижки в 5% клієнту на термозбіжну плівку з лінійного поліетилену з метою збереження прибутковості, виробнику необхідно додати понад 80% карбонату кальцію до плівки та зменшити її собівартість у гривнях за кілограм більше ніж вдвічі. Однак цей підхід призводить до значного погіршення якості плівки, яка втрачає свою еластичність, міцність на розрив і стає практично непрозорою. Відомо, що цей підхід не підходить для високо-орієнтованих виробів, таких як біаксіально-орієнтовані плівки, які практично не змінюють своєї щільності при введенні до 20% карбонату кальцію. Також слід зауважити, що такі високонаповнені компаунди, які розраховані вище, досить рідко використовуються на практиці. Зазвичай підприємства мають обмежені можливості для самостійного компаундування та виробництва основної продукції і, отже, вони вибирають здебільшого змішані варіанти, такі як готові компаунди від компаній-компаундерів або високонаповнені суперконцентрати карбонату кальцію на основі лінійного поліетилену, відомі як "крейдові добавки". Такі суперконцентрати широко застосовуються для виробів з поліолефінів, таких як поліетиленова будівельна або зернова плівка, пластикові відра та інші [4].

## **Висновки**

Наше дослідження показало, що карбонат кальцію має широкий спектр корисних функцій у ролі модифікатора реології, кавітаційного агента, теплообмінного агента, модифікатора модулю пружності, міцності

на розрив та інших. Проте, використання карбонату кальцію не завжди обґрунтоване в його найпоширенішому застосуванні, яке передбачає зниження собівартості готової продукції. Це може бути виправдано в випадках, коли готова продукція продається в валютних одиницях за вагою або ціна на карбонат кальцію нижча за рівноважну ціну. Ми також провели розрахунки собівартості полімерних композицій різних застосувань і довели, що необхідно приділяти увагу об'ємній собівартості готової продукції, щоб розробляти ефективну ринкову стратегію для подальшого розвитку виробництва.

### **Література**

1. Pilar Castejón, Marcelo Antunes and David Arencón. Development of Inorganic Particle-Filled Polypropylene/High Density Polyethylene Membranes via Multilayer Co-Extrusion and Stretching Polymers 2021, 13, 306. <https://doi.org/10.3390/polym13020306>
2. Zhang, X.M.; Elkoun, S.; Ajji, A.; Huneault, M.A. Oriented structure and anisotropy properties of polymer blown films: HDPE, LLDPE and LDPE. Polymer 2004, 45, 217–229. Diamond, G.; Murphy, V.; Leclerc, M.; Goh, C.; Hall, K.; LaPointe, A. M.; Boussie, T.; Lund, C. Coordination catalysts. US 20020002257 A1, January 3, 2002.
3. С.Ф. Прокопівний *Підручник: Економіка підприємства*; Міністерство освіти України, Київ 2001.
4. Jancar, J.; Fekete, E.; Hornsby, P.R.; Jancar, J.; Pukánszky, B.; Rother, R.N. (Eds.) Mineral Fillers in Thermoplastics I: Raw Materials and Processing; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 1999; pp. 67–155.

## **ЕКОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ПРИ ВИБОРІ ПОЛІМЕРНОЇ МАТРИЦІ ДЛЯ КОМПОЗИТНИХ ЕКРАНУЮЧИХ ПОКРИТТІВ**

**ВВ ЧЕРНИШ, ОО БУТЕНКО**

*Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала Шияновська, 2,  
Київ, 01011, [butenko.oo@knutd.com.ua](mailto:butenko.oo@knutd.com.ua)*

В даний час значна увага приділяється розробці та впровадженню полімерних композитів спеціального призначення на основі вуглецевих матеріалів та різних полімерних матриць. Тому актуальним є пошук нових рішень при виготовленні захисних композитних покриттів широкого вжитку.

Останнім часом існує величезна проблема – проблема електромагнітного захисту. Традиційно інженерно-технічні засоби захисту від електромагнітного випромінювання для екранування стін, перегородок і вікон виконуються із застосуванням металевих матеріалів [1]. Проте застосування таких матеріалів не завжди є зручним, тому що це призводить до збільшення маси конструкції, потребує додаткового спеціального обладнання, передбачає захист від корозії та значно збільшує вартість. Тому зручно застосовувати захисні покриття у вигляді фарби. Важливо, щоб такі покриття забезпечували надійну адгезію, не втрачали б своїх захисних властивостей і не впливали б на здоров'я людини в процесі експлуатації. Виробництво таких покриттів певною мірою розвинуто на сьогоднішній день [2]. Тому актуальною задачею є пошук нових рішень при виготовленні захисних композитних покриттів широкого вжитку. Основою таких композитів є полімерна матриця та електропровідні дисперсні складові, якими можуть виступати метали або електропровідні вуглецеві матеріали. Електропровідність композиту залежить від взаємодії між складовими системи. Досить сильна взаємодія між макромолекулами і частинками призведе до агрегації останніх, що значно ускладнює утворення електропровідної систем в композиті. Взаємодія між макромолекулами і частинками призводить до утворення ізолюваного шару навколо частинок, тому на практиці необхідно зменшити цю взаємодію. Ефективність такої взаємодії залежить від полярності

складових. Так як вуглецевий матеріал є малополярною речовиною, бажано обирати полімери, що мають більшу полярність.

### Матеріали і методи досліджень

При широкому практичному застосуванні композитних екрануючих покриттів, отриманих по лакофарбовій технології, дуже важливо враховувати їх екологічну та пожежну безпеку. Особливу увагу слід звертати на полімерні зв'язувальні та їхні розчинники. Властивості деяких розчинників для полімерів наведено в таблиці 1.

**Таблиця 1** – Властивості найбільш розповсюджених розчинників

| Розчинник                 | ГДК,<br>мг/м <sup>3</sup> | Температура<br>спалахування, °С | Температура<br>кипіння, °С |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Етанол                    | 1000                      | 12,2                            | 78,3                       |
| Пропан-2-ол               | 980                       | 17                              | 82,4                       |
| Гексан                    | 300                       | -23                             | 68,4                       |
| Ацетон                    | 200                       | 6                               | 56,1                       |
| Бензин                    | 100                       | -                               | -                          |
| Толуол                    | 50                        | -4,4                            | 110,6                      |
| Чотирьоххлористий вуглець | 20                        | -                               | 76,7                       |
| Пропан-1-ол               | 10                        | 24                              | 97,4                       |
| Бензол                    | 5                         | -11,0                           | 80,1                       |
| Метанол                   | 5                         | 10                              | 64,7                       |

Як видно з таблиці розчинником з найменш токсичною дією на людський організм є етиловий спирт, його ГДК складає 1000 мг/м<sup>3</sup>, в той час як, наприклад, ГДК пропан-1-олу всього лише 5 мг/м<sup>3</sup>. До найбільш токсичних розчинників відносяться хлоровані і ароматичні вуглеводні, також використання багатьох розчинників обмежено через їх різкий і неприємний запах. Очевидно, що для широкого застосування екрануючих композитних покриттів найбільш прийнятні спирто- і водорозчинні полімери. Тому практичний інтерес у якості розчинника представляє саме етиловий спирт. В якості полімерної матриці слід виділити спирторозчинний полівінілбутираль (ПВБ), що володіє високими фізико-механічними властивостями. ПВБ – це синтетичний полімер, що утворюється в результаті взаємодії полівінілового спирту (ПВС) і масляного альдегіду. ПВБ характеризується гарними фізико-механічними властивостями, він еластичний, має високу ударну міцність та

зносостійкість, відмінні оптичні та плівкоутворюючі властивості, володіє високою адгезією до різних поверхонь, морозо- та світлостійкістю, стійкий до дії кисню та озону.

Також інтерес представляє спирторозчинна сіль карбоксиметилцелюлози (КМЦ). Серед водорозчинних полімерних матриць для експерименту було обрано порівняно дешеві та широкоживані полімери: полівініловий спирт (ПВС), натрієва сіль карбоксиметилцелюлози (NaКМЦ), а також полімерні емульсії: стирол-акрилова, поліуретанова (ПУ) та полівінілацетатна (ПВА), що мають широке практичне застосування в лакофарбових покриттях.

На основі обраного ряду полімерів по запатентованій технології [3] були виготовлені та досліджені зразки композитних матеріалів, що містять 60 % колоїдно-графітового препарату (КГП С-1), 20 % графітизованої сажі (PureBlack) та 20 % полімеру) (табл. 2).

**Таблиця 2** – Характеристики композитних матеріалів із різними полімерними зв'язувальними

| Зв'язувальне             | Ефективність екранування, дБ | Електропровідність, См/м | Товщина, мкм | Щільність, г/см <sup>3</sup> |
|--------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------|------------------------------|
| ПВБ                      | -22,4                        | $5,22 \cdot 10^{-4}$     | 113          | 0,714                        |
| Сіль КМЦ (спирт.)        | -19,2                        | $5,11 \cdot 10^{-4}$     | 83           | 0,613                        |
| NaКМЦ (водн.)            | -9,9                         | $1,31 \cdot 10^{-4}$     | 84           | 0,339                        |
| ПВС                      | -14,7                        | $3,13 \cdot 10^{-4}$     | 137          | 0,426                        |
| ПВА                      | -10,5                        | $1,08 \cdot 10^{-4}$     | 126          | 0,287                        |
| ПУ                       | -6,3                         | $0,53 \cdot 10^{-4}$     | 161          | 0,429                        |
| Стирол-акрилова емульсія | -11,3                        | $1,67 \cdot 10^{-4}$     | 133          | 0,507                        |

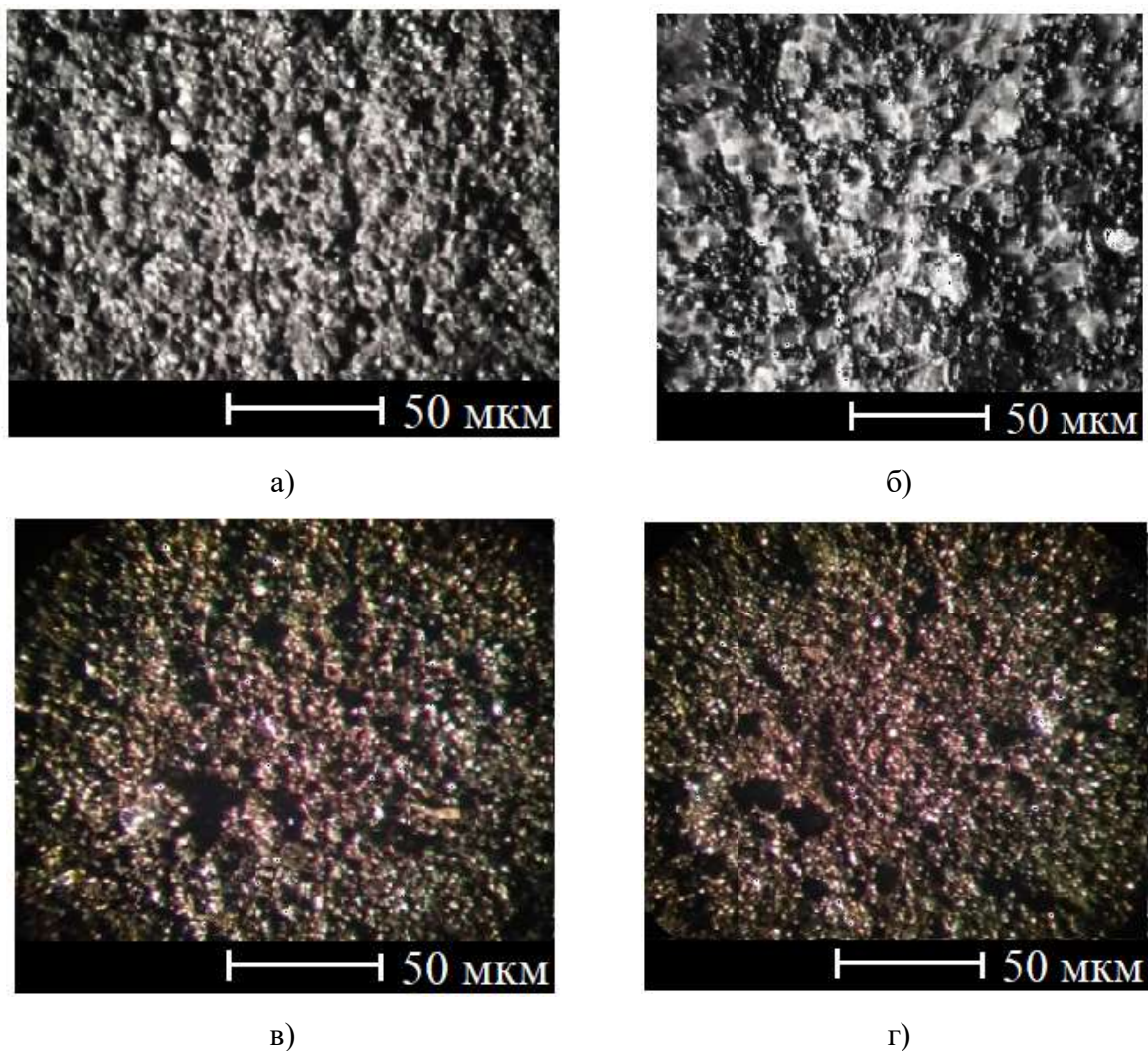
### Результати та їх обговорення

Отримані результати вказують на те, що на властивості екрануючого покриття суттєво впливає не лише природа полімерного зв'язувального, але і природа його розчинника.

Як видно із таблиці 2 що спирторозчинні полімери є більш ефективними в якості полімерної матриці ніж водорозчинні полімери в захисних екрануючих покриттях.

Різну ефективність емульсій можна пояснити не лише природою полімеру, а і природою ПАРів, що застосовують для стабілізації цих емульсій. Також можна помітити, що більш високу щільність мають композити на спиртовій основі. Вірогідно, це пов'язано з тим, що вуглецеві часточки по різному взаємодіють зі спиртом та водою.

На рисунку 1 наведено результати мікроскопічних досліджень поверхневої структури композитів на основі спирто- та водорозчинних полімерних матриць.



**Рисунок 1** – Поверхня композитів на основі спирто- та водорозчинних полімерних матриць (а – ПВБ, б – ПУ, в – NaКМЦ, г – ПВА)

Поверхнева структура зразка на основі ПВБ дрібнодисперсна та містить невелику кількість сферичних часток, тріщин та пустот не виявлено. На поверхні зразків на основі водорозчинних полімерів є значна кількість блискучих сферичних часток, часточок КГП С-1 чітко не видно, зв'язувальне між часточками прозоре.

### Висновки

При виготовленні композитних екрануючих покриттів необхідно враховувати особливості технології їх виготовлення. Наприклад, при високих концентраціях ПВС (до 10 – 12 %) його макромолекули у розчині мають форму сфери, заповнену водою, а при більш низьких - розвертаються та переплутуються. Очевидно, що від просторової форми макромолекул залежить взаємодія полімеру з адсорбатом. Характерним для водного розчину NaКМЦ є підвищена в'язкість в середовищі в слабо кислому чи нейтральному середовищі ( $\text{pH} = 6 - 7$ ). Щодо спиртового розчину ПВБ, то за присутності в ньому незначної кількості води макромолекули звертаються в глобули, та відбувається їх ущільнення. Характерним є те, що зі зменшенням розмірів глобул зменшується і їх взаємодія з розчинником, що в свою чергу сприяє їх адсорбції на поверхні вуглеграфітових часточок.

### Література

1. Панова О. В. Екранування електромагнітних полів для електромагнітної безпеки та електромагнітної сумісності обладнання. Управління розвитком складних систем: зб. наук. праць / гол. ред. П. П. Лізунов. Нац. ун-т буд-ва і архіт.; Київ : КНУБА, 2015. № 22. С. 207-213.
2. Afilipoaei C., Teodorescu-Draghicescu H. A. Review over electromagnetic shielding effectiveness of composite materials. *Proceedings*. 2020. Vol. 63 (1), 23. P. 1-9.
3. Композиція для формування композиційного матеріалу для захисту від електромагнітного випромінювання та спосіб одержання композиційного матеріалу на субстраті: пат. UA117949C2; Барсуков В.З., Сенік І.В., Хоменко В.Г.; опубл. 25.10.2018, Бюл. № 20.

## **ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА – ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ**

**ОО СЛЄПЦОВ, СІ ОСАУЛЕНКО, ОА ОСИПЕНКО, ЯМ ГРИЩЕНКО**

*Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала Шияновська 2,  
Київ, 01011, [slyepcov.oo@knutd.edu.ua](mailto:slyepcov.oo@knutd.edu.ua), [osaulenko.si@knutd.edu.ua](mailto:osaulenko.si@knutd.edu.ua),  
[slyepcov.oo@knutd.edu.ua](mailto:slyepcov.oo@knutd.edu.ua)*

Робота присвячена аналізу можливостей адитивних технологій в розрізі питання концепції сталого розвитку та їх реалізації в сучасному суспільстві.

*Ключові слова:* адитивні технології, біодрук, полімери, цифрова грамотність, масова кастомізація, ощадливе виробництво.

Адитивне виробництво (3D-друк) може відігравати значну роль в освіті сталого розвитку, покращуючи навчання, стимулюючи інновації та сприяючи сталому розвитку різними способами.

3D-друк дозволяє студентам брати участь у практичному навчанні. Вони можуть проектувати і створювати фізичні прототипи, що може поглибити їхнє розуміння концепцій, пов'язаних з інженерією, дизайном і сталим розвитком. Сталий розвиток є міждисциплінарною галуззю, а 3D-друк забезпечує платформу для інтеграції знань з різних дисциплін, включаючи інженерію, дизайн, екологію та економіку. 3D-друк заохочує студентів мислити творчо та розробляти рішення для реальних проблем сталого розвитку. Це сприяє розвитку навичок вирішення проблем, критичного мислення та інновацій [1].

Адитивне виробництво може бути більш стійким, ніж традиційні методи виробництва. Студенти можуть дізнатися про екологічні переваги 3D-друку, такі як зменшення відходів, енергоефективність та локалізація виробництва. 3D-друк дозволяє учням дослідити концепцію "дизайну для сталого розвитку". Вони можуть створювати продукти та прототипи з мінімальним використанням матеріалів, оптимізованими структурами та підвищеною енергоефективністю.

Слухачі можуть зрозуміти, як 3D-друк підтримує кастомізацію продуктів і локалізацію виробництва. Це відповідає принципам сталого

розвитку, зменшуючи потребу в транспортуванні на великі відстані та мінімізуючи вплив на навколишнє середовище.

Завдяки проектам, пов'язаним з 3D-друком та сталим розвитком, студенти можуть дослідити, як технології можуть мати позитивний вплив на місцеві та глобальні спільноти. Вони можуть розробляти та ділитися рішеннями для вирішення конкретних проблем сталого розвитку [2].

Навчання 3D-друку покращує навички цифрової грамотності, оскільки учні працюють з програмним забезпеченням для автоматизованого проектування (САПР) і вчать орієнтуватися в цифрових інструментах і технологіях. Дискусії про інтелектуальну власність, дизайн з відкритим вихідним кодом та етичні міркування щодо 3D-друку можуть сприяти підвищенню обізнаності про відповідальні та етичні практики в галузі технологій та сталого розвитку. Інтегруючи 3D-друк в освіту зі сталого розвитку, освітяни можуть надихати наступне покоління інноваторів, інженерів та підприємців, які готові вирішувати глобальні проблеми сталого розвитку.

3D-друк дозволяє учням отримати доступ до ресурсів, які можуть бути недоступними за допомогою традиційних освітніх засобів. Це може бути особливо цінним в умовах обмежених ресурсів. 3D-друк узгоджується з STEM (наука, технології, інженерія та математика) та STEAM (STEM + мистецтво) освітою, забезпечуючи практичний контекст для вивчення цих дисциплін.

Включення 3D-друку в освіту зі сталого розвитку може допомогти учням розвинути цілісне розуміння складних викликів, з якими стикаються суспільство і навколишнє середовище. Це озброює їх навичками та знаннями, необхідними для того, щоб зробити свій внесок у сталі рішення та інновації, сприяючи більш сталому та життєздатному майбутньому.

Аддитивне виробництво, яке часто називають 3D-друком, є галуззю, що стрімко розвивається, з численними інноваційними технологіями та застосуваннями. Однак, як і будь-яка інша технологія, вона стикається з

викликами та можливостями. У цій статті йде мова про деякі інноваційні технології в адитивному виробництві, проблеми, з якими вони стикаються, та їхні перспективи.

До основних інноваційних технологій можна віднести мультиматеріальний та мультипроцесний друк, друк металом, біодрук, безперервне виробництво рідких інтерфейсів, друк нанокompозитів [3].

Мультиматеріальний та мультипроцесний друк – це здатність друкувати кількома матеріалами та процесами в одній збірці, яка активно прогресує. Це дозволяє створювати складні, функціональні деталі з різними властивостями за один друк.

Адитивне виробництво металів набирає обертів у різних галузях промисловості, зокрема в аерокосмічній та медичній. Такі технології, як селективне лазерне плавлення (SLM) та електронно-променеве плавлення (EBM), дозволяють виробляти високоефективні металеві деталі.

Технологія біодруку використовується для друку живих тканин і органів, застосовується в регенеративній медицині та фармацевтиці.

Безперервне виробництво рідких інтерфейсів (CLIP) розроблено компанією Carbon3D, дозволяє пришвидшити 3D-друк завдяки використанню безперервного рідинного інтерфейсу для "виращування" об'єктів замість традиційних пошарових методів.

Як і для будь якої інноваційної технології для адитивного виробництва характерні і певні проблемні питання. Найпершою проблемою є вартість [4]. Обладнання та матеріали для адитивного виробництва можуть бути дуже дорогими, що обмежує його впровадження, особливо для малого та середнього бізнесу.

Якість і стандартизація процесу і виробів. Досягнення стабільної якості та стандартизації в 3D-друку є складним завданням. Існує потреба в загальногалузевих стандартах і сертифікаціях, які ще на початково рівні досконалості.

З точки зору швидкості процесу 3D-друк може бути повільним для великих або складних деталей, що знижує його ефективність у масовому виробництві. Проте не впливає на унікальні вироби в одиничних потребах.

Обмеження в наявності доступних матеріалів є ще одною гострою проблемою адитивних технологій. Хоча для 3D-друку доступний широкий вибір матеріалів, пошук потрібного матеріалу з потрібними властивостями може бути складним завданням. Розробка нових матеріалів для конкретних застосувань триває.

Також існують проблеми інтелектуальної власності, зокрема, легкість цифрового обміну та тиражування 3D-дизайнів викликає занепокоєння щодо крадіжки інтелектуальної власності.

На противагу проблемним питанням виступають перспективи адитивного виробництва, такі як масова кастомізація, зменшення відходів, сталий розвиток, пом'якшення наслідків перебоїв у ланцюжку поставок, освоєння космосу, охорона здоров'я.

Адитивне виробництво уможливлює економічно ефективну масову кастомізацію, оскільки не вимагає дорогої зміни інструментарію для кожної ітерації проектування. На відміну від традиційного субтрактивного виробництва, 3D-друк створює мінімум відходів, оскільки використовує лише матеріал, необхідний для виготовлення деталі. Інновації в переробці та повторному використанні матеріалів для 3D-друку сприяють сталому розвитку. 3D-друк може зменшити перебої в ланцюгах поставок, дозволяючи виробляти деталі та продукти на місцях.

Адитивне виробництво має вирішальне значення для майбутніх космічних досліджень, де воно може забезпечити виробництво запасних частин і конструкцій на вимогу на далеких планетах. Біодрук має потенціал революціонізувати трансплантацію органів і тестування ліків, що призведе до значного прогресу в охороні здоров'я.

## Висновки

Таким чином, адитивне виробництво має великий потенціал і постійно розвивається. Воно пропонує численні можливості в різних галузях, але також стикається з проблемами, пов'язаними з вартістю, якістю та матеріалами. З розвитком технологій і вирішенням цих проблем 3D-друк, ймовірно, відіграватиме дедалі важливішу роль у майбутньому виробництві та за його межами.

## Література

1. Tofail, S. A., Koumoulos, E. P., Bandyopadhyay, A., Bose, S., O'Donoghue, L., & Charitidis, C. (2018). Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. *Materials today*, 21(1), 22-37.
2. Gao, M., Li, L., Wang, Q., Ma, Z., Li, X., & Liu, Z. (2021). Integration of additive manufacturing in casting: advances, challenges, and prospects. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 1-18.
3. Fatma, N., Haleem, A., Bahl, S., & Javaid, M. (2021). Prospects of jewelry designing and production by additive manufacturing. In *Current Advances in Mechanical Engineering: Select Proceedings of ICRAMERD 2020* (pp. 869-879). Springer Singapore
4. Ishfaq, K., Abas, Z., Saravana Kumar, M., & Mahmood, M. A. (2023). Review of recent trends in ultrasonic additive manufacturing: current challenges and future prospects. *Rapid Prototyping Journal*, 29(6), 1195-1211.

## **ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЕЛЕКТРОЛІТІВ ЦИНКУВАННЯ З ТОЧКУ ЗОРУ ЇХ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ**

**ІМ КОСТИШИН, ОО БУТЕНКО**

*Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала Шияновська, 2,  
Київ, 01011, [butenko.oo@knuatd.com.ua](mailto:butenko.oo@knuatd.com.ua)*

Електролітичне цинкування широко використовується в різних галузях машинобудування, для покриття деталей кріплення, стержнів та інших дрібних деталей. Високі захисні властивості цинкового покриття внаслідок його анодного характеру і низька вартість цинку пояснюють широке застосування цинку в різних галузях промисловості. Важливим аспектом є вибір електролітів цинкування.

Цинкові покриття застосовуються для захисту від корозії сталевих деталей [1-2], які експлуатуються в зовнішній атмосфері різних кліматичних регіонів, в атмосфері промислових районів (забрудненими  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ), в закритих приміщеннях з помірною вологою чи забруднених газами та продуктами згорання (деталі машин), контактують з прісною водою при температурі не вище 60-70 °C (водопровідні труби, резервуари, предмети домашнього вжитку), експлуатуються при температурі до 300 °C, контактують з паливом, яке містить сполуки сульфору і масла (бензобаки, бензопроводи, маслопроводи та ін.).

Для нанесення гальванічних цинкових покриттів застосовують різні типи електролітів: кислі – сульфатні, хлоридні, фторборатні, сульфаматні; слабокислі – хлорамонійні та хлоридні; лужні – ціанідні, цинкатні, пірофосфатні, гліцинові, амінокомплексні, а також їхньої комбінації.

При виборі електроліту потрібно враховувати конфігурацію виробів та вимоги, що до них пред'являються. При нанесенні цинку на вироби складної форми варто застосовувати розчини комплексних солей металу; для покриття внутрішніх та важкодоступних поверхонь – внутрішні й додаткові аноди, фільтрацію, перемішування; для одержання блискучого покриття – електроліти зі складними блискоутворюючими й вирівнюючими добавками.

Якість осадів і швидкість їхнього осадження залежить від природи й складу електролітів, які в значній мірі визначаються характером і ступенем зміни катодних потенціалів.

Водночас вибір електролітів для цинкування з точки зору їх екологічної безпеки є важливим завданням, оскільки цинкування дуже широко використовується для захисту сталевих поверхонь від корозії. При виборі електроліту слід враховувати кілька аспектів, пов'язаних зі збереженням навколишнього середовища:

- вміст шкідливих речовин: електроліти повинні бути вільні від токсичних і шкідливих речовин, таких як хромати, кадмій, свинець та інші важкі метали, ці речовини мають негативний вплив на здоров'я людей та навколишнє середовище;
- можливість відновлення: важливо враховувати можливість відновлення електроліту для подовження його терміну служби та зменшення відходів, використання відновлювальних електролітів забезпечує здешевлення процесу;
- вибір розчинника: віддаючи перевагу електролітам, які розчиняються в воді, можна зменшити викиди в атмосферу та водні ресурси, контролювати викиди та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище;
- вплив на здоров'я обслуговуючого персоналу: електроліти повинні бути безпечними для працівників, які працюють з ними, забезпечення безпечних умов праці сприяє збереженню здоров'я робітників та зменшенню ризиків для їхнього здоров'я;
- рециклінг: важливим аспектом екологічної безпеки є можливість переробки та використання відходів цинкування, рециклінг може значно зменшити вплив на навколишнє середовище та економічно вигідний.

Розглянемо переваги і недоліки застосування різних електролітів.

У кислих електролітах без спеціальних добавок катодна поляризація не велика хоча осади з кислих електролітів задовільні за структурою, але менш рівномірні по товщині шару, ніж із ціаністих й інших комплексних електролітів. Припустима густина струму й швидкість осадження в кислих електролітах можуть бути значно вище, ніж у комплексних.

Сульфатні електроліти прості за складом, стабільні, не вимагають спеціальної вентиляції й підігріву. Вихід за струмом в цих електролітах становить 96-98%. Осади мають порівняно грубокристалічну структуру, їхня розсіююча здатність низька, тому в сульфатних електролітах покривають тільки деталі простої форми. Також сульфатні електроліти варто періодично фільтрувати, щоб видаляти тверді часточки (шлам), які цементуються зростаючим осадом, утворюючи виступи, на яких концентруються лінії струму, що викликає утворення губчатого осаду.

Сульфатно-хлоридні електроліти застосовують для покриття деталей із середнім рельєфом. Розсіювальна здатність цього електроліту вище, ніж у сульфатного. Покриття з таких електролітів виходять напівблискучими.

Із борфтористоводневих електролітів цинк осаджується при високих густинах струму. З них вдається отримувати задовільні покриття на чавуні.

Кислі електроліти в основному застосовуються головним чином для цинкування виробів простої форми (аркуші, стрічки, дріт, стрижні, пластини й т.п.).

Осадження цинку із ціаністих електролітів супроводжується значною поляризацією, що приводить до утворення дрібнокристалічної структури. У ціаністих електролітах вихід металу за струмом нижче, ніж у кислих електролітах, він знижується при підвищенні густини струму, що сприяє поліпшенню рівномірності розподілу металу на катоді. Припустима густина струму в ціаністих електролітах, як правило, нижча, ніж у кислих.

Із ціаністих електролітів осади цинку утворюються дуже щільними, дрібнозернистими й більш рівномірними по товщині, ніж з кислих електролітів без спеціальних добавок. Однак ці електроліти мають

порівняно малу стійкість і високу токсичність, їхнє застосування вимагає індивідуальної вентиляції, спеціальних технічних заходів щодо скидання й знешкодженню стічних вод після промивки. Ціаністі електроліти мають високу розсіювальну здатність.

Розсіювальна здатність комплексних аміакатних електролітів вище, ніж у простих кислих (без спеціальних добавок), але поступається розсіювальній здатності ціаністих.

Лужні неціаністі, тобто цинкатні, електроліти на відміну від ціаністих нетоксичні й більш прості та стійкі за складом, ніж ціаністі. Катодна поляризація в цинкатних електролітах без спеціальних добавок ПАР виражається порівняно невеликою величиною і мало залежить від концентрації цинку й лугу. Вихід металу за струмом в інтервалі припустимих густин струму практично не змінюється й дорівнює приблизно 95-98%. Все це разом з його дешевиною робить цей електроліт найбільш зручним у застосуванні для нанесення покриттів на сталеві вироби.

Враховуючи вищесказане, можна обрати електроліти для цинкування, які відповідають високим стандартам екологічної безпеки. Слід відзначити, що екологічність гальванічного цинкування не обмежується лише вибором електролітів, це також залежить від інших факторів процесу виробництва, утилізації відходів та вибору енергетичних ресурсів. Ефективне керування всіма цими чинниками може допомогти зробити цинкування більш екологічно безпечним. Важливо проводити постійний моніторинг та оновлювати технології для забезпечення вищого рівня екологічної стійкості процесу цинкування.

### Література

1. Kania H., Saternus M., Kudláček J., Svoboda J. Microstructure Characterization and Corrosion Resistance of Zinc Coating Obtained in a Zn-AlNiBi Galvanizing Bath. *Coatings*. 2020. Vol. 10, No 8. P. 758.
2. Kania H., Saternus M., Kudláček J. Structural aspects of decreasing the corrosion resistance of zinc coating obtained in baths with Al, Ni, and Pb additives. *Materials*. 2020. Vol. 13. P. 385.

## ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОВТОРНОЇ ПЕРЕРОБКИ ПВХ

НВ СОВА, АП САВЧУК

Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала Шияновська 2,  
Київ, 01011, [djanc@ukr.net](mailto:djanc@ukr.net), [a.savchuk@pvh.com.ua](mailto:a.savchuk@pvh.com.ua)

Робота присвячена аналізу питання переробки відходів полівінілхлориду. Розглянуто основні способи, їх переваги та недоліки.

*Ключові слова:* полівінілхлорид, вторинна переробка, пластикат, вініпласт, технологічні добавки.

Полівінілхлорид (ПВХ) є широко використовуваним видом пластику, відомим своєю довгою службовою дією та відмінними механічними, електричними, хімічними та термічними характеристиками. В залежності від методу виробництва, рецептури та технології обробки можна отримати різноманітні вироби з ПВХ: тверді і м'які, прозорі і розфарбовані у будь-який колір, вироби, придатні для експлуатації в широкому температурному діапазоні від -50 до +80 °C. У 2017–2018 роках в Європі щорічно вироблялося 5,5 мільйонів тонн ПВХ.

На основі полівінілхлориду (ПВХ) виробництво виготовляє два види пластмас – пластикат та вініпласт. Жорсткі матеріали, які не містять пластифікаторів або є частково пластифікованими, відомі під назвою "вініпласт". Вони є термопластичними конструкційними матеріалами, призначеними для виготовлення труб, зварювальних прутків та профільованих виробів. Пластикат - це пластмаса, отримана на основі пластифікованого полівінілхлориду, до складу якої вводять пластифікатори у значній кількості. Пластизолі - це колоїдні дисперсії ПВХ у пластифікаторі, де частка пластифікатора становить від 30% до 80% [1].

Рецептури ПВХ включають в себе різноманітні добавки, які виконують важливі функції під час переробки та регулюють експлуатаційні характеристики кінцевої продукції. Ці добавки включають пластифікатори, наповнювачі, пігменти, стабілізатори від термічних впливів та ультрафіолету, модифікатори ударної міцності, антиблокуючі агенти, тощо.

Полівінілхлорид застосовується в будівництві, автомобільній сфері, трубопроводній і кабельній промисловості, а також виробництві багатьох побутових товарів. ПВХ володіє високою міцністю, довговічністю, низькою вагою і відмінною універсальністю. Цей матеріал є ідеальним для широкого спектру застосувань. Понад 75% виробництва ПВХ використовується в промисловому секторі, зокрема в будівництві, де вироби з ПВХ мають дуже тривалий термін служби, перевищуючи 10 років [2].

Широке застосування ПВХ створює проблему з накопичення відходів, що потребують переробки чи утилізації. Відходи ПВХ розділяються на дві основні категорії: відходи перед використанням і відходи після використання. До відходів перед використанням належать як виробничі, так і монтажні відходи. Виробничі відходи включають залишки виробництва, наприклад, відходи від екструзійного формування, а також вирізки і відходи від виробництва листів і профілів. Більше 80% складають відходи після використання, або, так звані, відходи споживання, які часто розосереджені серед інших відходів, забруднені і створюють певні труднощі при організації їх переробки.

Доля відходів ПВХ, які потрапляють на смітники, піддаються спалюванню та переробці механічним і хімічним методами, становить відповідно 36,0%, 9,3%, 25,5% та 0,8%. Проте сміттєзвалища є джерелом забруднення навколишнього середовища і займають значну площу. Крім того, у разі спалювання відходів ПВХ можуть виділятися в атмосферу вуглекислий газ і хлоридна кислота, а також можуть утворюватися поліхлоровані діоксини та фурани, а залишки часто містять важкі метали і вважаються небезпечними відходами [3-4].

Існують два основні методи переробки відходів ПВХ - механічний та хімічний. Механічний метод включає збір, сортування та подальшу обробку відходів для виготовлення вторинної сировини, яка може замінити первинну ПВХ-суміш. Проте існують обмеження у переробці, пов'язані зі складністю збору відходів та інфраструктурою.

Хімічний метод дозволяє розщепити полімерні ланцюги ПВХ та отримати початкові мономері, які можна використовувати для виробництва нових пластикових матеріалів. Проте цей метод супроводжується вивільненням хлору, що може бути небезпечним.

Однак розв'язанням проблеми переробки ПВХ може стати використання принципів циркулярної економіки. Це включає в себе ефективне використання добавок на початковому етапі виробництва, сучасну модифікацію та налагоджене сортування відходів, що сприяє розв'язанню цієї проблеми [5-7].

Основні проблеми повторної переробки полівінілхлориду включають насамперед складність збору та сортування. Так ПВХ-відходи можуть включати різні типи та форми, що робить їх складними для збору та сортування. Наявність інших матеріалів у сумішах може ускладнити процес переробки. Також наявність різних рецептур та форм ПВХ може призвести до відсутності єдиної стандартизації процесу переробки.

У випадку некоректного спалюванні ПВХ може виділятися хлор та інші шкідливі речовини, що наносять значну шкоду навколишньому середовищу.

Якщо розглядати перспективи повторної переробки ПВХ, то варто відмітити, що розвиток нових технологій дозволить більш ефективно переробляти ПВХ-відходи та знизити вплив на навколишнє середовище. Впровадження єдиної системи збору та сортування ПВХ-відходів спростить процес переробки. Підвищення обізнаності про користь повторної переробки ПВХ сприятиме більш активному залученню споживачів та виробників.

Урядові стимули та регулятивні заходи можуть підштовхнути підприємства до більш активної участі у програмах повторної переробки ПВХ. Розвиток та використання біорозкладаючих матеріалів та альтернативних пластиків може зменшити використання ПВХ та, відповідно, проблеми, пов'язані з його переробкою. Розвиток ринків для

вторинної сировини з ПВХ може підштовхнути підприємства до збільшення обсягів переробки.

### **Висновки**

Загалом, вирішення проблем переробки ПВХ вимагає комплексного підходу, включаючи технологічний розвиток, регулювання та співпрацю всіх зацікавлених сторін, зокрема виробників, споживачів і уряду.

### **Література**

1. Liu, Y., Zhou, C., Li, F., Liu, H., & Yang, J. (2020). Stocks and flows of polyvinyl chloride (PVC) in China: 1980-2050. *Resources, Conservation and Recycling*, 154, 104584.
2. Buekens, A., & Cen, K. (2011). Waste incineration, PVC, and dioxins. *Journal of material cycles and waste management*, 13, 190-197.
3. Seike, T., Isobe, T., Harada, Y., Kim, Y., & Shimura, M. (2018). Analysis of the efficacy and feasibility of recycling PVC sashes in Japan. *Resources, conservation and recycling*, 131, 41-53.
4. Zhang, F., Wang, F., Wei, X., Yang, Y., Xu, S., Deng, D., & Wang, Y. Z. (2022). From trash to treasure: Chemical recycling and upcycling of commodity plastic waste to fuels, high-valued chemicals and advanced materials. *Journal of Energy Chemistry*, 69, 369-388.
5. Zhao, X., Korey, M., Li, K., Copenhaver, K., Tekinalp, H., Celik, S., ... & Ozcan, S. (2022). Plastic waste upcycling toward a circular economy. *Chemical Engineering Journal*, 428, 131928.
6. Ciacci, L. U. C. A., Passarini, F. A. B. R. I. Z. I. O., & Vassura, I. V. A. N. O. (2017). The European PVC cycle: In-use stock and flows. *Resources, Conservation and Recycling*, 123, 108-116.
7. VinylPlus, 2022. Progress Report. Reporting on 2021 Activities.

## **РЕГУЛЮВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВТОРИННОГО ПОЛІЕТИЛЕНУ МЕТОДОМ МЕХАНО-ХІМІЧНОГО МОДИФІКУВАННЯ**

**ВД МИШАК, ВВ СЕМИНОГ, ВВ МУЖЕВ**

*Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, Харківське шосе, 48,  
Київ, 02155, myshak\_vd@ukr.net*

Розглянуто особливості механо-хімічної модифікації вторинного поліетилену (ВПЕ) в присутності хімічно-активної сполуки – продукту взаємодії резорцину з гексаметилентетраміном. Досліджено вплив добавки на структуру та властивості ВПЕ.

### **1 Вступ**

Безперервне зростання виробництва полімерних матеріалів пов'язане із збільшенням обсягів використання вуглеводневої сировини, природні запаси якої істотно зменшуються і за прогнозами експертів вичерпаються через 45-50 років та спричиняє утворення великих обсягів відходів споживання, викиди яких у навколишнє середовище призводять до порушення екологічної рівноваги і виникнення екологічних проблем. За цих умов особливого значення набуває розробка ефективних методів утилізації і рециклінгу полімерних відходів, як одного з важливих джерел збереження матеріальних ресурсів. У загальній масі полімерних відходів найбільшу питому вагу займають поліолефіни, при цьому під впливом різних зовнішніх факторів він зазнає значних структурно-хімічних змін, які утруднюють його вторинну переробку та знижують його фізико-механічні характеристики. У зв'язку з цим, актуальним є проведення досліджень з метою розробки технологій і методів модифікації вторинних термопластів, зокрема вторинного поліетилену (ВПЕ), які дають змогу покращити його технологічні та експлуатаційні характеристики.

Метою роботи було проведення досліджень впливу модифікуючої дії продукту взаємодії резорцину з гексаметилентетраміном (РУ), який використовується як прискорювач вулканізації в гумотехнічній і шинній промисловості, на структуру та властивості ВПЕ і визначення перспектив його використання для модифікації ВПЕ.

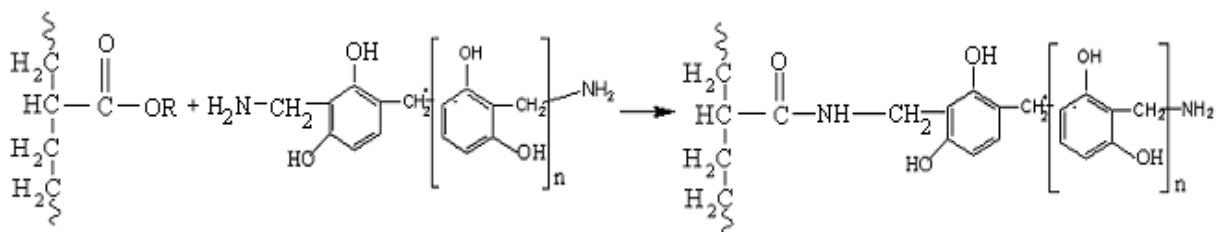
## **2 Експериментальна частина**

Для приготування композицій використовували ВПЕ (із сільськогосподарської плівки) низької густини, у вигляді гранул (ТУ 63-178-84-81). Механо-хімічне модифікування ВПЕ за допомогою РУ ( $C_{12}H_{18}N_4O_2$ , ТУ 6-14-200-76) проводили в одношнековому лабораторному екструдері. Вміст модифікуючої добавки в композиціях змінювали від 0,1% до 20,0 % мас.

Проведення модифікації ВПЕ за умов одночасного впливу теплових полів і зсувних деформацій має певні технологічні переваги перед іншими методами модифікації, оскільки дає можливість чітко контролювати та регулювати температурні режими, швидкість процесу модифікації, високу якість гомогенізації та інші параметри технологічного процесу. Нами проведена механо-хімічна модифікація ВПЕ хімічно активною сполукою - РУ з метою його функціоналізації та створення можливості регулювання його властивостей, що може бути використано при створенні композитів на його основі.

Зміни хімічної будови ВПЕ в процесі його механо-хімічної модифікації РУ оцінювали за допомогою методу ІЧ-спектроскопії. Активний комплекс РУ, який при нагріванні до 160°C і дії динамічних навантажень, в процесі їх спільної екструзії з ВПЕ, поляризується. Поляризація гексаметилентетрамінової складової в комплексі РУ знижує температуру її розкладання, а резорцин при цьому виступає донором гідрогену для утворення різних метиленамінних сполук, перебігу реакцій феноламіноформальдегідної конденсації між гексаметилентетраміном та фенольними ядрами резорцину і утворення активних проміжних сполук. Які далі можуть приєднуватися до молекул ВПЕ за наявними функціональними групами з утворенням реакційноздатних фрагментів у макромолекулах полімеру, продукуючи процеси прищеплення та зшивання між ланцюгами макромолекул ПЕ та ін. Ступінь їх взаємодії зростає при збільшенні вмісту РУ у композиціях (від 0,1 до 5 % мас.).

Один із можливих варіантів взаємодії може бути представлений схемою:



Факт хімічних перетворень і структурування ВПЕ при введенні РУ в його матрицю підтверджується результатами вимірювань гель-фракції, та показника текучості розтопу (ПТР). Зокрема, вимірювання вмісту гель-фракції показало її поступове збільшення до 54 % за вмісту РУ 1 % мас., що пов'язано із зростанням частки прищеплених фрагментів та утворенням вузлів зшивки, на що також вказує суттєве зниження (в два рази) показників ПТР композицій.

Методом рентгененографії встановлено, що послідовне введення у матрицю ВПЕ малих добавок РУ впливає на кристалічну структуру полімеру. Згідно результатів цих досліджень послідовне збільшення вмісту РУ у об'ємі ВПЕ викликає поступове зменшення розміру мікрообластей гетерогенності та дефектизацію кристалітів ВПЕ. Максимальне значення рівня мікрогетерогенності структури (Q) композитів досягається при введенні 0,5% мас. РУ до об'єму ВПЕ.

Дослідження фізико-механічних характеристик композицій ВПЕ з різним вмістом РУ показали, що визначальний вплив на властивості полімерних композицій має співвідношення між ВПЕ та РУ, при цьому залежність міцності при розриві ( $\sigma_p$ ) та відносне видовження ( $\Delta \epsilon$ ) носить екстремальний характер, максимум яких проявляється за масової долі вмісту РУ 0,3 – 1,0 % мас.

### 3 Висновки

Зважаючи на невинне збільшення відходів поліолефінів, насамперед поліетилену, розроблено метод механо-хімічної модифікації ВПЕ з використанням адукту гексаметилентетраміна з резорцином та

показано, що в процесі їх спільної екструзії, під дією зсувних деформацій та температурних полів відбувається розпад ГМТА та РУ на активні фрагменти різної хімічної будови, які ініціюють структурування ВПЕ. За оптимальних концентрацій модифікатора і умов модифікування утворюється полімер з частково зшитою структурою. Отримані результати досліджень свідчать про перспективність їх використання в практичних процесах, пов'язаних зі створенням нових технологій з утилізації, вторинної переробки та модифікації відходів ВПЕ.

## ПЕРСПЕКТИВНІ МЕТОДИ ПЕРЕРОБКИ ФОСФАТВИСНОЇ СИРОВИНИ

МС ДЕРЕБЧИНСЬКА, ТМ ВАСИЛІНИЧ

Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського,  
вул. Острозького 32, м. Вінниця, 21001, [Kafedra.Chemistry@vspu.edu.ua](mailto:Kafedra.Chemistry@vspu.edu.ua)

Досліджено перспективи переробки вітчизняної фосфатної і калійної сировини на комплексні мінеральні добрива при допомозі сульфатів та гідросульфатів лужних металів.

Однією з головних причин недобору урожаю в сільському господарстві України є гостра нестача фосфорних добрив. Для одержання стабільних урожаїв сільськогосподарської продукції необхідно вносити в ґрунт 250—300 кг/га мінеральних добрив у перерахунку на діючу речовину. Для забезпечення такого рівня внесення добрив, необхідно вирішити проблему забезпечення заводів України мінеральною сировиною.

Потенційним джерелом забезпечення України фосфатною сировиною є власні родовища фосфоритів та апатитів, в розвіданих запасах яких міститься близько 3,9 млрд.т  $P_2O_5$ . Однак, вітчизняні фосфатні руди характеризуються низьким вмістом  $P_2O_5$  (4–10%) та наявністю значної кількості піщанистих, глинистих та інших домішок. Запаси фосфатних руд піщанистого типу становлять більше половини від загальних [1].

У пошуках ефективних і економічно доцільних шляхів переробки фосфатних руд України прийшли до висновку, що обнадійливим методом може бути їх використання в сумішах сульфатної кислоти з сульфатами та гідросульфатами лужних металів. Запаси полімінеральних та інших солей сульфатного типу в Україні становлять понад 10 млрд.т. Ступінь вилучення калію з полімінеральних руд Прикарпаття згідно з галургійною технологією досягає 55-60%, магнію – 40-45% і сульфат-іону – 35-40%. Невикористані компоненти у вигляді важкорозчинних сульфатних мінералів разом з галітом та мулом поступаються на хвостосховища або використовуються для закладання вироблених просторів калійних копалин.

Проведено дослідження по заміні сульфатної кислоти в технології простого та подвійного суперфосфатів сульфатами лужних металів, запаси яких в природі практично невичерпні, наприклад, лангбейніт ( $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$ ), полігаліт ( $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot CaSO_4$ ), астраханіт ( $Na_2SO_4 \cdot MgSO_4$ ) та ряд інших. Згідно із запропонованою технологією такі мінерали досить легко розкладаються в розчинах сульфатної кислоти з виділенням кислих солей лужних металів.

Розклад  $Ca_3(PO_4)_2$  для одержання простого суперфосфату проводився з добавкою розчинів 70% сульфатної кислоти. Для досягнення цього технічного результату технологія виробництва передбачала такі послідовні процеси і операції: сульфатну кислоту перед подачею в камеру змішують з сульфатами або гідросульфатами лужних металів в мольному співвідношенні іонів  $SO_4^{-2} : Me^+ = 1:0,3 \div 1$ . Фосфатну сировину і сульфатнокислотний розчин попередньо нагрівають до температури 100-130 °С. Суміш витримують в камері при температурі 100-110 °С протягом 60 хвилин. Після дозрівання на стадії грануляції нейтралізують вільну кислотність та кислі солі добрива аміаком або карбамідом. Часткова заміна розчину сульфатної кислоти на гідросульфат калію у співвідношенні  $SO_4^{-2} : Me^+ = 1:0,3 \div 1$  забезпечує повноту розкладу  $Ca_3(PO_4)_2$  в фосфатній сировині [2].

В результаті впровадження нової технології переробки фосфатної сировини гідросульфатним методом очікується:

- економія по сировині за рахунок використання більш дешевого фосфориту;
- економія по хімматеріалам за рахунок заміни частини сульфатної кислоти на  $KHSO_4$ , що міститься у відходах;
- зменшення додаткових теплових витрат.

Запропонований метод одержання мінеральних добрив дає можливість ліквідувати утворення великих кількостей важкорозчинних відходів — лангбейнітів і полігалітів у процесі переробки калійно-

магнієвих сульфатних мінералів, покращує екологію навколишнього середовища за рахунок зменшення шкідливих стоків, розширює сировинну базу для одержання безхлорних калійних добрив. Одержувані добрива нейтралізують кислотність ґрунтів, а також нарівні з калієм в ґрунт вноситься разом з мінеральними добривами цілий ряд мікроелементів.

### **Література**

1. Вакал В. С. Фосфоровмісні мінеральні добрива. Вітчизняна фосфатна сировина для їх виробництва / В. С. Вакал, С. В. Вакал // Хімічна промисловість України. – 2013. – № 1. – С. 36–39.
2. Спосіб одержання складних мінеральних добрив: деклараційний патент України № 34038 А. / Д.І. Крикливий, Т.М. Василінич; №99052743; заявл.18.05.1999;опубл.15.02.2001, Бюл. №.1.

## БІОРОЗКЛАДНА ТАРА ВИГОТОВЛЕНА МЕТОДОМ РОЗДУВУ

ІО ЛЯШОК, ОВ ІЩЕНКО, ІВ ОПАНАЩУК, МВ ІВАСЬКІВ

Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала  
Шияновська 2, м. Київ, 01011, [liashok77@gmail.com](mailto:liashok77@gmail.com)

Одним з основних джерел забруднення навколишнього середовища є традиційна пластикова тара. Як альтернативу для виготовлення біорозкладної тари, використовують біополімери, такі як полілактид (PLA), полігідроксисилканоати (PHA) і полікапролактон (PCL).

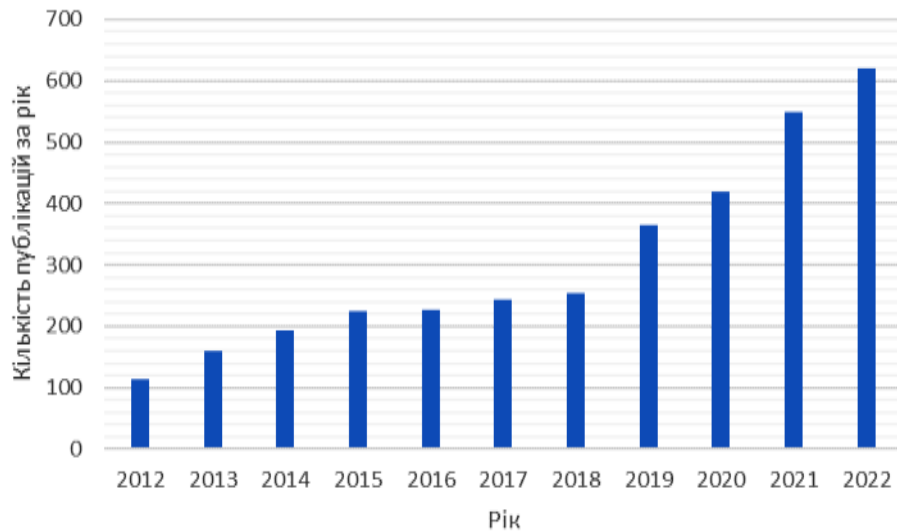
Усвідомлення впливу синтетичних пластикових матеріалів на основі нафти на навколишнє середовище спонукає науковців та представників виробництва до розробки екологічно чистих матеріалів і альтернативних технологічних рішень. Пляшки та контейнери, виготовлені методом роздуву, становлять значну частку світового ринку пластику, і їх утилізація є серйозною екологічною проблемою.

Пластикові пляшки, виготовлені методом роздуву, зазвичай складаються з трьох різних матеріалів: кришки з поліетилену високої щільності, корпусу пляшки з поліетилентерефталату та етикетки з поліпропілену, або поліетилену низької щільності. Таким чином, переробка пляшок, які виготовлені методом роздуву, потребують розділення різних матеріалів і подальшої переробки їх окремо.

Екологічно чистою альтернативою пляшкам виготовленим методом роздуву, яка має компоненти з різних матеріалів, була б розробка пляшки в якій кришка, корпус і етикетка виготовлені з біорозкладної полімерної суміші.

За даними [3] публікативна активність на тему біорозкладного пластику постійно зростає (рис.1).

За даними Renub Research у 2022 році світовий ринок біорозкладного пластику оцінювався в 7,41 мільярда, а до 2030 року досягне 17,58 мільярда доларів США [4].



**Рисунок 1** – Динаміка публікативної активності на тему біорозкладного пластику

Разом з цим завдяки сприятливому законодавству, прийнятому в багатьох країнах світу, світовий ринок біорозкладних пластиків переживає стрімке зростання в багатьох галузях виробництва пластмас. Існує кілька причин, що стимулюють розвиток ринку біорозкладного пластику, серед яких екологічність, зростаюче визнання споживачами біопродуктів, законодавство на користь біорозкладної тари та доступність відновлюваної енергії для виробництва біопластику. Виробництво біорозкладного пластику є енергоефективним процесом, оскільки споживає на 66% менше енергії, ніж звичайний пластик. Біорозкладний пластик також є екологічно чистим, оскільки він нетоксичний, швидко розкладається і виділяє невелику кількість парникових газів під час процесу розкладання.

В якості біорозкладних полімерів широко використовують полімолочну кислоту, або полілактид (PLA), суміші крохмалю, полігідроксиалканоат (PHA), полікапролактон (PCL).

Так в роботі [1] спеціально для екструзійного видувного формування пляшок розроблено нові біологічно розкладні суміші на основі біополіефірів. Авторами було доведено, що нова полімерна суміш підходить для екструзійно-видувного формування пляшок, а також

демонструє цінні властивості з точки зору механічної міцності, стійкості до ударів та захисту від газопроникності та світлопропускання.

Автори [2] досліджували можливість використання гідролізованого кукурудзяного крохмалю-желатину як основної матриці та целюлози як армуючої речовини для виготовлення контейнерів шляхом екструзійного роздування. При цьому встановлено, що найбільш прийнятна температура переробки повинна бути нижче 120 °С, щоб уникнути деградації, а додавання целюлози зменшує в'язкість крохмально-желатинової полімерної матриці, дозволяючи знизити температуру переробки до 100 °С.

В роботі [5] показали деградацію полілактидних пляшок під час компостування та в умовах навколишнього середовища, встановивши вплив температури, відносної вологості та рН компосту на швидкість деградації.

У 2012 році Гіроні та П'ємонте показали екологічні переваги пляшок із PLA для питної води порівняно з пляшками з поліетилентерефталату (PET) того ж призначення [6].

Пляшки на основі PLA сьогодні використовуються для питної води лише кількома брендами преміум-класу наприклад пляшка Sant'Anna (рис. 2 а) [7]. Заявлено, що біопластик піддається повному біологічному розкладанню при компостуванні протягом 80 днів, що відповідає нормативу EN13432.

Пляшки на основі PLA також використовуються для розливу вина (рис. 2 б), лише якщо вони покриті бар'єрними шарами [8], що робить пляшку більш жорсткою, а вартість пакувального рішення часто невиправданою. В якості бар'єрного шару використовують покриття з оксиду кремнію, що значно знижує проникності для різних газів.



а)



б)

**Рисунок 2** – Пляшки на основі PLA виготовлені методом роздуву: а)- пляшки Sant'Anna для питної води; б)- пляшка для розливу вина компанії Bodega Matarromera

Біорозкладна тара виготовлена методом роздуву має ряд переваг у порівнянні з традиційною пластиковою тарою, а саме: не забруднює навколишнє середовище, є безпечними для людей і тварин та виготовляється з відновлюваних ресурсів. Однак, така біорозкладна тара все ще має високу вартість у порівнянні з традиційними пластиковими матеріалами.

### Висновки

Таким чином, біорозкладна тара виготовлена методом роздуву є перспективним видом упаковки, який буде ставати все більш доступним і популярним, що сприятиме зменшенню забруднення навколишнього середовища та зростанню попиту на екологічно чисті продукти. Тому є перспективним розвиток технологій переробки біополімерів методом роздуву.

### Література

1. M. Barletta, C. Aversa, M. Puopolo, S. Vesco Extrusion blow molding of environmentally friendly bottles in biodegradable polyesters blends.

*Polymer Testing* V. 77, 2019, 105885  
<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.05.001>

2. Wendy Rodriguez-Castellanos, Fernando Martínez-Bustos, Denis Rodrigue, Magdalena Trujillo. Extrusion blow molding of a starch-gelatin polymer matrix reinforced with cellulose. *European Polymer Journal*, V.73, 2015  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2015.10.029>
3. Taofeeq D. Moshood, Gusman Nawanir, Fatimah Mahmud, Fazeeda Mohamad, Mohd Hanafiah Ahmad, Airin AbdulGhani Sustainability of biodegradable plastics: New problem or solution to solve the global plastic pollution? *Current Research in Green and Sustainable Chemistry* V.5, 2022, 100273 <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2022.100273>
4. Електронний ресурс: Bioplastics Market, Size, Global Forecast 2023-2030, Industry Trends, Share, Growth, Insight, Impact of Inflation, Company Analysis. <https://www.renub.com/bioplastics-market-p.php>
5. Luyi Chen, Rylie E.O. Pelton, Timothy M. Smith Comparative life cycle assessment of fossil and bio-based polyethylene terephthalate (PET) bottles. *Journal of Cleaner Production*. V.137, 2016, P. 667-676.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.094>
6. Carla M.B. Gonçalves, Liliana C. Tomé, Helga Garcia, Lúcia Brandão, Adélio M. Mendes, Isabel M. Marrucho Effect of natural and synthetic antioxidants incorporation on the gas permeation properties of poly(lactic acid) films. *Journal of Food Engineering* V.116 (2), 2013, P. 562-571.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.12.034>
7. Електронний ресурс: Mother water with respect to mother earth.  
<https://www.santanna.it/en/bio-bottle/>
8. Електронний ресурс: Bioplastics: First PLA wine bottle.  
<https://www.aimplas.net/blog/bioplastics-first-pla-wine-bottle/>

## **ЕЛАСТОМЕРНІ ГІДРОГЕЛЕВІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ РОСЛИННИХ ЕКСТРАКТІВ**

**ІО ЛЯШОК, ВА ДЕНИСЮК, ІЮ ВИШТАЛЮК, ІОО ЄРШОВА,  
ДО АНТОНЕНКО**

*Київський національний університет технологій та дизайну, м.Київ, вул. Мала  
Шияновська 2, e-mail: liashok77@gmail.com*

В роботі доведено можливість отримання методом кріоструктурування еластомерних гідрогелів на основі суміші полімерів ПВС/Кр у співвідношенні від 10/0 до 0/10. Встановили, що при вмісті крохмалю більше 50% відбувається колапс гідрогелів з досягненням рівноважного значення сорбції через 48 годин.

### **Вступ**

Гідрогелі - це матеріали, які складаються з довгих молекул полімеру, зв'язаних між собою в тривимірну структуру. Завдяки цьому гідрогелі здатні поглинати воду в значній кількості, збільшуючись у об'ємі. Гідрогелеві матеріали можна виготовляти з використанням природних полімерів, таких як альгінат, хітозан, желатин, крохмаль, гелланова камедь і целюлоза. Крім того, гідрогелі, виготовлені з використанням синтетичних полімерів, таких як полівініловий спирт (ПВС), полівінілпіролідон (ПВП), поліетиленгліколь (ПЕГ) і поліакрилова кислота (ПАК), мають кращі механічні властивості. Найпоширенішим у виготовленні гідрогелевих матеріалів є ПВС, оскільки він поєднує і механічну міцність, і біосумісності [1], тому успішно застосовувався як пов'язка для ран, система доставки ліків та у тканинній інженерії.

Медичні гідрогелі на основі ПВС мають ряд корисних властивостей. Вони стійкі до розкладання в організмі, можуть довго перебувати в ньому, не викликаючи побічних ефектів. Вони також можуть використовуватися для виготовлення препаратів, що запобігають утворенню тромбів, виведення з організму біологічно активних речовин, стимулювання або пригнічення дії ферментів, вирощування живих клітин, очищення та поділу фармацевтичних і біологічних речовин [3].

Гідрогелі на основі ПВС можна отримати двома способами: хімічним зшиванням при додаванні тетраборату натрія, або діальдегіду; фізичним

зшиванням методом чергування циклів заморожування – розморожування розчинів ПВС.

В останні десятиліття біоактивні екстракти, отримані з тваринних і рослинних джерел, стали об'єктом значного інтересу для розробки ефективних медичних продуктів. На сьогоднішній день для поліпшення процесу загоєння ран застосовують різні природні матеріали. Екстракти, отримані з трав, мають ряд терапевтичних переваг для загоєння ран, оскільки містять флавоноїди, жирні кислоти, алкалоїди та вуглеводи. Ці сполуки мають антибактеріальні, протигрибкові, антиоксидантні та протизапальні властивості.

Незважаючи на свою ефективність, екстракти з трав мають недоліки, зокрема нестабільність і чутливість до зовнішніх умов. Це обмежує їх широке використання.

Інкапсуляція є одним із ефективних способів збереження властивостей екстрактів з трав та полегшення їх доставки до цільових органів. Полісахариди, завдяки своїй гідрофільності, біосумісності, здатності до біологічного розкладання, кількості та відповідним функціональним групам, є ідеальними каркасами для інкапсуляції різних фітохімічних речовин.

Еластичні гідрогелеві матеріали на основі рослинних екстрактів – це нові матеріали, які мають потенціал для широкого спектру застосувань, включаючи медицину, фармацію, косметику та промисловість. Ці матеріали виготовляються на основі рослинних екстрактів, які містять вуглеводи, білки або ліпіди. Вони мають еластичні властивості, що робить їх схожими на природні тканини [2].

Гідрогелі на основі полісахаридів, збагачені рослинними екстрактами, надають унікальну можливість для розробки систем доставки ліків з спеціальними властивостями для загоєння ран.

Метою цієї роботи є створення гідрогелів на основі екстракту кропиви дводомної (*Urticaceae*), ПВС та крохмалю, та встановлення їх сорбційних характеристик.

Листки кропиви дводомної містять вітамін К1 — 0,2%, каротиноїди — до 50 мг% (β-каротин — до 60%, гідрокси-α-каротин, лютеоксантин, лютеїн-епоксид, віолаксантин, ксантофіл, ксантофіл-епоксид); кислоту аскорбінову — 0,6%, вітаміни В1, В2, В3, Е, РР; флавоноїди — кверцетин, кемпферол і рамнетин, тритерпенові сапоніни; кислоти гідроксикоричні (кофейну, ферулову і п-кумарову) та органічні (мурашину і лимонну); гістамін, ацетилхолін, глікозид уртицин, хлорофіл (до 3%), дубильні і білкові речовини, крохмаль, макро- і мікроелементи [4]. Екстракт кропиви має виражену гемостатичну дію, застосовується для загоєння ран і прискорення регенерації шкірних і слизових покривів. Антисептичні властивості рослини знижують ймовірність ускладнень, допомагають усунути запальні процеси.

### Методи досліджень

Для створення основи гідрогелевих матеріалів використовували суміші на основі екстракту кропиви 10% розчину полівінілового спирту (ПВС) та 10 % розчину крохмалю (Кр) у співвідношенні від 10/0 до 0/10. Гідрогелі отримували шляхом однократного заморожування протягом 24 годин при температурі -15 °С, в результаті якого відбувалося кріоструктурування. Для оцінки впливу кількості крохмалю в композиції ПВС/Кр на властивості гідрогелевих матеріалів досліджували гравіметричним методом сорбційні характеристики композицій. Для цього кріогідрогелів на основі екстракту кропиви витримували у воді при температурі  $23 \pm 2$  °С протягом 48 год. Сорбцію визначали за формулою:

$$W_m = (m_t - m_c) / m_c$$

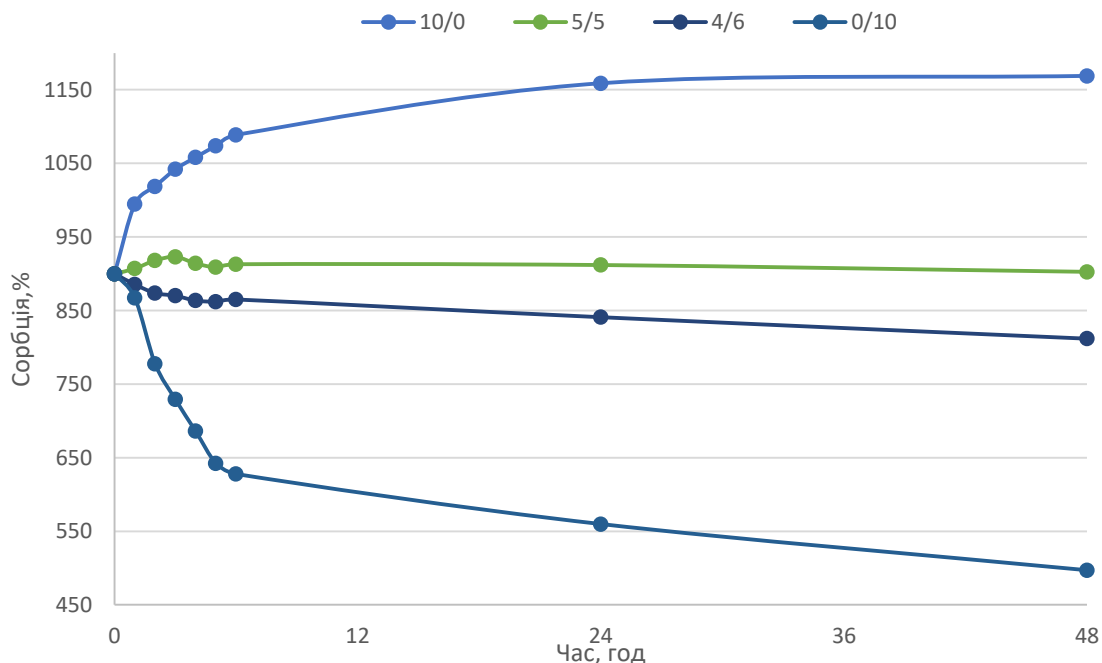
де  $m_t$  — маса зразка, в момент часу сорбції  $t$ , г;

$m_c$  — маса зразка, висушеного до сталої маси.

## Результати дослідження

В роботі було досліджено вплив кількості крохмалю на утворення гідрогелів на основі екстракту кропиви. Утворення гідрогелів на основі ПВС/Кр відбувається кріоструктуруванням, при заморожуванні кристалізується Кр, а при розморожуванні – ПВС. Встановлено, що всі композиції з вмістом крохмалю утворюють стійку структуру гідрогелевого матеріалу.

На рисунку наведені криві сорбції дистильованої води для зразків кріогідрогелів ПВС/Кр на основі екстракту кропиви у співвідношення від 10/0 до 0/10.



**Рисунок** – Сорбція дистильованої води зразків кріогідрогелів ПВС/Кр на основі екстракту кропиви

Характер кривих сорбції гідрогелю ПВС/Кр на основі екстракту кропиви у співвідношенні від 10/0 до 5/5 свідчить, що цей матеріал має просторово зшиту структуру з обмеженим набуханням. Тобто під час перебування у дистильованій воді відсоток вологості збільшується з 900 до 1170 %, тобто у 1,3 рази. При збільшенні кількості крохмалю відбувається повна зміна характеру кривих сорбції. Вже з перших хвилин перебування зразків у воді їх маса знижується, спостерігається візуальне зменшення

об'єму, вологість при цьому знижується в середньому у 1,8 рази. Тобто спостерігається колапс гідрогелів, або витіснення води.

### Висновки

В роботі доведено можливість отримання методом кріоструктурування гідрогелів з суміші полімерів ПВС/Кр на основі екстракту кропиви у співвідношенні від 10/0 до 0/10.

Встановили, що на характер кривих сорбції має вплив кількість крохмалю у гідрогелевому матеріалі, а саме при вмісті крохмалю більше 50% відбувається колапс гідрогелевих систем з досягненням протягом 48 годин рівноважного значення сорбції.

### Література

1. Thomas Michel, Emilie Destandau, Gaëtan Le Floch, Marie Elisabeth Lucchesi, Claire Elfakir Antimicrobial, antioxidant and phytochemical investigations of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) leaf, stem, root and seed. *Food Chemistry*, **2012**, 131, 754-760 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.029>
2. Umar Nabi Tak, Showkat Rashid, Firdaus Ahmad Ahangar, Pawandeep Kour, Arjumund Shaheen, Saima Sidiq, Gousia, Ayaz Ahmad Manhas, Nighat Nazirb, Aijaz Ahmad Dar A composite polyvinyl alcohol–medicinal plant extract crosslinked hydrogel: a novel soft system with excellent rhodamine B adsorption and significant antifungal activity. *New J. Chem.*, **2023**, 47, 13422-13435 <https://doi.org/10.1039/D3NJ02229C>
3. Morteza Abazari, Tayebbeh Akbari, Mahdiye Hasani, Elham Sharifikolouei, Mohammad Raoufi, Alireza Foroumadi, Mohammad Sharifzadeh, Loghman Firoozpour, Mehdi Khoobi Polysaccharide-based hydrogels containing herbal extracts for wound healing applications. *Carbohydrate Polymers*, **2022**, 294, 119808 <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119808>
4. Фармакогнозія: базовий підруч. для студ. вищ. фармац. навч. закл. (фармац. ф-тів) IV рівня акредитації / В.С. Кисличенко, І.О. Журавель, С.М. Марчишин та ін.; за ред. В.С. Кисличенко. — Харків : НФаУ : Золоті сторінки, 2015. — 736 с.

## **ЕКОЛОГІЧНІ ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ РОСЛИННИХ БАРВНИКІВ**

**ІО ЛЯШОК<sup>1</sup>, ОВ ІЩЕНКО<sup>1</sup>, ОГ ЖУКОВА<sup>2</sup>, ММ ПОЛУШКІН<sup>1</sup>,  
МО ЛЯШОК<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала  
Шияновська 2, м. Київ, 01011, [liashok77@gmail.com](mailto:liashok77@gmail.com)*

<sup>2</sup>*Київський національний університет будівництва і архітектури, проспект  
Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03680*

Розглянуто екологічні перспективи застосування рослинних барвників. Встановлено колірні характеристики вовняних текстильних матеріалів із попередньою обробкою солями металів пофарбованих екстрактами календули та кропиви.

### **Вступ**

Зростаючий попит на екологічно чисті продукти та послуги сприяє розвитку виробництва рослинних барвників. Рослинні барвники – це природні барвники, які отримують з рослинних матеріалів, таких як фрукти, овочі, ягоди, коріння, листя, квіти та деревина. Вони є безпечними для людини і навколишнього середовища, оскільки не містять хімічних речовин, які можуть бути шкідливими для здоров'я або забруднити довкілля.

Застосування рослинних барвників має ряд екологічних переваг порівняно з синтетичними барвниками. Їх одержують з відновлюваних ресурсів, таких як рослини. Це означає, що вони не сприяють виснаженню природних ресурсів. Рослинні барвники застосовуються в різних галузях промисловості, включаючи харчову, текстильну, косметичну та фармацевтичну. Вони використовуються для фарбування харчових продуктів, напоїв, текстильних виробів, косметики та лікарських препаратів.

У харчовій промисловості рослинні барвники використовуються для фарбування таких продуктів, як цукерки, льодяники, десерти, напої, макарони та хлібобулочні вироби [1]. Вони можуть надавати продуктам яскраві та привабливі кольори, не завдаючи шкоди здоров'ю. У косметичній промисловості рослинні барвники використовуються для

колорування косметики, таких як помада, туш для вій, тіні для повік та лак для нігтів [2]. Вони можуть надавати косметиці натуральні та яскраві кольори, а також бути безпечними для шкіри.

У фармацевтичній промисловості рослинні барвники використовуються для надання кольору лікарським препаратам, таких як пігулки, капсули та сиропи. Вони можуть надавати препаратам яскраві та привабливі кольори, що полегшує їх розпізнавання. У текстильній промисловості рослинні барвники використовуються для фарбування тканин, одягу та інших текстильних виробів. Вони можуть надавати тканинам різні кольори та відтінки, при хорошій стійкості до прання та впливу сонячних променів.

### **Методи досліджень**

В роботі проведено фарбування вовняних текстильних матеріалів екстрактами календули та кропиви. Екстракти одержували методом настоювання на водяній бані 50 г сухої сировини ТМ «Ліктрави» на 1 л води. Після екстрагування барвника протягом 45 хвилин відвар проціджували крізь густе сито та охолоджували. Попередньо розшліхтовані зразки вовняні текстильні матеріали, оброблювали 5% розчинами металів  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  протягом 30 хв. Текстильні матеріали послідовно оздоблювали спочатку екстрактом календули, а потім кропиви при нейтральному рН, та рН – 9 по 30 хв, з подальшим промиванням холодною водою. При цьому модуль ванни становив 1:30.

### **Результати досліджень**

Натуральні барвники мають як переваги, так і недоліки. З одного боку, вони екологічно безпечні та дозволяють отримати природні кольори. З іншого боку, відтінок може залежати від різних факторів, а самі барвники меншим фарбувальним ефектом, процес колорування займає більше часу, а процес екстрагування є складним [3].

Більшість лікарських рослин мають фарбувальну здатність. Кропива має протизапальні, кровоспинні та інші лікувальні властивості. Календула

має бактерицидну, протівірусну, антимікозну, ранозагоювальну, спазмолітичну властивість, а також покращує процеси регенерації дермісу.

До хімічного складу екстракту кропиви входять вітаміни К1, В1, В2, В3, Е, РР, каротиноїди; аскорбінова, мурашина, лимонна та гідроксикоричні кислоти; флавоноїди; гістамін, ацетилхолін, глікозид уртицин, хлорофіл, дубильні і білкові речовини, крохмаль, макро- і мікроелементи. Екстракт календули містить каротиноїди; ефірну олію, сесквітерпеноїди; тритерпенові сапоніни; органічні кислоти; полісахариди; стероли; смоли; сліди алкалоїдів [4].

Екстракти кропиви та календули мають антимікробні та фарбувальні властивості. Вони можуть надавати бактерицидний захист текстильним матеріалам. Відтінок кольору залежить від якості сировини, дозування, комбінування з іншими компонентами та тривалості екстрагування.

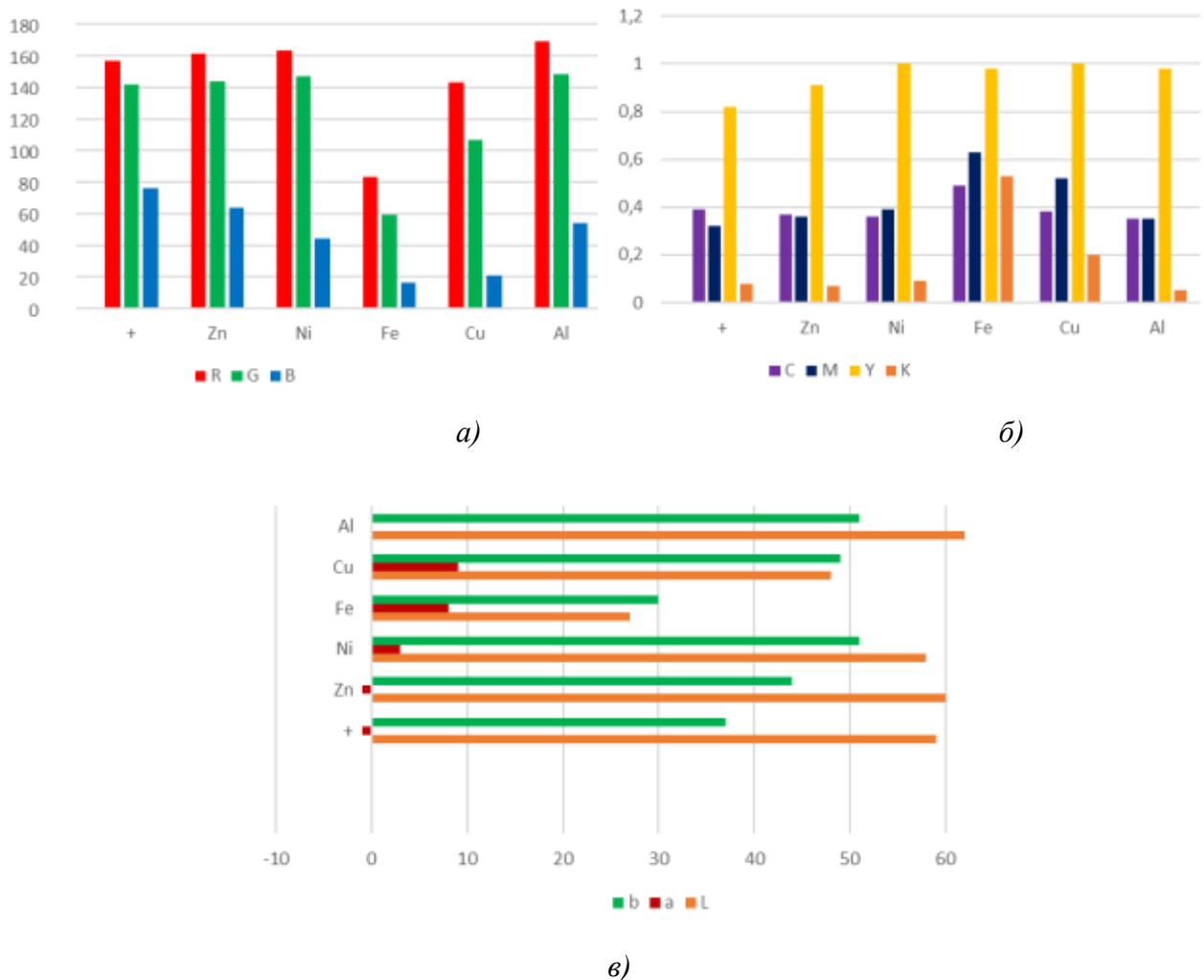
Відтінок кольору одержаного при фарбуванні природними барвниками залежить від багатьох факторів – якості сировини, її дозування, комбінування з іншими компонентами, тривалості контакту текстильного матеріалу з екстрактом барвника, який готують переважно настоюванням або кип'ятінням. Від тривалості екстрагування залежить яскравість кольору.

В сучасному процесі оздоблення використовують попередню обробку солями металів – протравлення. Відтінок кольору природного барвника також залежить від рН середовища. В роботі після оздоблення екстрактом рослинного барвника 30 хв, додавали аміак до рН 9 та продовжували процес фарбування ще 30 хв. Після цього текстильний матеріал набував більш темного насиченого, зеленкуватого, а при попередній обробці солями заліза коричневого забарвлення.

При попередній обробці зразків солями міді одержуються оливкові кольори; солями нікелю – жовтий при оздобленні екстрактом календули, зелений – екстрактом кропиви і світло-коричневий при оздобленні сумішшю екстрактів.

Попередня обробка солями заліза дала можливість отримати світло-коричневий колір в екстракті календули, чорнуватий – в кропиві і насичено коричневий при оздобленні сумішшю цих екстрактів.

Було проведено аналіз характеристик кольору оздоблених зразків у системах RGB, CMYK, L a b. Як приклад, на рисунку наведені координати кольору для вовняних текстильних матеріалів оздоблених сумішшю екстрактів календули та кропиви.



**Рисунок** – Характеристики координат кольору у системі а)- RGB; б)- CMYK; в)- L a b

З діаграми видно, що в системі RGB, червоної компоненти найбільше для зразків оброблених солями алюмінію, зеленої – практично порівну для зразків без попередньої обробки та з обробкою солями цинку, нікелю та алюмінію. Зразок отриманий при попередній обробці солями заліза має найнижчі показники координат RGB, які відповідають темно коричневому

кольору. В системі СМΥК показано, що для всіх зразків жовта компонента більша за 0,8. Показник L обернено пропорційний кількості барвника на поверхні волокна. Тобто з його зменшенням кількість барвника збільшується, що характерно для зразків вовняного матеріалу попередньо обробленого  $\text{Fe}^{3+}$ .

### Висновки

Встановлено можливість оздоблення вовняних текстильних матеріалів екстрактами календули, кропиви та їх сумішей з попереднім протравленням солями металів  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  та характеристики кольорів у системі RGB, СМΥК, L a b. Оливковий колір одержують при фарбуванні екстрактом кропиви попередньо обробленого текстильного матеріалу солями  $\text{Cu}^{2+}$ , жовтий – солями  $\text{Ni}^{2+}$  та оздобленні екстрактом календули, зелений і світло-коричневий при оздобленні сумішшю екстрактів. Такі текстильні матеріали можуть мати антимікробні властивості, але це потребує додаткових досліджень. Для зразків вовняного матеріалу попередньо обробленого  $\text{Fe}^{3+}$  характерне зменшення показника L, що підтверджує збільшення кількості барвника.

### Література

1. Папченко, В.Ю., Кузнецова, Л.М. Узагальнення наукових основ одержання харчових барвників. *Вісник Національного технічного університету Харківський політехнічний інститут*. Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів, 2015, 44, 65-68.
2. Терзієв, С.Г., Ружицька, Н.В., Сиротюк, І.В., Акімов, О.В., Щербич, М.В. Інноваційні процеси одержання фітоекстрактів і концентратів для харчової, фармацевтичної та парфумерно-косметичної промисловості. *Scientific Works*. 2020, 84, 73-78.
3. Фарбування текстильних матеріалів рослинними барвниками: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. /З.М. Семак, Б.Б. Семак. - Л.: Світ, 2005. - 336 с.
4. Фармакогнозія: базовий підруч. для студ. вищ. фармац. навч. закл. (фармац. ф-тів) IV рівня акредитації / В.С. Кисличенко, І.О. Журавель, С.М. Марчишин та ін.; за ред. В.С. Кисличенко. — Харків : НФаУ : Золоті сторінки, 2015. — 736 с.

## **ЕКОЛОГІЧНЕ ПАКУВАННЯ: СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ**

**ОВ ІЩЕНКО<sup>1</sup>, ТМ ТКАЧЕНКО<sup>2</sup>, ВА СОКОЛОВСЬКИЙ<sup>1</sup>,  
АЛ МЕЛЬНИЧЕНКО<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Київський національний університет технологій та дизайну,  
вул. Мала Шияновська, 2, Київ, 01011, [e.ishchenko5@gmail.com](mailto:e.ishchenko5@gmail.com)*

<sup>2</sup>*Київський національний університет будівництва і архітектури,  
проспект Повітрофлотський, 31, Київ, 03680*

На основі аналізу результатів сучасних наукових досліджень сформульовано критерії екологічного пакування. Визначено основні тенденції екологічної пакувальної індустрії. Розглянуто перспективи розвитку пакувальної галузі. Наведено основні напрями, які можуть змінити ставлення споживача до екологічно безпечного гнучкого пакування.

### **Вступ**

В останні десятиріччя пакування стало одним з найважливіших та пріоритетних напрямів економіки індустріально розвинених країн світу.

Основна частина пакувальних матеріалів виготовлена з полімерних матеріалів. Це пояснюється їх високою міцністю, легкістю, технологічністю, дешевизною і доступністю вихідної сировини тощо. Але дедалі ширше застосування таких пакувань вже тепер становить глобальну загрозу забруднення для навколишнього середовища. Недоліком такої упаковки є те, що її розкладання в природних умовах потребує багато часу.

Зростання вартості сировини, стурбованість виснаженням нафтових ресурсів і забрудненням навколишнього середовища, що спричинено накопиченням у природі великих обсягів полімерних матеріалів, призвело до посиленої уваги можливої заміни полімерних матеріалів, синтезованих з нафтової сировини, на біологічно розкладні полімери та їх суміші, виготовленні з природної сировини. Тому актуальною є проблема боротьби з поширенням полімерних відходів, їх переробки та утилізації, пошуку альтернативних видів екологічних пакувань.

Мета статті – встановлення основних тенденцій виробництва екологічно безпечних гнучких пакувань та перспектив їх впровадження.

### **Результати дослідження**

Розширивши підходи до проблем поводження з відходами, ЄС прийняв Стратегію щодо полімерів, оприлюднивши її як один із

пріоритетних напрямів. Це означає ефективний шлях для виробів з полімерів, у тому числі упаковки, на всіх стадіях життєвого циклу: дизайн, виробництво, використання та рециклінг.

Ефективність впровадження тих чи інших заходів прямо залежить від інструментів, за допомогою яких це робитиметься. Такими інструментами є директиви. Так Директива ЄС 2019/904 від 5 червня 2019 р. про зменшення впливу на довкілля деяких виробів із полімерів забороняє в країнах ЄС з 2021 р. виробництво та використання таких виробів: полімерні столові прибори одноразового використання (виделки, ножі, ложки та палички для їжі), одноразові полімерні тарілки, соломинки для напоїв, ватні палички, харчові контейнери та чашки з пінополістиролу.

До того ж Стратегія щодо полімерів вимагає, щоб до 2030 р. вся полімерна упаковка була багаторазовою, перероблялася або компостувалася. Відповідно до європейських Директив, усі країни повинні через своє законодавство організувати та забезпечити реалізацію цих вимог та норм. Загальним принципом їх реалізації є розширена відповідальність виробника: саме виробник відповідає за відходи свого виробництва. Якщо говорити про відходи упаковки, то це відповідальність виробника, імпортера та продавця продукції в упаковці.

Саме такий підхід дозволив багатьом компаніям світу в своїх планах сталого розвитку до 2030 р. передбачити для своєї продукції повсякденного попиту зменшення її ваги та кількості, а також організувати її переробку на вторинну сировину, зробити її багаторазовою або передбачити її компостування [1].

У сучасних умовах світової економіки виробники пакувальної продукції перебувають у постійному пошуку інноваційних технологій, спрямованих на підвищення конкурентоздатності на національному та на зовнішніх ринках, що своєю чергою активізує роботу науковців. Ще кілька років тому екологічне пакування пропагували лише передові компанії, але

зараз виробництво та використання екологічних пакувань стає буденним стандартом.

Екологічне пакування – це пошук, розробка та використання технологій, які мають мінімальний вплив на навколишнє середовище та залишають мінімальний «екологічний слід». Тому екологічне пакування безпечне для довкілля і запобігає подальшому виснаженню природних ресурсів [1].

Пропонуються такі критерії, за якими пакування вважається екологічним:

1. Є корисним, безпечним і здоровим для окремих людей та громад.
2. Відповідає ринковим критеріям ефективності та вартості.
3. Виробляється, транспортується та переробляється з використанням відновлюваної енергії.
4. Оптимізує використання відновлюваних або перероблених вихідних матеріалів.
5. Виробляється з використанням безпечних («чистих») технологій виробництва та передового досвіду.
6. Виготовляється з матеріалів, корисних протягом усього життєвого циклу.
7. Фізично розроблене для оптимізації витрат матеріалів та енергії.
8. Ефективно відновлюється та використовується в біологічних та/або промислових процесах із замкнутим циклом [1].

Згідно з дослідженнями Grand View Research, у 2022 р. [2] світовий ринок екологічної упаковки оцінювався в 306,73 мільярда доларів США, і очікується, що з 2023 по 2030 р. він зростатиме у середньому на 6,5% (рис.1). Це пов'язано зі зростанням обізнаності споживачів про види екологічної упаковки та введення в дію урядових законів, наприклад – заборони одноразової пластикової упаковки.

Екологічні пакувальні рішення – це виготовлення з екологічно чистих матеріалів на основі сировини рослинного походження та інших

біологічно розкладних матеріали, які мають менший вуглецевий слід – від виробництва до утилізації.

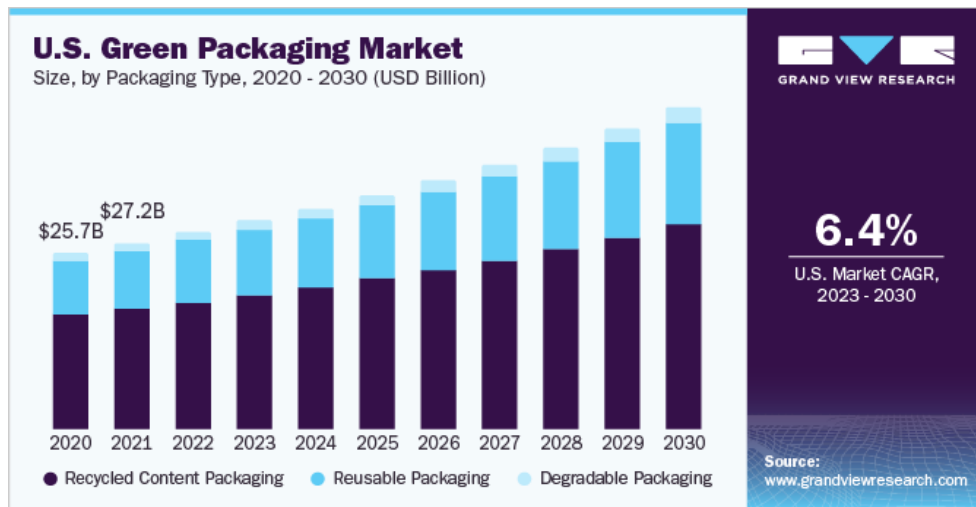


Рисунок 1 – Зростання світового ринку екологічної упаковки [2]

Екологічні стратегії та інновації в упаковці, які можна застосувати, щоб зробити свою упаковку більш екологічною:

1. Передові методи утилізації та переробки.
2. Вторинне використання пакувальних матеріалів.
3. Упаковка на основі рослинної сировини.
4. Їстівна упаковка.
5. Упаковка «для розсади», яку можна ще використовувати в побуті.
6. Компостовані та біорозкладані пластикові альтернативи.
7. Зменшення надмірної упаковки в усьому ланцюжку постачання.
8. Співпраця з партнерами-виробниками із екологічною практикою.

Водночас не припиняються розробки широкого асортименту біологічно безпечних та біологічно розкладальних полімерів (наприклад, полілактидної кислоти (PLA)). Ці тенденції підкріплюються маркетинговими дослідженнями, які показують, що серед споживачів зростає тенденція оцінювати бренди щодо їх екологічності та готовність платити більше за екологічне пакування.

Екологічна упаковка товарів відповідає:

- іміджу та репутації бренду – покупці сьогодні віддають перевагу тим компаніям, які мають сильну екологічну репутацію;

- споживчий інтерес – кількість прихильників еко-руху постійно зростає, а це означає, що потрібно відповідати їхнім очікуванням;
- урядова політика – використання екологічної упаковки вже стає нормою і на законодавчому рівні.

В середньому 33 % споживачів готові змінити свою прихильність до бренду продукції, якщо вважають, що її упаковка не відповідає сталому розвитку. Вони вимагають екологічно безпечної упаковки, а саме: скорочення її кількості, зниження ваги, можливості подальшої переробки, мінімізації використання води та енергії при виробництві, зменшення викидів CO<sub>2</sub>.

### **Висновки**

Сьогодні, коли турбота про екологію — це почесна справа кожної людини, екологічна упаковка є свідченням відповідального підходу до споживання та формування екологічно свідомого суспільства. Бізнес не повинен стояти осторонь, необхідно впроваджувати еко-упаковку, демонструвати свою відповідальність перед споживачами та суспільством, а отже – привернути до себе увагу та лояльність клієнтів. Сталий розвиток упаковки можливий лише тоді, коли всі об'єднують свої зусилля.

Наразі, перебуваючи під впливом засобів масової інформації, спостерігаючи акції екологічних організацій та будучи добре поінформованим, споживач змінює свою поведінку: вимагає щодо упаковки більш соціально відповідальних рішень, які матимуть мінімальний вплив на навколишнє середовище.

### **Література**

1. Nicasio F. Why You Need to Offer Sustainable Packaging – and How to Do It Right. URL: <https://www.bigcommerce.com/blog/sustainable-packaging/#what-is-sustainable-packaging>
2. Green Packaging Market Size, Share & Trends Analysis Report By Packaging Type (Recycled, Reusable, Degradable), By Application (Food & Beverages, Healthcare), By Region, And Segment Forecasts, 2023 – 2030 <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/green-packaging-market>.

## **ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ ПЛІВОК НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНИХ ПОЛІСАХАРИДІВ**

**ОВ ІЩЕНКО, РА ВЕСЕЛОВСЬКИЙ, АІ МЕЛЬНИК,  
АА КИРИЧЕНКО**

*Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала Шияновська  
(Немировича-Данченка), 2, Київ, 01011, [e.ishchenko5@gmail.com](mailto:e.ishchenko5@gmail.com)*

Доведена можливість одержання плівки, що біологічно розкладається з полімерної композиції на основі полівінілового спирту та модифікованих полісахаридів. Розроблено рецептурний склад полімерної композиції на основі модифікованих полісахаридів, досліджено фізико-механічні властивості плівок.

### **Вступ**

Проблема захисту навколишнього середовища в даний час набуває глобального характеру, зокрема серйозну проблему викликає швидке та некероване зростання споживання синтетичних пластмас у багатьох галузях економіки, що призводить до різкого збільшення відходів. Одним з найбільш прийнятних способів вирішення цих важливих питань є створення біодеградуючих матеріалів і композитів. Тому розробка і дослідження нових біодеградуючих полімерних матеріалів – важливе і актуальне завдання, яке можливо вирішити хімією і технологією макромолекулярних систем. В останні роки інтенсивно, ведуться роботи зі створення нового класу біодеградуючих, компостних пластиків на основі природних матеріалів, які не приносять шкоди навколишньому середовищу і здоров'ю людини.

Поширений спосіб придання біологічного руйнування синтетичних полімерів є введення в полімерну композицію різних наповнювачів, зокрема крохмалю, хітозану, полімолочної кислоти та інших інгредієнтів. Але таким способом залишається проблема розкладання синтетичної полімерної складової.

Найбільш відомим і багатотоннажним синтетичним продуктом, що випускається і який містить в якості активного наповнювача, що біологічно розкладається, крохмаль – це матеріал Mater-Bi фірми Novamont S.p.A. (Італія). Така унікальна властивість цих матеріалів, як

здатність поглинати і пропускати деякі рідини, зараз використовується у виробництві так званих «дихаючих плівок». З таких полімерів випускають лотки для продуктів харчування, одноразовий посуд для системи швидкого харчування fast-food та ін., плівкові матеріали з низькою кисневою проникністю [1].

Серед інших виробників, що пропонують нестандартні розробки матеріалів для біоупаковки, вирізняються такі компанії як італійська фірма Novamont SpA і англійська компанія Environmental Polymers Group (EPG). Італійці створили і запустили у виробництво чотири композиції матеріалу марки Mater-Bi, нетоксичного поліацеталю на основі крохмалю. Англійці працюють над створенням особливого типу полівінілового спирту, який здатен біологічно розкладатися в гарячій і холодній воді. Цей матеріал пропонується використовувати для виробництва пакувальної плівки методом екструзії з роздувом. Запропонована компанією EPG технологія два моменти: запатентовану технологію екструзії і власні розробки біодеградантів на основі полівінілового спирту. Дослідники університету Кампинас, Сан-Паулу, розробили матеріал для плівки – борошно амаранту (поживний хлібний злак, який вирощують в Південній Америці), яка переробляється біологічними методами, тобто може розкладатися під дією мікроорганізмів, має високий вміст білку. Вона прозора і володіє властивостями, які дозволяють зберігати овочі і фрукти свіжими значно довше, ніж звичайно, та не має залишків свого смаку.

Крохмаль – мабуть, найпоширеніша сировина для біорозкладних матеріалів, з ним працюють понад 30% спеціалізованих підприємств. Звичайно, сам він досить крихкий, але якщо в нього додати рослинні пластифікатори (гліцерин, сорбітол), волокна льону, коноплі або полілактид, отриманий з кукурудзи або буряку, то це збільшить механічну міцність і пластичність. Модифікація гідрофільних ОН-груп зробить його стійким до вологи. Таким чином, крохмаль використовують не тільки в якості наповнювача, але і модифікують його, після чого виходить полімер,

який розкладається в навколишньому середовищі, але при цьому має властивості комерційно корисного продукту. Вироби з модифікованого крохмалю виробляють на тому ж обладнанні, що і синтетичні полімери, його можна фарбувати, але технологічні властивості поки поступаються поліетилену і поліпропілену. З крохмалю вже роблять піддони для харчових продуктів, сільськогосподарські плівки, пакувальні матеріали, столові прилади, сіточки для зберігання овочів, фруктів і багато іншого [2].

### Методологія досліджень

В роботі використовується кукурудзяний крохмаль, який пластифіковано гліцерином. Для покращення властивостей отриманих плівок додавали модифіковані полісахариди карбоксиметильований крохмаль (Na-КМК), карбоксиметильовану целюлозу (Na-КМЦ), також проводили дослідження з додаванням синтетичного полімеру – полівінілового спирту (ПВС) і як зшиваючого агенту лимонну кислоту. Для отримання плівок, що біологічно розкладаються було досліджені композиції, які відрізнялися за своїм складом (табл.1)

**Таблиця 1** – Рецептний склад зразки

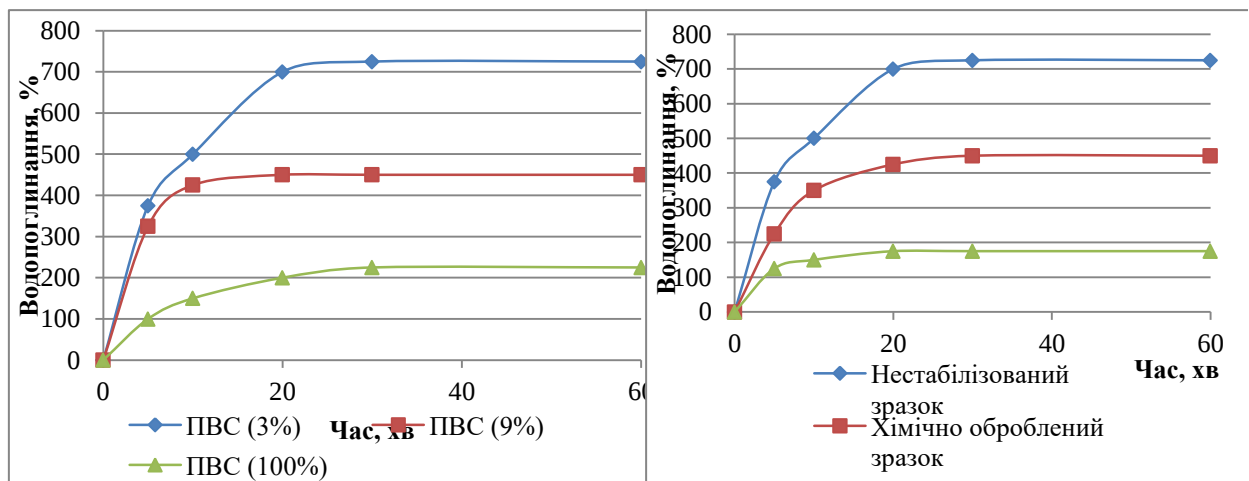
| Найменування зразків | Вміст інгредієнтів, % |          |     |     |                 |          |      |
|----------------------|-----------------------|----------|-----|-----|-----------------|----------|------|
|                      | ПВС                   | Крохмаль | КМК | КМЦ | Лимонна кислота | гліцерин | Вода |
| Зразок № 1           | 5                     | -        | 3,5 | 3,5 | 1,5             | 1,5      | 87   |
| Зразок № 2           | 6                     | 5        | -   | -   | 2               | 1        | 86   |
| Зразок № 3           | 4                     | 3        | 6   | -   | 1               | 2        | 84   |
| Зразок № 4           | 4                     | 6        | 1   | -   | 1,5             | 1,5      | 86   |
| Зразок № 5           | 9                     | -        | 9   | -   | 1               | 2        | 79   |
| Зразок № 6           | 10                    | -        | 1   | -   | 1               | 2        | 86   |
| Зразок № 7           | 5                     | 4,5      | 4,5 | -   | 1               | 2        | 79   |
| Зразок № 8           | 20                    | -        | -   | -   | -               | -        | 80   |
| Зразок № 9           | 3                     | 2,5      | 2,5 | 7   | 2               | 2        | 81   |

Розроблена технологія одержання плівок на основі полімерної композиції з ПВС і модифікованих полісахаридів. Спочатку готують розчин ПВС, який перемішують протягом 15 хвилин і поступово додають інші компоненти: крохмаль, КМК, КМЦ, лимонну кислоту і гліцерин. Змішування проводиться до досягнення однорідності суміші протягом

2 годин. Процес проходить при безперервному нагріванні на водяній бані при температурі 90°C. Для зменшення розчинності плівок, в якості зшиваючого агента використовували лимонну кислоту, що дає можливість скоротити технологічний процес. Готові зразки висушують і використовують в подальших дослідженнях.

### Результати дослідження

Плівки на основі чистого ПВС характеризуються меншим ступенем водопоглинання 210%, ніж плівки до складу яких входить лише крохмаль. З рис.1 видно, що цей показник водопоглинання 710% для плівок, де вміст ПВС (3%) є більшим, ніж для чистих ПВС плівок.



**Рисунок 1** – Кінетика водопоглинання плівок на основі полімерних композицій з додаванням модифікованих полісахаридів (Зразок 9, Зразок 5) та на основі ПВС (Зразок 8)

**Рисунок 2** – Кінетика водопоглинання стабілізованих плівок на основі полімерних композицій з додаванням модифікованих полісахаридів (Зразок 9)

Це пов'язано з наявністю у композиції полісахаридів (крохмалю, КМК, КМЦ), які сорбують значну кількість води. Композиція, де вміст ПВС складає 9% водопоглинання 450%. Причиною цьому є зменшений вміст крохмалю і КМК та відсутність КМЦ, тобто співвідношення ПВС до полісахаридів складає 1:1.

В процесі формування плівки вона характеризується високою розчинністю. Для зменшення її набухання і уникнення злипання проводили дослідження впливу стабілізацію зразків хімічним

(осаджувальна ванна) і термостабілізаційним методами. Зразок 9 знаходився в осаджувальній ванні з розчином  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , який виконує роль коагулюючого агента (концентрація 350-400 г/л, рН 4-5 і температура 40-50°C). Термостабілізацію проводили при температурі 180-200°C протягом 3 хвилин (рис. 2).

Зниження розчинності плівки в результаті її термостабілізації можна пояснити релаксаційними і кристалізаційними процесами, що відбуваються у плівці.

### **Висновки**

Лимонна кислота, в свою чергу, зшиває гідроксильні групи гліцерину і ПВС та карбоксильні групи лимонної кислоти, внаслідок чого утворюється просторово зшитий полімер. Таким чином, використання лимонної кислоти забезпечує підвищення фізико-механічних властивостей полімерної плівки.

Використання модифікованих полісахаридів підвищує фізико-механічні властивості плівок та термін біорозкладу.

Проаналізовані дані доводять необхідність застосування біодеградувальних полімерних матеріалів для виготовлення упаковки. Запропоновано доступний з економічної і технологічної точки зору в реаліях України спосіб виготовлення біодеградувального матеріалу.

### **Література**

1. R. Scaffaro, M. Morreale, G. Lo Re, F.P. La Mantia, Degradation of Mater-Bi®/wood flour biocomposites in active sewage sludge, Polymer Degradation and Stability, Volume 94, Issue 8, 2009, Pages 1220-1229.
2. Masayuki Shima, Biodegradation of plastics, Current Opinion in Biotechnology, Volume 12, Issue 3, 2001, Pages 242-247.

## МЕДИЧНІ ВИРОБИ НА ОСНОВІ ГІДРОГЕЛІВ

ОВ ПЩЕНКО, ІО ЛЯШОК, ІВ ОХРІМЕНКО, ІМ РУБАН

Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала  
Шияновська (Немировича-Данченка), 2, Київ, 01011, [e.ishchenko5@gmail.com](mailto:e.ishchenko5@gmail.com)

На основі аналізу сучасних наукових публікацій та досліджень розглянуто види медичних виробів на основі гідрогелів. Визначено основні напрями розвитку застосування гідрогелів в медичній практиці для лікування ран. Досліджено реологічні властивості гідрогелів на основі альгінату натрію.

### Вступ

Полімери представляють собою групу матеріалів, які широко використовуються в медицині, як для досягнення модифікованого вивільнення активних фармацевтичних інгредієнтів, так і для ефективного загоювання пошкоджених шкірних покривів. Це зумовлено такими властивостями полімерів як біосумісність, сумісність з лікарськими засобами, водорозчинність, плівкоутворення, здатність до набухання і хорошими механічними властивостям [1].

Гідрогелі – це тривимірні полімерні структури, зшиті за рахунок ковалентного зв'язку та слабких когезійних сил водневих або іонних зв'язків. Гідрогелі можуть бути поділені на дві групи залежно від їх синтетичного або природного походження. До групи гідрогелів синтетичного походження відносять гідрогелі, які утворюються з синтетичних полімерів, отриманих з використанням хімічних методів полімеризації. Група гідрогелів природного походження – колаген, желатин, гіалуронова кислота, альгінат натру, агар, хітозан, ксантанові камеді, пектини, крохмаль, целюлоза та її похідні.

Синтетичні полімери, такі як полівініловий спирт, поліакриламід, поліетиленоксид і поліетиленгліколь, використовувалися для формування гідрогелю. Ці гідрогелі в основному використовуються в біомедичних цілях. Природні полімери зазвичай демонструють вищу біосумісність порівняно з синтетичними полімерами, але синтетичні хімічно сильніші за натуральні.

Цей клас гідрофільних полімерних матеріалів демонструє здатність набухання у воді та інших розчинниках і здатний поглинати та утримувати в структурі гелю понад 10% води від своєї ваги. Висока водопоглинальна здатність пов'язана з гідрофільними функціональними групами в структурі полімеру, такими як амін ( $\text{NH}_2$ ), гідроксил ( $-\text{OH}$ ), амід ( $-\text{CONH}-$ ,  $-\text{CONH}_2$ ) і сульфат ( $-\text{SO}_3\text{H}$ ) групи [2]. Завдяки наявності гідрофільних функціональних груп молекули води можуть мігрувати в полімерну структуру, що призводить до розширення гідрогелю та збільшенню об'єму.

На сьогодні гідрогелі широко досліджуються та використовуються: в процесах пролонгованої доставки ліків, як матриці для контрольованого вивільнення біологічно-активних сполук та активних фармацевтичних інгредієнтів, як імпланти, для конструювання тканин організму, як лікувальні пов'язки для лікування ран і опіків та інших поверхневих пошкоджень [3]. Фізико-механічні властивості відомих гідрогелів визначаються методом зшивання – конструювання полімерного каркасу гідрогелю і незалежно від методу їх одержання, як правило, недостатні для сучасних застосувань [4].

Відома інформація про дослідження щодо сумішей, виготовлених із колагену та хітозану, хороші властивості набухання були виявлені для потрібних сумішей, виготовлених із колагену, хітозану та гіалуронової кислоти. Також були запропоновані суміші хітозану та полівінілового спирту, гідрогелі на основі полівінілового спирту та колагену. Для біомедичних застосувань запропоновані в основному гідрогелі хітозан-полівінілпіролідон також їх можна застосовувати в косметичі. Гідрогелі з полімерних сумішей можна ефективно використовувати для доставки активних фармацевтичних інгредієнтів. Запропоновано терапевтичний гідрогель з полівінілового спирту або полівінілпіролідону для лікування atopічного дерматиту. Гідрогелі також можуть містити екстракт лікарської рослини, які можна використовувати при лікуванні дерматитів. Полівініловий спирт та його суміш з іншими полімерами можна

використовувати для приготування якісних гідрогелів, які є компонентами фармацевтичних, косметичних і медичних продуктів

Розробка нових лікарських засобів є важливим напрямком в сучасній медичній науці. Пошук нових композицій, що поєднують антимікробну, знеболюючу та заспокійливу дію, є актуальним завданням для поліпшення якості медичних послуг. Альгінат натрію, біорозкладний полімер, є одним із основних компонентів, вивчених у цьому дослідженні. Цей природний полімер володіє здатністю утворювати гелеві структури при контакті з водою, що робить його перспективним матеріалом для створення водорозчинних композицій з бажаними фізико-хімічними та біологічними властивостями.

Метою розробити полімерну водорозчинну композицію, яка має антимікробні, анестетичні та знеболюючі властивості, і може бути використана в медичних та стоматологічних операціях.

### **Матеріали та методи**

Для розробки полімерної водорозчинної композиції були обрані такі основні та додаткові компоненти: основний полімер – альгінат натрію (NaAlg); антимікробний агент – азитроміцин (Azithromycin); активний фармацевтичний інгредієнт (АФІ) – лідокаїн; заспокійливий інгредієнт: левоментол (Levomenthol); консерванти – ніпагін, ніпазол; зшиваючий агент – кальцію хлорид.

Для створення гелю для зубів, необхідно підготувати основу, включаючи альгінат натрію та воду. Потім додаємо лікарські компоненти: азитроміцин, лідокаїн, левоментол, разом з іншими допоміжними компонентами. Далі масу ретельно змішуємо до отримання однорідної маси. В'язкість гелю була виміряна за допомогою реометра при різних температурах (25°C, 32°C, 37°C). Під час вимірювань змінювалася швидкість зсуву, і зафіксувалися значення зсувного напруження та деформації.

Був проведений аналіз кінетики вивільнення активних компонентів з гелю для стоматологічного застосування. Дослідження виконувалися в умовах фізіологічного середовища при температурі 32°C за допомогою спектрофотометричного методу. В якості активних компонентів вивчався лідокаїн, і вимірювалася його кількість у гель-матриці.

### Результати дослідження

В роботі були проведені реологічні дослідження (рис.) що показали фізико-хімічні характеристики полімерної водорозчинної композиції на основі альгілату натрію суттєво змінюються залежно від відсоткового співвідношення компонентів, зокрема альгілату натрію.

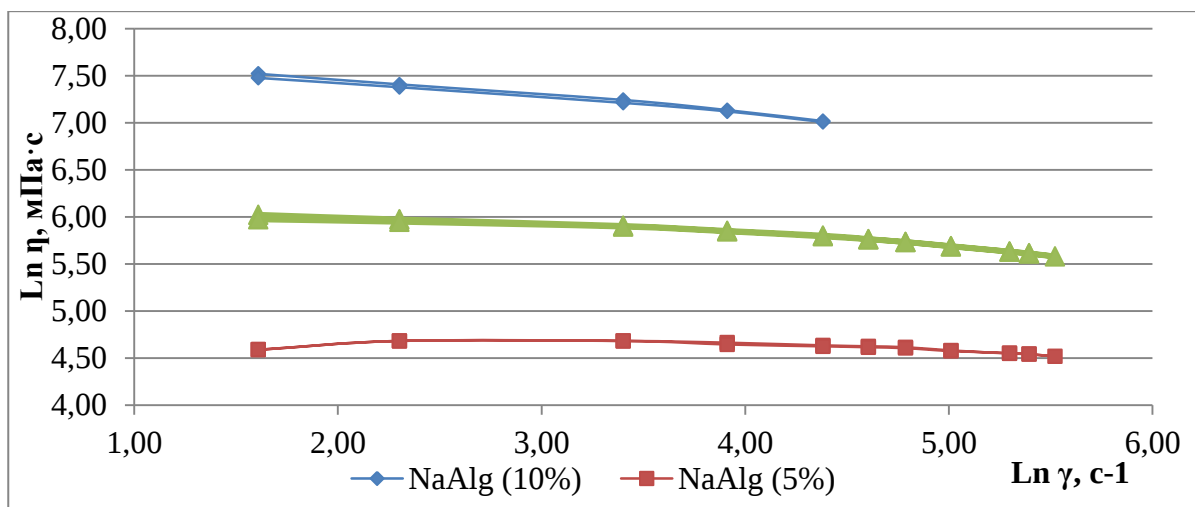


Рисунок – Залежність в'язкості розчину альгілату натрію від градієнту швидкості зсуву

Збільшення вмісту альгілату натрію у складі композиції призвело до підвищення в'язкості продукту. Композиція з вищим вмістом альгілату натрію (10%) має більш високу в'язкість (приблизно на 30% вище), що може впливати на зручність застосування та розподіл препарату на слизовій оболонці порожнини рота. При цьому, збільшення вмісту альгілату натрію також сприяло збільшенню еластичності композиції. Композиція з вищим вмістом альгілату натрію має більшу еластичність (приблизно на 20% вище), що може позитивно вплинути на адгезію до слизової оболонки та тривалість дії.

Встановлено, що розчини на основі альгілату натрію відносяться до аномально в'язких структурованих систем ( $n < 1$ ), характеризуються достатньо високим ступенем тиксотропного відновлення в'язкості (95-

99%), що пов'язано з невисокою структурованістю досліджуваних розчинів.

Відмічено, що антимікробна активність композиції з азитроміцином збільшується зі зростанням вмісту альгілату натрію. Вивільнення азитроміцину в водну фазу протікає по складному дифузійно-кінетичному механізму. Композиція з найвищим вмістом альгілату натрію (60%) демонструє більш високу антимікробну активність порівняно з композицією з нижчим вмістом (50%).

### **Висновки**

Оптимізація гідрогелів має важливе значення в розробці гелю для стоматологічного застосування та догляду за порожниною рота, спрямованого на покращення регенерації тканин в цій області. Гідрогелі дозволяють точно контролювати вивільнення активних компонентів, забезпечуючи необхідну концентрацію в зоні застосування. Це сприяє досягненню високої терапевтичної ефективності з мінімальними побічними ефектами. Гідрогелі, є зручними у використанні, що особливо актуально для застосування в галузі стоматології. Важливу роль у процесі розробки таких гелів відіграють фізичні властивості активних компонентів та допоміжних речовин, а також характеристики полімерної основи, що виступає носієм активних компонентів.

### **Література**

1. Kadajji V.G., Betageri G.V. Water Soluble Polymers for Pharmaceutical Applications. *Polymers*. 2011. № 4 (3). P. 1972-2009. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym3041972>.
2. Jain J. P., Yeneti Ayen W., Domb A. J., Kumar N. *Biodegradable Polymers in Clinical Use and Clinical Development*. John Wiley & Sons Inc. Hoboken. 2011. DOI: 10.1002/9781118015810.
3. Nair L. S., Laurencin C. T., *Tissue Engineering I*. Springer, Verlag Berlin Heidelberg. 2006. № 102, P. 47
4. Doppalapudi S., Jain J.P., Khan W. and Domb A. J. Biodegradable polymers-an overview. *Polymers for Advanced Technologies*. 2014. DOI: 10.1002/pat.3305.

## **ТАРА ТА УПАКОВКА НА ОСНОВІ БІОПОЛІМЕРІВ**

**ОВ ІЩЕНКО, РМ МОСКАЛЬ, ІВ ФРОЛОВА, А-МВ ОЛЕКСІЄНКО**

*Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала  
Шияновська (Немировича-Данченка), 2, Київ, 01011, [e.ishchenko5@gmail.com](mailto:e.ishchenko5@gmail.com)*

На основі аналізу сучасних наукових публікацій та досліджень розглянуто види тари та упаковки на основі біополімерів. Визначено основні напрями розвитку застосування біополімерів в пакувальній галузі та встановлено основні вимоги до цих матеріалів.

### **Вступ**

На сьогодні, упаковка товару забезпечує його належне збереження та є важливим інструментом для комунікації зі споживачем прямо з полиць супермаркету. Експерти наголошують, що питання оформлення упаковки слід виносити окремим пунктом під час складання експортної стратегії – настільки зовнішній вигляд товару гарантує успіх на нових ринках.

З урахуванням проблем забруднення навколишнього середовища, на стадії створення пакування продукції, можна знизити вартість упаковки та мінімізувати її вплив на навколишнє середовище. Через тренд екологічності, можна зробити свій продукт більш привабливим для споживачів, які віддають перевагу екологічній упаковці.

Зростає тенденція до максимізації переробленого складу упаковки або використання відновлювальних природних джерел. Очікується, що буде продовжувати збільшуватися використання картону, паперу та вторинної сировини – для пакування продуктів харчування по всьому світу.

### **Результати дослідження**

Пакувальні матеріали на основі біополімерів викликають інтерес у всьому світі завдяки їх здатності до біологічного розкладання, біосумісності та відновлюваності. В останні роки біополімери, такі як крохмаль, хітозан, карагенан, полімолочна кислота та інші [1], досліджувались на предмет їх потенційного застосування як упаковки для харчових продуктів. Додатки, нанонаповнювачі та активні агенти, покращують властивості біополімерів, та роблять їх придатними для

активної та «розумної» упаковки. Як відповідь на схвалені законодавчі акти різних організацій, зросла тенденція використання біополімерів для упаковки.

У цій статті описуються проблеми та можливі рішення, пов'язані з матеріалами для пакування харчових продуктів, представлений аналіз біополімерів і обговорюються майбутні тенденції.

Біополімери є екологічно чистими, біологічно розкладними, нетоксичними, відновлюваними, біосумісними та альтернатива синтетичним пакувальним матеріалам. Вони легко переробляються, порівняно з синтетичними полімерами та вирішують важливе питання забруднення навколишнього середовища.

Вони мають чудову здатність до плівкоутворення та різну міцність, специфічну для кожного біополімеру. Разом з іншими біополімерами або армуючими агентами ці матеріали можуть створювати високоефективну упаковку. Ці матеріали створюють матриці для включення нанодобавок, природних сполук, антимікробних агентів, антиоксидантів, вітамінів, мінералів, поживних речовин, і, таким чином, надаються спеціальні властивості пакувальним матеріалам [2].

Незважаючи на те, що біополімери є екологічно чистими, їх головними недоліками є низькі механічні та бар'єрні властивості, прискорене розкладання, висока гідрофільна здатність та чутливість до вологи, слабкі механічні та хімічні структури, що робить їх непридатними для пакування харчових продуктів. Крім того, порівняно з синтетичними полімерами, їх важко переробляти і вони відносно дорогі. Існує широкий спектр можливостей використання біополімерів в упаковці харчових продуктів. Біополімери є основою для більшості комбінацій пакувальних матеріалів разом із нанодобавками чи іншими активними сполуками. Додавання наповнювачів до біополімерної матриці покращує основні властивості, необхідні для пакувального матеріалу, такі як бар'єрні, механічні, термічні, антиоксидантні та антимікробні. Більшість

розроблених пакувальних матеріалів для харчових продуктів все ще знаходяться на стадії дослідження, і є можливість масштабного виробництва та використання цих матеріалів, як альтернатива синтетичним полімерам. Промислове виробництво біополімерів і біопластику має можливість зменшити глобальне забруднення навколишнього середовища та допомогти циркулярній економіці, як зазначає Європейський Союз.

Загальновідомі наслідки використання пластикової упаковки на основі синтетичних полімерів. Біополімери можуть бути більш безпечними для навколишнього середовища, але їхні конкретні переваги та недоліки залежать від ряду змінних, таких як походження, виробничі процеси, системи управління відходами та міркування про кінець терміну служби. Щоб приймати обґрунтовані рішення щодо впливу матеріалу на навколишнє середовище, важливо провести ретельний аналіз життєвого циклу матеріалу. Більшість біополімерів у чистому вигляді не становлять загрози суспільству чи навколишньому середовищу, але ці біополімери поєднуються з нанонаповнювачами або іншими активними речовинами для покращення якості пакувальних матеріалів. Ці агенти становлять загрозу міграції в харчовий продукт і поступово мігрують в організм людини. Це може становити загрозу для здоров'я людини, якщо агент є цитотоксичним. Крім того, під час процесу біодеградації активні агенти мігрують у ґрунт/воду, що може вплинути на умови навколишнього середовища та привести до забруднення. Міграція хімічних сполук характерна не тільки для біополімерів, це також може статися з іншими пакувальними матеріалами. Важливо оцінювати й керувати потенційною міграцією сполук із будь-якого пакувального матеріалу, для забезпечення безпеки харчових продуктів і відповідності нормативним вимогам. Розробка нових матеріалів, оптимізація технологій обробки та широке тестування, щоб переконатися в їх придатності для контакту з харчовими продуктами та мінімізувати міграцію потенційно небезпечних

речовин. Крім того, мікроорганізми, які використовуються для виробництва біополімерів, можуть бути небезпечними та призвести до забруднення навколишнього середовища.

Функція біорозкладної плівки полягає не в тому, щоб повністю замінити синтетичну упаковку, а в тому, щоб зменшити вплив твердих відходів на навколишнє середовище, забезпечити якість харчових продуктів і таким чином впливати на термін їх придатності. Біорозкладні плівки повинні відповідати таким вимогам і характеристикам, щоб вони могли бути функціональними: запобігання або пом'якшення механічних пошкоджень; запобігання або зменшення окислення ліпідів; запобігання або зменшення мікробного псування; контролювати поглинання кисню; створити селективний бар'єр для вуглекислого газу та водяної пари; регулюють утворення етилену для уповільнення старіння, регулюють виділення харчових добавок (наприклад, антиоксидантів, барвників та ароматизаторів). Біополімери/біопластики, такі як термопластичний крохмаль, PLA, целюлоза та PBAT, використовують в промисловому виробництві для упаковки харчових продуктів [3].

Упаковка, виготовлена з біорозкладних матеріалів або отримана з відновлюваних джерел, стала доступною альтернативою для упаковки продуктів. Біорозкладні плівки на основі пластифікованих полісахаридів можуть бути використані в якості тари (контейнера), а додавання антиоксидантів та антимікробних компонентів або екстрактів з необхідною функціональною активністю надає цим матеріалам специфічних властивостей.

## **Висновки**

Біополімери допомагають зменшити вплив виробництв з переробки пластику на навколишнє середовище, та, певним чином, ведуть до зеленої економіки. Оскільки плівки, які біологічно розкладаються, виготовляються з відновлюваних джерел та сільськогосподарських відходів, є чудова можливість для дослідницької роботи з використання цієї економічної

можливості. Наразі біорозкладні полімери замінюють близько 1% пластику. Таким чином, необхідно, щоб фундаментальні та прикладні дослідження були більше зосереджені на покращенні характеристик, таких як фізико-хімічні, термічні властивості, зниженні вартості та спрощенні технологій виробництва біополімерів. У контексті біологічно розкладної харчової упаковки перед застосуванням необхідно провести дослідження взаємодії між харчовими компонентами та біополімерами під час обробки та зберігання. Майбутні дослідження мають бути більше зосереджені на вартості пакувальних матеріалів, на використанні нанотехнологій, інтелектуальних датчиків тощо, які забезпечують цілісність та надають інформацію про продукт споживачам. Завдяки біологічно розкладним полімерам існує більший потенціал для утилізації сільськогосподарських відходів, вирішення проблем нестачі викопного палива, небезпеки для здоров'я, поводження з твердими відходами та екологічних проблем, пов'язаних із пластиком.

### Література

1. Nair, A., Kansal, D., Khan, A., & Rabnawaz, M. (2022). New alternatives to single-use plastics: Starch and chitosan-graft-polydimethylsiloxane-coated paper for water-and oil-resistant applications. *Nano Select*, 3(2), 459-470.
2. Lo Faro E, Bonofiglio A, Barbi S, Montorsi M, Fava P. Polycaprolactone/Starch/Agar Coatings for Food-Packaging Paper: Statistical Correlation of the Formulations' Effect on Diffusion, Grease Resistance, and Mechanical Properties. *Polymers*. 2023; 15(19):3921. <https://doi.org/10.3390/polym15193921>
3. Nicasio F. Why You Need to Offer Sustainable Packaging – and How to Do It Right. URL: <https://www.bigcommerce.com/blog/sustainable-packaging/#what-is-sustainable-packaging>

## РЕОЛОГІЯ ПОЛІМЕРНИХ ВОГНЕЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

АР ВАХІТОВ<sup>1</sup>, КВ КАЛАФАТ<sup>2</sup>, ВІ ШОЛОГОН<sup>2</sup>, ЛМ ВАХІТОВА<sup>2</sup>,  
НА ТАРАН<sup>2</sup>, ВІ БЕССАРАБОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Немировича-Данченка, 2, Київ, 01011, drvib500@gmail.com

<sup>2</sup>Інститут фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України, Харківське шосе, 50, Київ, 02000, lubovvakhitova@gmail.com

Досліджено вплив наноглин на реологічні властивості інтумесцентних органорозчинних систем, що містять співполімери стиролакрилату. Встановлено, що ефективними тиксотропними домішками є виключно органомодифіковані шаруваті алюмосилікати бентонітового ряду (монтморилоніт, сепіоліт, смектит тощо). Присутність у вогнезахисній фарбі гідрофобних наноглин підвищує в 2 рази товщину максимального шару мокрого покриття, яку можливо нанести за один прохід. Домішки синтетичних та гідрофільних бентонітових силікатів практично не впливають на реологію досліджених інтумесцентних композицій.

### 1 Вступ

Вогнезахисні інтумесцентні композиції для сталевих конструкцій є найбільш розповсюдженими засобами вогнезахисту будівельних конструкцій у світовій практиці пожежної безпеки [1, 2]. Майже всі інтумесцентні фарби, які випускаються промислово, складаються з системи, що спучується: поліфосфат амонію (АРР), меламін (МА), пентаеритрит (РЕ). пігменту (зазвичай діоксид титану  $\text{TiO}_2$ ), додаткових антипіренів та наповнювачів, реологічних домішок тощо [3, 4]. За 50 років практичного застосування інтумесцентного вогнезахисту були досягнуті значні результати щодо підвищення вогнезахисної ефективності полімерних покриттів, розширення сфери їх використання, поліпшення експлуатаційних та екологічних властивостей. Тим не менш, існує низка проблем, яка, незважаючи на універсальність, технологічність у нанесенні, естетичні характеристики [2, 4], обмежує застосування полімерних покриттів інтумесцентного типу. До одного з таких обмежень слід віднести необхідність нанесення декількох (від 2 до 10) шарів для досягнення регламентованої товщини, що значно підвищує вартість вогнезахисної обробки й об'єкту будівництва в цілому.

Особливо ця проблема набуває актуальності у зв'язку із стрімким збільшенням межі вогнестійкості сталевих конструкцій (R, хв), яку може забезпечити інтумесцентне покриття. Так за останні 10 років в результаті наукових розробок та створення інноваційних вогнезахисних інтумесцентних технологій спостерігається зростання показника R вдвічі – з 90 до 180 хв. [5]. Слід зауважити, що для досягнення межі вогнестійкості R180 товщина сухого покриття має становити 8-10 мм, що потребує нанесення 15-20 шарів фарби з обмеженням товщини мокрого шару 0,7-1,0 мм згідно з технічними рекомендаціями виробників [5]. Збільшити товщину покриття для нанесення за один прохід без провисань, підтьоків, відшарувань від поверхні металевої конструкції можливо удосконаленням реологічних властивостей фарби шляхом підбору оптимальних систем загущення.

Метою роботи є вивчення впливу наноглин на реологічний профіль та вогнезахисні властивості полімерної інтумесцентної фарби складу APP/MA/PE/TiO<sub>2</sub>/співполімер стиролу з акрилатом (SA) у розчині сольвенту.

Модифікація інтумесцентних систем (IC) наноглинами є доволі вивченим аспектом підвищення вогнезахисної ефективності [6-8], але вплив наноглин на реологію інтумесцентних фарб є питанням не вивченим та відкритим для наукових досліджень.

## **2 Матеріали та методи дослідження впливу наноглин на реологію інтумесцентних фарб**

### *2.1 Матеріали та обладнання, використані у експерименті*

У дослідженні використовували поліфосфат амонію Exolit AP 422 (Clariant, Німеччина), пентаеритрит мікронізований марки Charmor PM40 (Perstorp Holding AB, Швеція), меламін (Borealis Agrolinz Melamine GmbH, Австрія), діоксид титану марки Ti-Pure R-902 (DuPont, США), співполімери стиролу з акрилатом – Pliolite AC80 (SA1) та Pliolite AC4 (SA2) виробництва Omnova Solutions (США).

Наноглини виробництва фірми BYK Additives & Instruments (Німеччина) представлені такими бентонітовими силікатами: Garamite 7305 (модифікована бензалконієм суміш монтморилоніту –  $[M \cdot nH_2O](Al_{4-x}Mg_x)Si_8O_{20}(OH)_4$  і сепіоліту  $Mg_4(Si_6O_{15})(OH)_2 \cdot 6H_2O$ ); Tixogel MP (бентоніт, модифікований четвертинним бензил(гідрогенізований таловий алкіл)диметил амонієм); Clayton HY (модифікований таловим алконієм монтморилоніт), Laponite EP – модифікований синтетичний силікат магнію, аналог гекторіту з формулою  $CaO_3(Cr^{3+}, Mg^{2+}, Fe^{2+})_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$ ; Optigel WA (бентоніт –  $Si_8Al_4O_{20}(OH)_4 \cdot nH_2O$ ), Optibent 987 (активований природний смектит). Було досліджено також Organoclay 801D (монтморилоніт, модифікований таловим біс-гідроксіетилметиламонієм хлоридом) виробництва Zhejiang (Китай). Класифікація наноглин проведена за технічними описами фірми-виробника.

Дослідження реологічних властивостей інтумесцентної композиції здійснювали на ротаційному реометрі Brookfield DV-III. Визначення коефіцієнта спучення інтумесцентних композицій ( $K$ ,  $cm^3/g$ ) описані в роботі [10].

## 2.2 Приготування інтумесцентних композицій

Інтумесцентні композиції готували змішуванням в лабораторному бісерному млині компонентів інтумесцентної системи: поліфосфат амонію (31,4 г), пентаеритрит (36,6 г), меламін (36,6 г), діоксид титану (52,3 г), необхідну кількість відповідної наноглини, 41,9 г полімеру SA1 чи суміші полімерів SA1+SA2 у вигляді 30 % розчину у ксилолі. Склади досліджених інтумесцентних композицій представлені у таблиці 1.

Для визначення коефіцієнта спучення на сталеву пластину наносилася інтумесцентна композиція з середньої товщиною  $1,50 \pm 0,10$  мм. Товщину покриттів вимірювали за допомогою магнітного товщиноміру Qnix1500. Пластина витримувалися при кімнатній температурі не менше

20 діб. Значення відповідних коефіцієнтів спучення покриттів IC1-IC9 наведені у таблиці 1.

Визначення густини отриманих інтумесцентних композицій ( $\rho$ , г/см<sup>3</sup>, табл. 2) здійснювали за ДСТУ ISO 2811-1:2019 (ISO 2811-1:2016, IDT).

**Таблиця 1** – Склад (мас. ч) інтумесцентних композицій

| № IC | Наноглина*      | APP/MA/PE/TiO <sub>2</sub><br>мас.ч. | Полімер, мас.ч. |      | Коефіцієнт<br>спучення,<br>г/см <sup>3</sup> |
|------|-----------------|--------------------------------------|-----------------|------|----------------------------------------------|
|      |                 |                                      | SA1             | SA2  |                                              |
| 1    | -               | 1                                    | 0,14            | -    | 62                                           |
| 2    |                 | 1                                    | 0,10            | 0,04 | 56                                           |
| 3    | Garamite 7305   | 1                                    | 0,10            | 0,04 | 35                                           |
| 4    | Tixogel MP      | 1                                    | 0,10            | 0,04 | 32                                           |
| 5    | Clayton HY      | 1                                    | 0,10            | 0,04 | 34                                           |
| 6    | Organoclay 801D | 1                                    | 0,10            | 0,04 | 39                                           |
| 7    | Laponite EP     | 1                                    | 0,10            | 0,04 | 52                                           |
| 8    | Optigel WA      | 1                                    | 0,10            | 0,04 | 51                                           |
| 9    | Optibent 987    | 1                                    | 0,10            | 0,04 | 51                                           |

Примітка: \*вміст наноглини в інтумесцентній композиції 1% (мас).

### **3 Результати з дослідження реологічного профілю інтумесцентних систем**

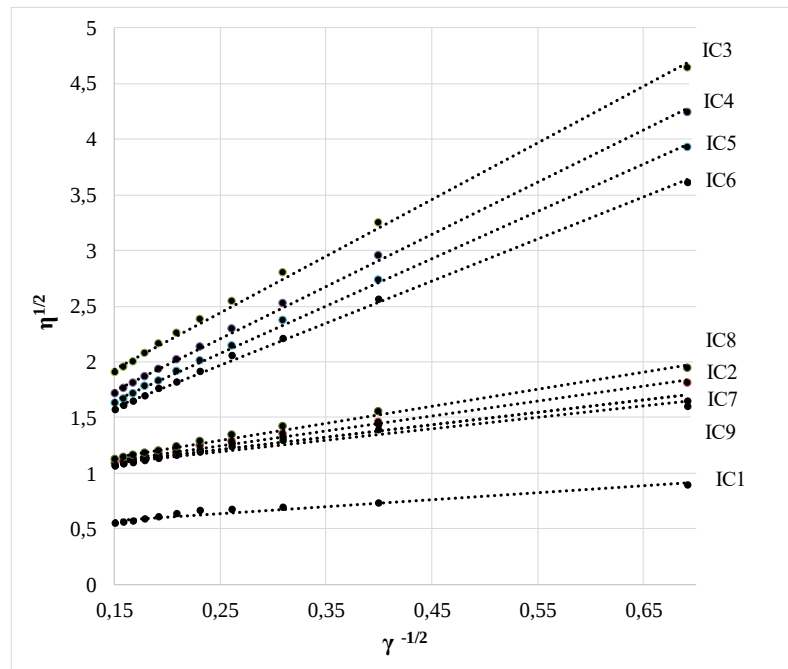
Вогнезахисні фарби та покриття мають бути придатними на всіх етапах життєвого циклу – при виробництві для диспергування компонентів та розливу продукту у тару, під час зберігання без наявної седиментації, у процесі нанесення із забезпеченням технологічної роботи обладнання, при формуванні покриття на підкладці без провисань, підтьоків та інших дефектів. Перераховані вимоги як і максимально допустима товщина мокрого покриття за один прохід залежать від реологічної поведінки вихідного лакофарбового продукту. Для неньютонівських матеріалів, якими є більшість фарб, в'язкість є функцією прикладеної напруги зсуву або швидкості зсуву, а основні процеси, (отримання, зберігання, нанесення) описуються за допомогою: швидкості зсуву ( $\dot{\gamma}$ , с<sup>-1</sup>), напруги зсуву ( $\tau$ , Па), зсувної напруги (напруги, за якої починається пластична деформація: межа текучості ( $\tau_0$ , Па), в'язкості системи у стані спокою ( $\eta_0$ , Па с), в'язкості при певній швидкості зсуву ( $\eta$ , Па с) та при високих швидкостях зсуву ( $\eta_\infty$ , Па с).

Віскозиметри Брукфілда призначені для вивчення реологічної поведінки рідин чи рідких матеріалів при низьких швидкостях зсуву – приблизно від 0,1 до 100 с<sup>-1</sup>. Прилад Brookfield DV-III, на якому проводилися вимірювання, забезпечує максимальну швидкість обертів шпинделю 250 об/хв, що в перерахунку на швидкість зсуву  $\dot{\gamma}$  відповідає 52,25 с<sup>-1</sup>. Мінімальне значення швидкості зсуву  $\dot{\gamma}$ , яке забезпечує прилад Brookfield DV-III, складає 0,209 с<sup>-1</sup>.

Для прогнозування в'язкості покриття в умовах високих зсувів було використане рівняння Кассона [9]:

$$\eta^{1/2} = \eta_{\infty}^{1/2} + \tau_0^{1/2} / \dot{\gamma}^{1/2} \quad (1)$$

Рівняння (1) дає змогу визначити значення напруги  $\tau_0$ , яке відповідає швидкості зсуву  $\dot{\gamma} \rightarrow 0$  та визначається на приладі Брукфілду з великою похибкою, а також показник  $\eta_{\infty}$ , що відповідає в'язкості, визначеній на приладах ІСІ при високих швидкостях зсуву. Лінеаризація даних з виміряної в'язкості композицій ІС1-ІС9 (табл. 1) в координатах  $\eta^{1/2}$  від  $\dot{\gamma}^{-1/2}$ , наведена на рисунку 1.



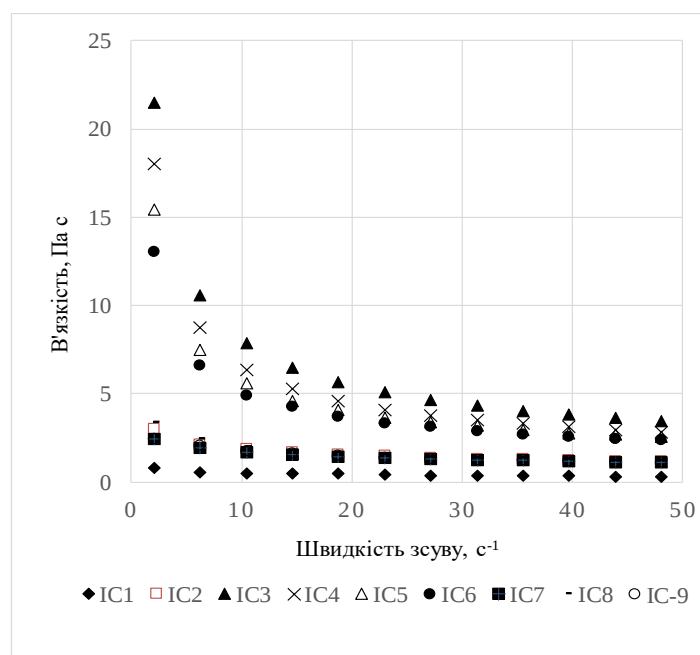
**Рисунок 1** – Залежність в координатах  $\eta^{1/2}$  від  $\dot{\gamma}^{-1/2}$  для вогнезахисних фарб ІС1-ІС9

Обробка кореляційних залежностей, наведених на рисунку 1, дозволяє визначити  $\eta_{\infty}$  зі значення перетину прямої з віссю Y та  $\tau_0$  через значення тангенсу кута нахилу прямої до осі X.

В таблиці 2 наведені кількісні показники з реології інтумесцентних композицій IC1-IC8, що були отриманні шляхом розрахунків згідно з моделлю Кассона (1) на базі відповідних реологічних профілів (рис. 2).

**Таблиця 2** – Вплив наноглин на реологічні властивості фарб інтумесцентного типу

| Композиція | $\tau_0$ , Па | $\eta_{\infty}$ , Па с | R     | $\eta_0$ , Па с | $\rho$ , г/см <sup>3</sup> | d, мм |
|------------|---------------|------------------------|-------|-----------------|----------------------------|-------|
| IC1        | 1,51          | 0,128                  | 0,978 | 0,801           | 1,26                       | 0,122 |
| IC2        | 2,21          | 0,701                  | 0,985 | 3,02            | 1,28                       | 0,178 |
| IC3        | 25,8          | 1,44                   | 0,990 | 21,5            | 1,34                       | 1,894 |
| IC4        | 22,1          | 1,08                   | 0,994 | 22,1            | 1,32                       | 1,708 |
| IC5        | 18,1          | 1,12                   | 0,989 | 15,4            | 1,36                       | 1,358 |
| IC6        | 14,6          | 1,02                   | 0,991 | 13,1            | 1,31                       | 1,137 |
| IC7        | 2,08          | 0,757                  | 0,990 | 2,41            | 1,28                       | 0,166 |
| IC8        | 3,06          | 0,750                  | 0,981 | 3,42            | 1,28                       | 0,24  |
| IC9        | 2,37          | 0,706                  | 0,983 | 2,37            | 1,30                       | 0,186 |



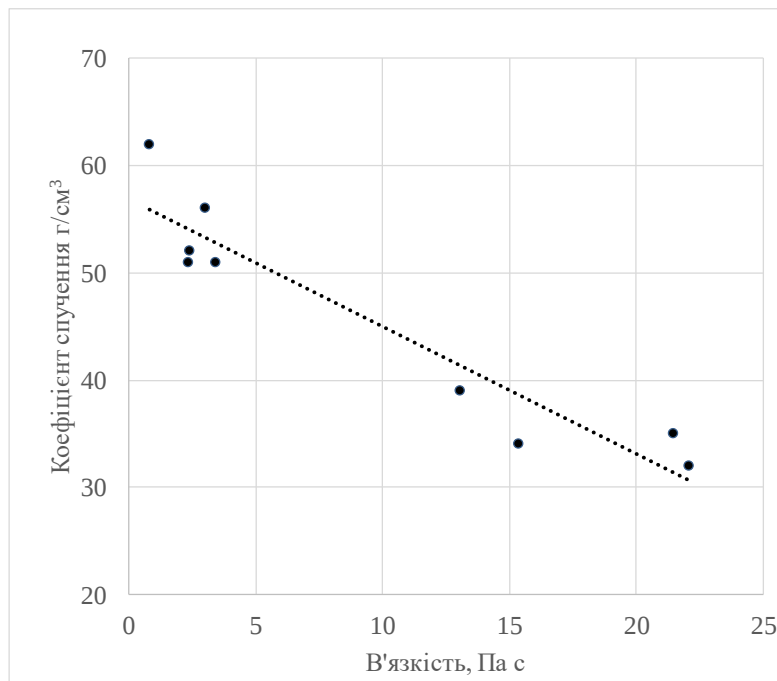
**Рисунок 2** – Залежність в'язкості інтумесцентних фарб IC1-IC-8 від швидкості зсуву

Аналіз результатів, що представлені в таблиці 2, дозволяє констатувати, що лише органомодифіковані наноглини Garamite 7305 (IC3), Tixogel MP (IC4), Clayton HY (IC5) та Organoclay 801D (IC6) суттєво

підвищують в'язкість інтумесцентних композицій, на відміну від необроблених модифікаторами гідрофільних глин.

Цей результат є очікуваним, але не зовсім однозначним. Бо, відомо [6], що для ІС на основі SA органомодифіковані глини Claytone HY та Garamite 7305 забезпечують відносно збереження коефіцієнта спучення покриття К при концентрації наноглини до 0,3 %, в той час, як Laronite EP до 5 %, а Optigel WA до 3 %.

На рисунку 3 продемонстрована близька до лінійної залежність коефіцієнта спучення К (табл. 1) від в'язкості композицій ІС1-ІС9 ( $\eta_0$ , Па с, табл. 2).



**Рисунок 3** – Залежність коефіцієнта спучення (К, см³/г) від в'язкості (Па·с) інтумесцентних композицій ІС1-ІС9

Одним із пояснень зниження показника спучення ІС при застосуванні органомодифікованих наноглин є зростання вкладу бар'єрного ефекту наноглин за рахунок високого ступеню ексfolіації нанодомішки в гідрофобних системах. Структурування шарів диспергованих силікатів у покритті створює перешкоди для відводу продуктів розпаду інтумесцентної системи й призводить до зниження коефіцієнта спучення. В роботі [6] також отримано висновок, що вогнезахисна ефективність ІС залежить, з

одного боку, від здатності наноглин до ексфоціації, а, з другого від кількості нанодомішки.

З даних таблиці 2 можливо розрахувати брутто тиксотропні ефекти (табл. 3), які спостерігаються при загущенні полімерної інтумесцентної системи APP/MA/PE/TiO<sub>2</sub>/SA1+SA2 різними типами наноглин. За позитивний внесок домішок наноглин при зберіганні фарби (тиксотропний ефект T<sub>1</sub>) приймається відношення в'язкості ІС у стані спокою ( $\eta_0$ , Па с) у присутності наноглин до аналогічного значення системи без наноглини (IC2). Тиксотропний ефект наноглин при нанесенні (T<sub>2</sub>) оцінюється, як відношення відповідних значень зсувної напруги ( $\tau_0$ , Па) тих же систем.

**Таблиця 3** – Вплив наноглин на тиксотропні ефекти інтумесцентних композицій

| Композиція | T <sub>1</sub> | T <sub>2</sub> |
|------------|----------------|----------------|
| IC1        | 0,3            | 0,7            |
| IC2        | 1,0            | 1,0            |
| IC3        | 7,1            | 11,7           |
| IC4        | 7,3            | 10             |
| IC5        | 5,1            | 8,2            |
| IC6        | 4,3            | 6,6            |
| IC7        | 0,8            | 0,9            |
| IC8        | 1,1            | 1,4            |
| IC9        | 0,8            | 1,1            |

Слід відмітити, що додавання в IC1, яка містить ньютонівський співполімер SA1 (Pliolite AC80), неньютонівського стиролакрилату SA2 (Pliolite AC4) значно підвищує в'язкість системи  $\eta_0$ , але практично не впливає на значення зсувної напруги  $\tau_0$ . Практично не змінюється тиксотропність інтумесцентних систем й у присутності гідрофільних наноглин (пор. значення T<sub>1</sub> й T<sub>2</sub> для IC2 та IC7-IC9). Ці факти свідчать про недоцільність модифікації інтумесцентних фарб не модифікованими глинами для удосконалення експлуатаційних властивостей при зберіганні та нанесенні матеріалу.

Товщина максимального шару мокрого покриття, яку можливо нанести за один прохід, залежить від здатності фарби до провисання, що відбувається внаслідок дії сил тяжіння на покриття. Гравітаційна напруга

зростає із збільшенням щільності ( $\rho$ , г/см<sup>3</sup>), товщини шару покриття ( $d$ , мм) та кута нахилу обробленої конструкції ( $\beta$ , град). Максимальна швидкість зсуву, що відбувається на межі розділу підкладки та покриття залежить від в'язкості згідно з рівнянням:

$$\gamma_{\max} = \rho g d (\sin\beta)/\eta \quad (2)$$

Для вертикально розташованих площин ( $\sin\beta=1$ ), де виникає найбільша напруга зсуву, товщина мокрого шару фарби оцінюється за формулою (3) із залученням значення  $\tau_0$ :

$$d = \tau_0/\rho g \quad (3)$$

Значення товщини шару мокрого покриття, яку максимального можливо нанести за один прохід ( $d$ , мм), представлені у таблиці 2. Очікувано, товщина шару ІС, які містять органомодифіковані глини (ІС3-ІС6) в 5-10 разів перевищує товщину шару, як композицій без наноглини (ІС1, ІС2), так і композицій, що містять гідрофільні глини (ІС7-ІС9). Якщо прийняти до уваги рекомендації виробників засобів пасивного вогнезахисту щодо максимальної товщини мокрого шару вогнезахисного покриття, то слід констатувати, що додавання органоглин до ІС дає змогу підвищити це значення мінімум у два рази.

#### **4 Висновки**

Для інтумесцентних органорозчинних систем на основі співполімерів стиролакрилату ефективними тиксотропними домішками є виключно органомодифіковані шаруваті алюмосилікати бентонітового ряду (монтморилоніт, сепіоліт, тощо). Присутність наноглин такого типу дозволяє значно удосконалити стійкість до розшарування фарби при зберіганні, та мінімум у два рази підвищити товщину максимального шару мокрого покриття, яку можливо нанести за один прохід.

Домішки синтетичних силікатів та гідрофільних бентонітових наноглин у кількості до 1% практично не впливають на реологічні властивості органорозчинних інтумесцентних композицій. Збільшення

вмісту наноглин в інтумесцентній системі призводить до падіння її вогнезахисної ефективності.

### Література

1. Passive Fire Protection Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Intumescent Coatings, Cementitious Materials), By Application (Construction, Warehousing), And Segment Forecasts, 2020 – 2027. Market Analiz Report. **2020**.
2. Lucherini, A., Maluk, C. Intumescent coatings used for the fire-safe design of steel structures: A review. *Journal of Constructional Steel Research*. **2019**, 162, 105712.
3. Mohd Sabee, M.M.S., Itam, Z., Beddu, S., Zahari, N.M., Mohd Kamal, N.L., Mohamad, D., Zulkepli, N.A., Shafiq, M.D., Abdul Hamid, Z.A. Flame Retardant Coatings. *Additives, Binders, and Fillers. Polymers*. **2022**, 14, 2911.
4. Yasir, M., Ahmad, F., Yusoff, P.S.M.M, Ullah, S., Jimenez, M. Latest trends for structural steel protection by using intumescent fire protective coatings: a review. *Surface Engineering*. **2019**, 1636536, 1-30.
5. Калафат, К.В., Вахитова, Л.Н. Аналитический обзор средств огнезащиты стальных конструкций 2021 – 2022. К.: ТОВ “Издательский Дом «Аванпост-Прим»». **2021**.
6. Vakhitova, L., Kalafat, K., Plavan, V., Bessarabov, V., Taran N., Zagoriy, G. Comparing the effect of nanoclays on the water-resistance of intumescent fire-retardant coatings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. **2021**, 3/6, 59-70.
7. Hejna, A. Clays as Inhibitors of Polyurethane Foams’ Flammability. *Materials*. **2021**, 14(17), 4826.
8. Vakhitova, L.N. Fire retardant nanocoating for wood protection. *Nanotechnology in Eco-efficient Construction*. **2019**, 361–383.
9. Abraham, J., Sharika T., George, S. C, Thomas, S. Rheological Percolation in Thermoplastic Polymer Nanocomposites. *Rheol: open access*. **2017**, 1, 102.
10. Vakhitova, L., Drizhd, V., Taran, N., Kalafat, K., Bessarabov, V. The effect of organoclays on the fire-proof efficiency of intumescent coatings. *Eastern-European Journal of Enterprise technologies*. **2016**. 6/10, 10-16.

## **РОЗРОБКА КОМПОЗИЦІЙ ПОЛІЕТИЛЕН/ПОЛІАНІЛІН ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ЕКСТРУЗІЇ**

**ДС НОВАК, ВВ КОЗЛОВ, МВ МУСІЄНКО**

*Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала Шияновська, 2,  
Київ, 01011, [novak.knutd@gmail.com](mailto:novak.knutd@gmail.com)*

Досліджено механічні, реологічні та електрофізичні особливості поліетиленових композицій, наповнених поліаніліном. Збільшення об'ємного вмісту поліаніліну в поліетиленовій матриці призводить до монотонного зниження міцності на розрив, відносного подовження при розриві та показника текучості розплаву та питомого об'ємного опору.

### **Вступ**

Струмопровідні полімери привернули велику увагу завдяки численним потенційним застосуванням [1]. Прямим застосуванням цих матеріалів є виготовлення струмопровідних пластмас з хорошою електропровідністю та механічними властивостями. Це непросте завдання, оскільки механічні властивості струмопровідних полімерів погані.

Вирішенням цієї проблеми є приготування струмопровідних полімерних сумішей з низьким порогом перколяції з використанням промислових полімерів. Змішування струмопровідних полімерів є складним процесом, оскільки в переважній більшості вони нерозчинні та неплавкі, але є успішні спроби [2-4].

Загалом обробка розчинів полімерів незручна і малотехнологічна задача, тому значні зусилля були спрямовані на термічну обробку струмопровідних полімерних сумішей [5, 6].

Щоб зробити поліанілін струмопровідним, сульфонові кислоти повинні використовуватися як протонуючі агенти. Існує, однак, інше сімейство протонуючих агентів, що індукують технологічність, діефіри фосфорної кислоти. Для обробки поліаніліну можна використовувати як аліфатичні, так і ароматичні діефіри [7-9].

У цьому дослідженні ми проводили термічну обробку сумішей на основі поліаніліну, але відомо, що фосфорна кислота термічно розкладається приблизно при 130-150 °С [10]. Щоб уникнути цього

розкладання, ми вибрали поліетилен низької щільності (LDPE) як матричну, оскільки температура його обробки не перевищує 150 °С.

Мета роботи – отримати струмопровідні поліетиленові (ПЕ) композиції з поліаніліном (ПАНІ) та вивчити вплив вмісту наповнювача на механічні, реологічні та електричні властивості.

### Матеріали та методи

Об'єктами дослідження є композитні плівки на основі ПЕ 16803-070 з ПАНІ від 5 до 30% об. Вибрані композиції наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Рецептурний склад ПЕ композицій

| Компоненти | Вміст компонентів у композиції, % об. |    |    |    |    |    |
|------------|---------------------------------------|----|----|----|----|----|
|            | 1                                     | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |
| РЕ         | 95                                    | 90 | 85 | 80 | 75 | 70 |
| ПАНІ       | 5                                     | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |

Композиції змішували за допомогою лабораторного екструдера при температурі ~ 150 °С. Використання екструзійного обладнання забезпечило рівномірний розподіл компонентів композиції [11].

Дослідження міцності на розрив і відносного подовження проводили стандартними методами на розривній машині РТ-250. Вплив ПАНІ на реологічні властивості композицій вивчали методом капілярної віскозиметрії.

Для визначення питомого об'ємного електричного опору композицій використовували лабораторну установку (рис. 1). Рисунок складається з вимірювача RLC E7-22 (1), який має функцію передачі вимірюваного параметра в комп'ютер, електродного пристрою (2), який складається з рами та електродів, між якими розміщений дослідний зразок.

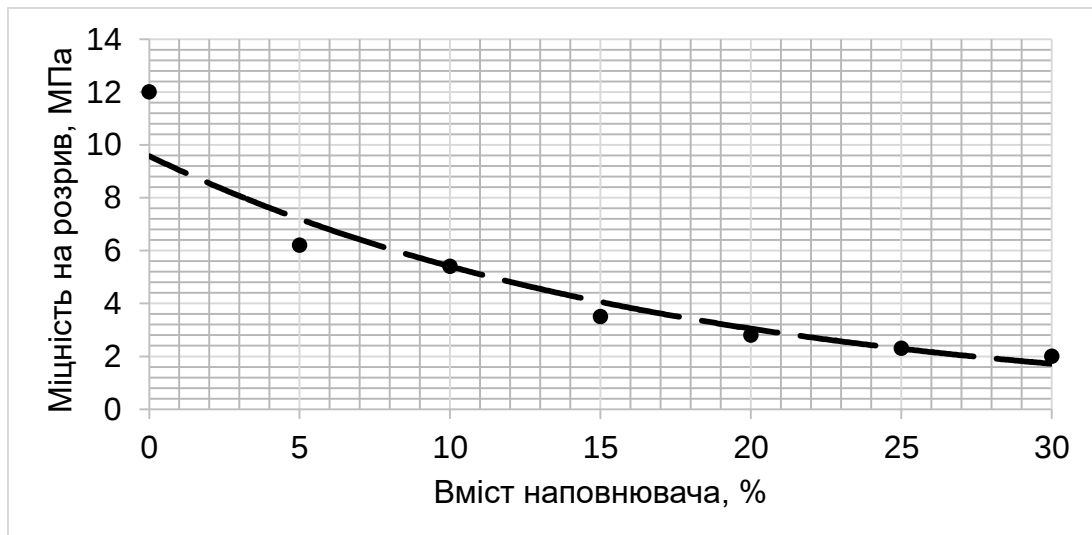


**Рисунок 1** – Схема визначення питомого об'ємного електричного опору для зразка композиції: 1 – RLC-метр E7-22; 2 – електродний пристрій

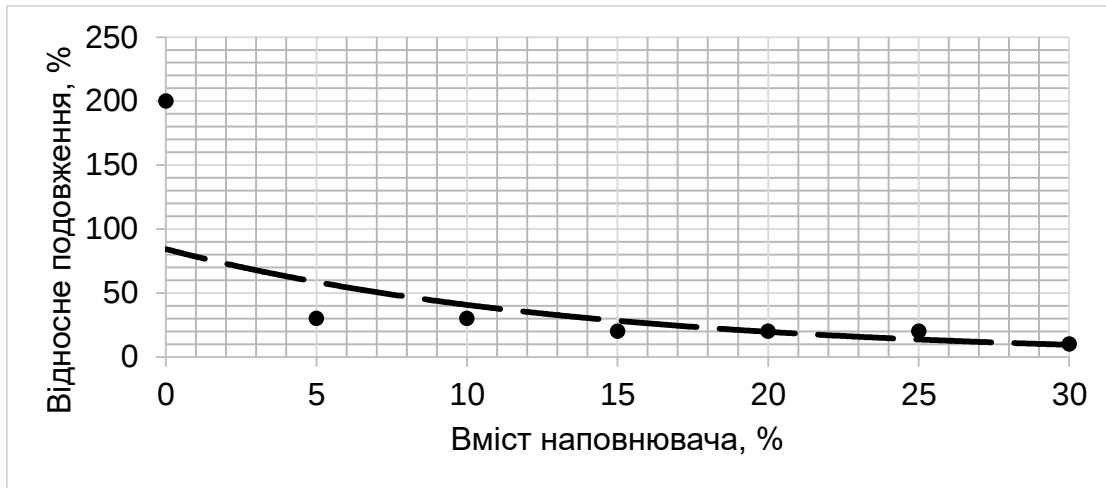
### Результати і обговорення

Вплив дисперсного наповнювача на міцність наповнених композицій залежить від характеру розподілу частинок, їх розмірів і взаємодії на межі розділу фаз. Полімерна матриця деформується з руйнуванням адгезійних зв'язків з наповнювачем, а міцність і відносне подовження при розриві полімерів, наповнених дисперсними частинками, при розтягуванні зменшуються [12].

Залежності міцності на розрив і відносного подовження при розриві для ПЕ композицій, наповнених ПАНІ, наведені на рисунках 2 і 3.



**Рисунок 2** – Залежність міцності на розрив для ПЕ композицій, наповнених ПАНІ

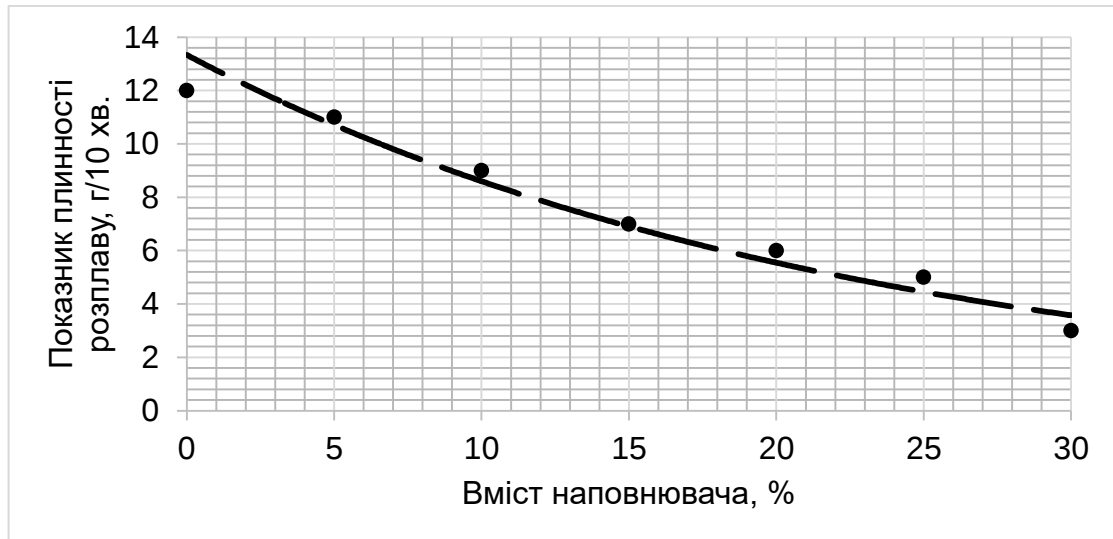


**Рисунок 3** – Залежність відносного подовження для композицій ПЕ з наповненням ПАНІ

З наведених залежностей міцності на розрив і відносного видовження від вмісту наповнювача видно, що механічні властивості наповнених ПЕ композицій монотонно знижуються зі збільшенням вмісту ПАНІ, що характерно для наповнених систем.

Встановлено, що вміст наповнювача в досліджуваних композиціях не повинен перевищувати 30% об. При більшому вмісті наповнювача механічні властивості полімерної композиції різко погіршуються - утворюється крихкий матеріал, непридатний для використання.

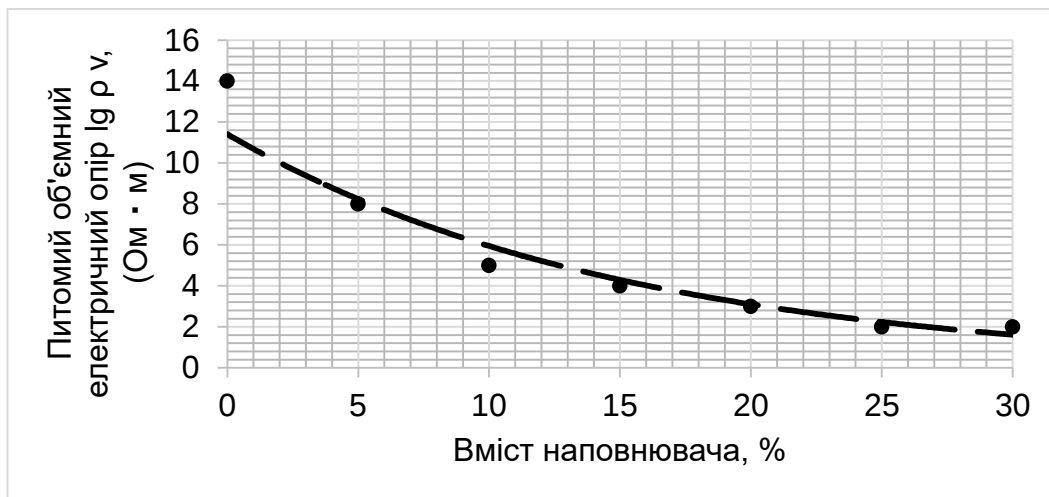
Реологічні характеристики наповнених полімерів залежать від природи наповнювача, його концентрації та характеру взаємодії з полімером. Дослідження цих залежностей дозволяє підібрати наповнювач, встановити його раціональну концентрацію, а також визначити енергетичне навантаження на технологічне обладнання та умови переробки, за яких можна отримати високоякісний матеріал. Вплив наповнювача на в'язкість композиції можна оцінити за залежністю індексу плинності розплаву (ІПР) від вмісту наповнювача (рис. 4).



**Рисунок 4** – Залежність індексу плинності розплаву для ПЕ композицій, наповнених ПАНІ

З рисунку видно, що ІПР при збільшенні вмісту ПАНІ до 30% об. для композицій ПЕ істотно знижується - від 13 до 3 г / 10 хв. Зниження ІПР свідчить про збільшення в'язкості системи. Зміна реологічних характеристик наповнених систем пояснюється гідродинамічними ефектами та механічними зусиллями матриці. Гідродинамічні ефекти пов'язані з умовами обтікання частинок наповнювача впливають на характер течії дисперсійного середовища. Зміна властивостей полімерних композицій відбувається в результаті адсорбційної взаємодії частинок наповнювача з полімером і обмеження молекулярної рухливості ланцюгів в адсорбційному шарі.

Досліджено електричні властивості ПЕ композицій, наповнених ПАНІ, а саме визначено залежність питомого об'ємного опору цих композицій від вмісту наповнювача, показано на рисунку 5.



**Рисунок 5** – Залежність питомого об'ємного опору для ПЕ композицій, наповнених ПАНІ

Збільшення вмісту ПАНІ в ПЕ в діапазоні від 0 до 30% об. призводить до монотонного зменшення питомого об'ємного електричного опору і підкоряється експоненціальній залежності та знаходяться в межах  $10^2 - 10^8$  Ом·м. Це можна пояснити тим, зі збільшенням концентрації наповнювача розміри ізоляційних шари полімерного діелектрика зменшуються, що призводить до зменшення питомого електроопору. Таким чином, отримані композиції можуть бути використані як антистатичні та напівпровідникові матеріали [13, 14].

### Висновки

Встановлено, що збільшення вмісту ПАНІ до 30 % об. призводить до монотонного зниження міцності на розрив і подовження при розриві досліджуваних композицій. Швидкість течії розплаву в залежності від вмісту ПАНІ в діапазоні 0 – 30% об. змінюється від 13 до 3 г / 10 хв.

Встановлено, що для ПЕ композицій з ПАНІ питомий електрооб'ємний опір зменшується від  $10^{14}$  до  $10^2$  Ом·м, тому отримані композиції можуть бути використані як антистатичні та напівпровідникові матеріали.

### Література

1. H.S. Nalwa (Ed.), Handbook of Conducting Molecules and Polymers, Wiley, New York, 1997.

2. Y. Cao, G.M. Treacy, P. Smith, A.J. Heeger, Appl. Phys. Lett. 60 (1992) 2711.
3. Y. Cao, A.J. Heeger, Synth. Met. 53 (1993) 293.
4. A. Profi, Y. Nicolau, F. Genoud, M. Nechtschein, J. Appl. Polym. Sci. 63 (1997) 971.
5. O.T. Ikkala, L.O. Pietila, P. Passiniemi, Y. Cao, A. Andreatta, Eur. Patent Applic., 0 643 397 At (1995).
6. O.T. Ikkala, L.O. Pietila, L. Ahjopalo, J.-E. Osterholm, P.J. Passiniemi, J. Chem. Phys. 103 (1995) 9855.
7. A. Profi, J.-E. Osterholm, P. Smith, A.J. Heeger, J. Laska, M. Zagorska, Synth. Met. 55-57 (1993) 3520.
8. A. Profi, J. Laska, J.-E. Osterholm, P. Smith, Polymer 34 (1993) 4235.
9. A. Profi, W. Luzny, J. Laska, Synth. Met. 80 (1996) 191.
10. J. Laska, Ph.D. Thesis, Technical University of Warsaw, 1994.
11. D. Novak, V. Plavan, N. Bereznenko. Copper plated graphite, carbon nanotubes and polyaniline effect on the properties of electroconductive polyethylene compositions, Materials Today: Proceedings, Volume 6, Part 2, 2019, pp. 293-298
12. Tauban M. Impact of Filler Morphology and Distribution on the Mechanical Properties of Filled Elastomers : theory and simulations // Materials Science [cond-mat.mtrl-sci]. Université de Lyon. – 2016. – P. 210.
13. Budash Y., Novak D., Plavan V. Structural and Morphological Characteristics of Polyethylene Composites with Different Conductive Fillers// Materiale Plastice. – 53. – no. 4. – 2016. – P. 693.
14. Askeland D. R., Fulay, P. P., Wright, W. J.: The Science and Engineering of Materials // SI Edition, Cengage Learning. – 2011. – P. 896.

## РОЗРОБКА ГНУЧКИХ ПОЛІВІНІЛХЛОРИД/ПОЛІАНІЛІН КОМПОЗИТІВ

ДС НОВАК, ДО ШАКУН, АВ БИШОВЕЦЬ, ДМ КИРИЛЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала Шияновська, 2,  
Київ, 01011, [novak.knutd@gmail.com](mailto:novak.knutd@gmail.com)

Досліджено механіко-фізичні особливості полівінілхлоридних композицій, наповнених поліаніліном. При збільшенні об'ємного вмісту поліаніліну в полівінілхлоридній матриці відбувається монотонне зниження міцності на розрив, видовження при розриві, показника плинності розплаву та питомого об'ємного опору.

### Вступ

Одержання струмопровідних полімерів звичайними методами обмежена їх природою у легованій формі. Одним із методів, який використовувався для подолання цього, є використання струмопровідних термопластичних полімерних композитів. Для їх виробництва використовувався ряд методів, включаючи механічне змішування та дифузію, які не можуть бути використані для широкомасштабного виробництва.

Струмопровідні полімери, такі як поліанілін (ПАНІ) і алкілозаміщені політіофени, є потенційним шляхом до високопровідних композитів. Це пов'язано з тим, що їх можна отримувати за різними технологіями. Потенціал ПАНІ в цьому контексті ще більше посилений феноменом, який називається «вторинним легуванням». Це призвело до розробки деяких цікавих морфологій композитів, які мають високу струмопровідність при низькому вмісті ПАНІ. Ці композити отримані механічним змішуванням струмопровідних матеріалів в полімерній матриці [1-4].

Пресування термопластичних частинок, покритих струмопровідним полімером, може дати композит, який зберігає властивості термопластичного матеріалу, водночас володіючи струмопровідністю. ПАНІ являв собою ідеальний матеріал, що володіє високою власною струмопровідністю, стабільністю і оброблюваністю розчину. Полівінілхлорид (ПВХ) був обраний як термопласт, враховуючи його

відносно високу в'язкість вище температури склування. Ця властивість дозволяє зберегти структуру ПАНІ всередині композиту під час гарячого пресування. Використання ПВХ дозволило нам дослідити вплив пластифікаторів на провідність і морфологію композиту. Частинки ПВХ були пластифіковані за допомогою діоктилфталату (ДОФ) [5-7].

Метою роботи є отримання струмопровідних ПВХ композицій з ПАНІ та дослідження впливу вмісту наповнювача на механічні та фізичні властивості.

### Матеріали та методи

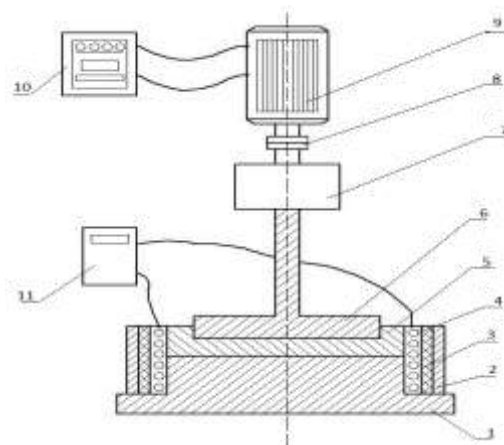
Об'єктами дослідження є композитні плівки на основі ПВХ марки С-63 з наповнювачем ПАНІ від 5 до 30% об. Вибрані композиції наведені в таблиці 1.

**Таблиця 1–** Рецептурний склад ПВХ композицій

| Компоненти             | Вміст компонентів у композиції, % об. |    |    |    |    |    |
|------------------------|---------------------------------------|----|----|----|----|----|
|                        | 1                                     | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |
| <b>ПВХ</b>             | 30                                    | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| <b>Діоктилфталат</b>   | 60                                    | 55 | 50 | 45 | 40 | 35 |
| <b>Стеарат кальцію</b> | 2                                     | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |
| <b>Карбонат свинцю</b> | 3                                     | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  |
| <b>ПАНІ</b>            | 5                                     | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |

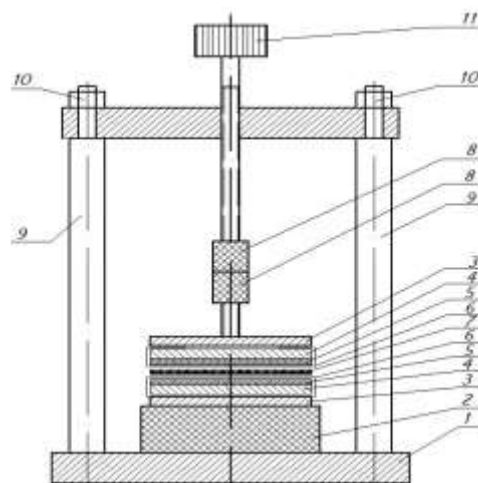
Для більш рівномірного розподілу наповнювача в ПВХ матриці використовували лабораторний дисковий змішувач (рис. 1). Після змішування композиційну суміш поміщали в розігріту прес-форму та в термокамеру для нагрівання і переходу у високопластичний стан, в якому можна проводити пресування [8].

Дослідження механічних властивостей проводили стандартними методами на розривній машині РТ-250, а реологічні властивості визначали методом капілярної віскозиметрії.



**Рисунок 1** – Змішувач дисковий лабораторний: 1 – п'ята; 2 – корпус; 3 – теплоізоляція; 4 – омичний нагрівач; 5 – завантажувальна камера; 6 – змішувальний диск; 7 – редуктор; 8 – муфта; 9 – електродвигун; 10 – пристрій регулювання обертів двигуна; 11 – терморегулятор

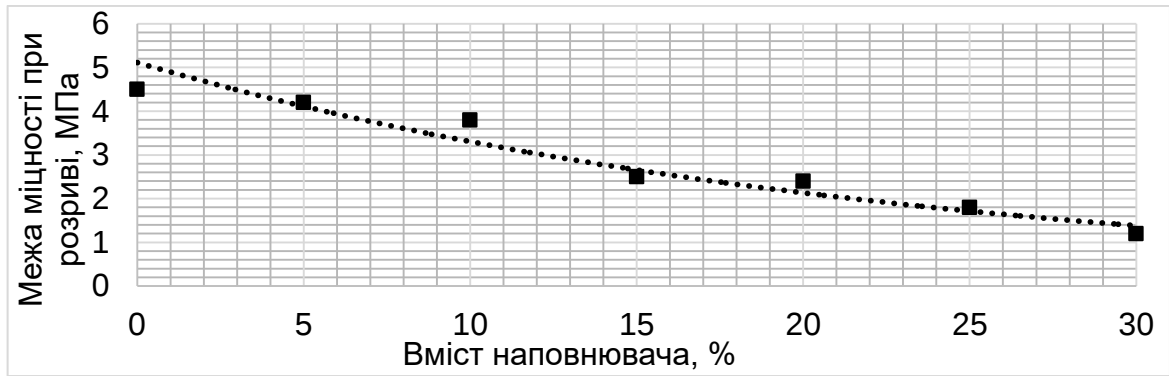
Для визначення питомого об'ємного електричного опору композицій використовували RLC-метр марки Е7-22 та електродний пристрій, який зображений на рисунку 2.



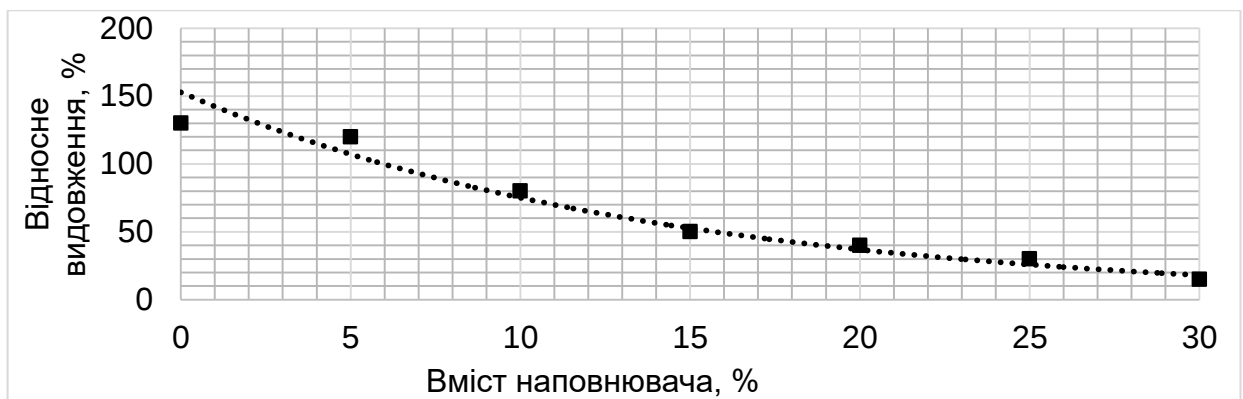
**Рисунок 2** – Схема електродного пристрою для вимірювання електричного опору: 1 – основа електродного пристрою; 2 – фторопластова ізоляційна вставка; 3 – латунні шайби; 4 – латунні хомути; 5 – гумові прокладки; 6 – алюмінієва фольга; 7 – зразок полімеру; 8 – ізоляційні коркові вкладиші; 9 – стійки; 10 – гвинти; 11 – підставка з гвинтом

## Результати і обговорення

Залежності межі міцності при розриві та відносного подовження для ПВХ композицій з ПАНІ, наведені на рисунках 3 і 4.



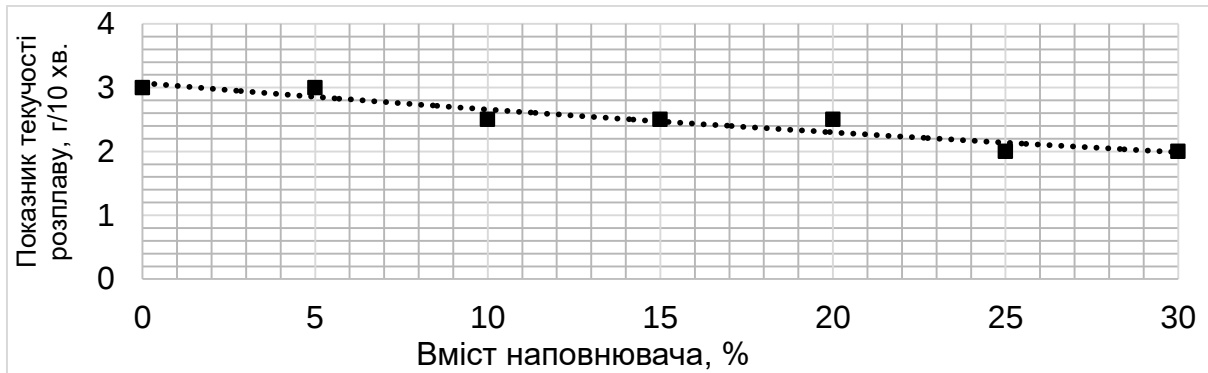
**Рисунок 3** – Залежність межі міцності при розриві для ПВХ композицій, наповнених ПАНІ



**Рисунок 4** – Залежність відносного видовження для ПВХ композицій, наповнених ПАНІ

З наведених залежностей межі міцності при розриві і відносного видовження від вмісту наповнювача випливає, що механічні властивості наповнених ПВХ композицій монотонно зменшуються з підвищенням вмісту ПАНІ, що характерно для наповнених систем.

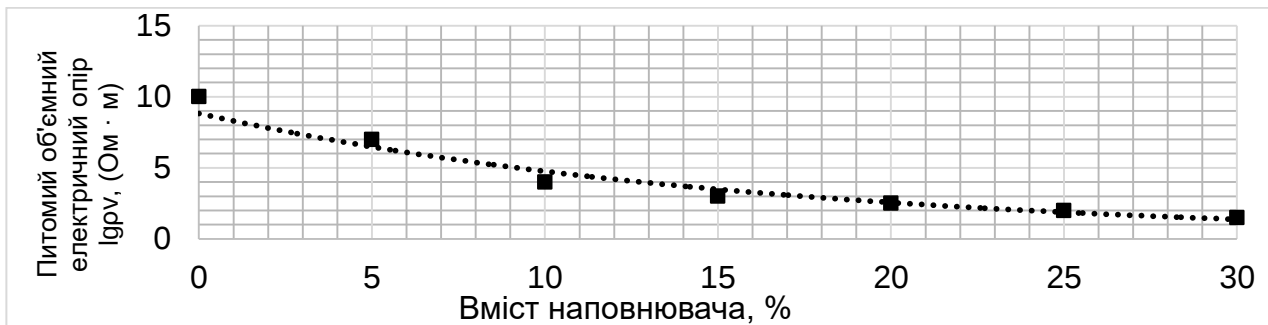
Дослідження реологічних характеристик дозволяє встановити раціональну концентрацію наповнювача та визначити навантаження на обладнання для отримання якісних виробів. Вплив наповнювача на в'язкість композиції можна оцінити по залежності показника текучості розплаву (ПТР) від вмісту наповнювача (рис. 5).



**Рисунок 5** – Залежність показника текучості розплаву для ПВХ композицій, наповнених ПАНІ

З рисунку 5 випливає, що ПТР з підвищенням вмісту ПАНІ до 30% об. для ПВХ композицій зменшується незначно від 3 до 2 г / 10 хв. Зменшення ПТР свідчить про зростання в'язкості композиції. Зміна реологічних характеристик наповнених систем пояснюється гідродинамічними ефектами і механічними зусиллями матриці. Зміна властивостей полімерних композицій відбувається в результаті адсорбційної взаємодії частинок наповнювача з полімером та зменшення молекулярної рухливості ланцюгів в адсорбційному шарі.

Залежність питомого об'ємного електричного опору ПВХ композицій, наповнених ПАНІ наведена на рисунку 6.



**Рисунок 6** – Залежність питомого об'ємного опору для ПВХ композицій, наповнених ПАНІ

З рисунку 6 випливає, що для ПВХ композицій з ПАНІ зі збільшенням вмісту наповнювача в інтервалі від 0 до 30% об. їх питомий об'ємний електричний опір зменшується по експоненційній залежності. При збільшенні концентрації наповнювача зменшуються розміри ізолюючих прошарків полімерної матриці, що призводить до зменшення питомої електричного опору [9].

З огляду на отримані значення питомого об'ємного електричного опору досліджуваних полімерних композицій, впливає, що вони можуть бути використані в якості антистатичних і напівпровідникових матеріалів ( $10^2 - 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ) [10].

### **Висновки**

Встановлено, що збільшення вмісту ПАНІ до 30% об. призводить до монотонного зниження механічних властивостей досліджуваних композицій. Показник текучості розплаву в залежності від вмісту ПАНІ 0 - 30% об. змінюється в діапазоні від 3 до 2 г / 10 хв.

Визначено, що для ПВХ композицій з ПАНІ питомий об'ємний електричний опір зменшується від  $10^{10}$  до  $10^1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ , тому отримані композиції можуть використовуватися в якості антистатичних і напівпровідникових матеріалів.

### **Література**

1. L. W. Shacklette, C. C. An, M. H. Luly, Synth. Met. 1993, 55-57, 3532
2. C. K. SUbrdmdniam, A. B. Kaiser, P. W. Gilberd, B. Wessling, J. Pogr. Sci. B: Polym. Phys. 1993, 31, 1425
3. Y. Chen, R. Qian, Y. Li, Polym. Commun. 1991, 32, 189.
4. R. A. Zoppi, M.-A. De Paoli, J. Electroanal. Chem. 1990, 290, 275.
5. E. Ruckenstein, S. Yang, Synth. Met. 1993, 53, 283.
6. A. G. MacDiarmid, Epstein, Synth. Met. 1994, 65, 103.
7. M. Reghu, C. O. Yoon, C. Y Yang, D. Moses, P. Smith, A. J. Heeger, Phys. Rev. B 1994, 50. 13931
8. D. Novak, V. Plavan, N. Berezenko. Copper plated graphite, carbon nanotubes and polyaniline effect on the properties of electroconductive polyethylene compositions, Materials Today: Proceedings, Volume 6, Part 2, 2019, pp. 293-298 <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.10.107>
9. Budash Y., Novak D., Plavan V. Structural and Morphological Characteristics of Polyethylene Composites with Different Conductive Fillers // Materiale Plastice. – 53. – no. 4. – 2016. – P. 693.
10. Askeland D. R., Fulay, P. P., Wright, W. J.: The Science and Engineering of Materials // SI Edition, Cengage Learning. – 2011. – P. 896.

## **ВПЛИВ ПОЛІМЕРНОЇ ОСНОВИ НА ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ**

**ОО СЛЄПЦОВ, РФ СВІСТІЛЬНИК, ТР ФЕДОРІВ**

*Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала Шияновська, 2,  
Київ, 01011, slyepcov.oo@knutd.edu.ua,  
romchigo@gmail.com, tfedoriv04@gmail.com*

Дослідження присвячено визначенню впливу виду полімерної матриці на електричні властивості композитного покриття.

*Ключові слова:* питомий електричний опір, композиційне покриття, полімерна матриця, електропровідний наповнювач.

Полімерні покриття знайшли широке застосування у технічні та побуті. Комплекс корисних властивостей полімерних покриттів включає високу технологічність, стійкість до різних чинників впливів, корисні механічні характеристики та інше. Полімерні покриття можуть містити у своєму складі неорганічні складові або наповнювачі, що використовуються з різною функціональною метою. Такі покриття відносяться до композитних матеріалів та можуть мати на меті різні аспекти модифікації властивостей. Типовим є застосування у композитних матеріалах наповнювачів, пігментів, армуючих матеріалів, а також електропровідних наповнювачів. Композитні матеріали з електропровідними наповнювачами є важливими матеріалами для сучасної техніки. Вони застосовуються у вигляді полімерних композитних матеріалів для термопластичної переробки у гранульованому вигляді для формування виробів, а також у рідкому вигляді як розчини для створення покриттів.

В залежності від значення питомого електричного опору, електропровідні полімерні композити можуть мати певне функціональне призначення як електропровідні матеріали ( $10^{-3}$ - $10^{-0}$ ), дисипативні матеріали ( $10^{-3}$ - $10^{-6}$ ), антистатичні матеріали ( $10^{-7}$ - $10^{-9}$ ).

Електрична провідність полімерних композитів може бути пояснена проявом різних фізичних процесів. Найбільшого поширення набула теорія перколяції [1] котра пояснює електричну провідність композитів за

рахунок утворення провідних ланцюгів, що створюються при статистичному поєднанні часток наповнювача у діелектричній матриці. Наступним можливим механізмом є передача заряду через іонний механізм [2]. На відміну від традиційних композитів, котрі мають тримірний характер розподілу перколяції у об'ємі матеріалу композитні покриття мають низьку товщину та переважно двомірну структуру перколяційних ланцюжків. Товщина композитного покриття може містити обмежену кількість часток наповнювача або його агрегатів. Особливістю полімерних композитних покриттів є відсутність високих вимог до механічних властивостей покриття, та наявність вимог щодо адгезивної міцності до субстрату на який воно нанесено. Завдяки цьому композитні покриття можуть містити високий вміст наповнювачів при збереженні адгезивної міцності до субстрату котра забезпечує функціональне застосування.

На електричні властивості композитних покриттів впливають кілька факторів, і вибір полімерних матриць є одним з ключових визначальних факторів. Електричні властивості композитних покриттів, які можуть включати такі характеристики, як провідність, діелектрична міцність та ізоляція, залежать від типу використовуваного полімеру та його складу в композиті.

Деякі полімери, такі як поліанілін, поліпірол і політіофен, мають власну електропровідність і можуть покращувати електропровідність композитних покриттів. Коли ці полімери використовуються як матриці, вони надають провідності композиту.

Кількість і тип струмопровідних наповнювачів (наприклад, вуглецевих нанотрубок, графену або металевих частинок), доданих до полімерної матриці, впливають на провідність композиту. Вищий вміст наповнювача, як правило, призводить до більшої провідності [3-4].

Діелектричну проникність композиту, яка вказує на його здатність зберігати електричну енергію, можна регулювати, підбираючи відповідну

полімерну матрицю і наповнювач. Певні полімери мають високу діелектричну проникність, в той час як інші є більш ізолюючими. Діелектричні властивості композитних покриттів можна регулювати, змінюючи концентрацію і тип наповнювачів. Наповнювачі з високою проникністю, такі як титанат барію, можуть бути використані для підвищення діелектричної проникності.

Багато полімерів мають високий електричний опір і діють як хороші ізолятори. При використанні в якості матричного матеріалу вони забезпечують ізоляційні властивості композитного покриття. У деяких випадках, наприклад, для електричної ізоляції в системах розподілу електроенергії, полімерна матриця повинна зберігати або покращувати свої ізоляційні властивості навіть після додавання наповнювачів. У таких випадках ретельний вибір полімерної матриці має вирішальне значення. Хімічна сумісність між полімерною матрицею і наповнювачами має вирішальне значення для підтримки стабільних електричних властивостей. Деякі наповнювачі можуть вступати в реакцію з певними полімерами, впливаючи на електричні характеристики композиту.

Здатність полімерної матриці ефективно зв'язуватися з наповнювачами і рівномірно розподіляти їх у композиті впливає на електричні властивості. Погана дисперсність може створювати ізоляційні проміжки і знижувати провідність. Термічна стабільність полімерної матриці має важливе значення для довгострокових електричних характеристик, особливо в тих випадках, коли покриття може піддаватися впливу високих температур. Деградація полімеру може змінити електричні властивості композиту.

Вибір полімерної матриці може впливати на методи обробки, що використовуються для створення композитного покриття. Різні полімери можуть вимагати специфічних методів виробництва, таких як екструзія, лиття під тиском або 3D-друк, що, в свою чергу, може вплинути на кінцеві електричні властивості.

## **Висновки**

Таким чином, вибір полімерних матриць для композитних покриттів є критично важливим аспектом для налаштування їх електричних властивостей. Інженери та матеріалознавці повинні ретельно враховувати такі фактори, як провідність, діелектричні властивості, ізоляція, хімічна сумісність та методи обробки, щоб досягти бажаних електричних характеристик у кінцевому композиті.

## **Література**

1. Zhang, W., Dehghani-Sani, A. A., & Blackburn, R. S. (2007). Carbon based conductive polymer composites. *Journal of materials science*, 42, 3408-3418.
2. Motlatle, A. M., Mofokeng, T. G., Scriba, M. R., Ojijo, V., & Ray, S. S. (2021). The effect of electrically conducting carbon materials on the conductivity and morphology of poly (vinyl butyral) and chitosan blend composite for application in anti-corrosive coatings. *Synthetic Metals*, 281, 116914.
3. Mai, V. D., Nguyen, D. C. T., Vu, V. P., & Lee, S. H. (2022). Fast healing conductive polymer composite based on carbon black and polyurethane containing disulfide bonds. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 28(1), 115-124.
4. Mattar, H., Baz, Z., Saleh, A., Shalaby, A. S., Azzazy, A. E., Salah, H., & Ismail, I. (2020). Nitrocellulose: Structure, synthesis, characterization, and applications. *Water Energy Food Environ. J*, 3, 1-15.

## **ПОЛІМЕРНІ КОМПОЗИТИ З РЕГУЛЬОВАНИМ ВОЛОГОПОГЛИНАННЯМ**

**НВ СОВА, ЛВ РОЗВОРА**

*Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала Шияновська, 2,  
Київ, 01011, djanc@ukr.net, lew.9.bv@gmail.com*

Робота присвячена аналізу стану питання створення полімерних композиційних матеріалів, здатних до контрольованого вологопоглинання.

*Ключові слова:* полімерні композиційні матеріали, наповнювач, поліетилен, карбонат кальцію, оксид кальцію.

В сучасній промисловості полімерні композиційні матеріали (ПКМ) мають різні функції. В технології пакування важливим фактором є забезпечення потрібного рівня вологості в середині упаковки. Традиційно для регулювання рівня вологості використовується в пакуванні використовують фізичні поглиначі – цеоліти, молекулярні сита, силікагелі. Фізичні поглиначі вологи ґрунтуються на явищі сорбції та мають рівноважний та зворотній характер поглинання вологи.

Виробництво даних продуктів в Україні відсутнє і галузь пакування в атмосфері з регульованою вологістю повністю залежить від іноземних постачальників. В хімічній лабораторній практиці відомо застосування з хімічних речовин, що зв'язують вологу, зокрема хлорид кальцію, сірчана кислота, оксид кальцію, та ін. використовуючи технологію компаундування можливо створити ПКМ, що здатні хімічно зв'язувати вологу.

Найпростішим способом реалізації пакування з контрольованою вологістю є вміщення гранульованого чи порошкоподібного поглиначя вологи у внутрішній об'єм пакування.

Створено ПКМ, що містить наповнювач та реакційно-здатний компонент, що хімічно зв'язує вологу. У якості добавки, що зв'язує вологу обрано оксид кальцію – негашене вапно. Хімічна реакція взаємодії оксиду кальцію та води приводить до утворення гідроксиду кальцію та зв'язування 44 % вологи відносно маси оксиду кальцію. Відбувається

збільшення об'єму та виділення тепла. Як полімерна матриця використано лінійний поліетилен низької густини та поліетилен низької густини.

Варіювання вмісту реакційно-здатної складової у полімерній матриці ймовірно дозволить регулювати швидкість зв'язування вологи. Одночасно з активним наповнювачем можливо використовувати допоміжний наповнювач такий як карбонат кальцію. Наявність карбонату кальцію може суттєво впливати на транспорт водяної пари у полімерному композитному матеріалі, а також впливати на загалу вартість кінцевого виробу [1 - 2].

Існує багато факторів, що впливають на перебіг реакції зв'язування вологи оксидом кальцію. Важливим аспектом є паропроникність полімерної матриці. На першому етапі досліджень здійснюється виготовлення зразків плівкових матеріалів з обраної полімерної матриці та дослідження їх паропроникності їх ваговим методом. Дослідження проникності до водяних парів буде здійснено на зразках полімерних матриць, композитів полімерних матриць з карбонатом кальцію, а також на полімерних матрицях модифікованих органічними сполуками [3].

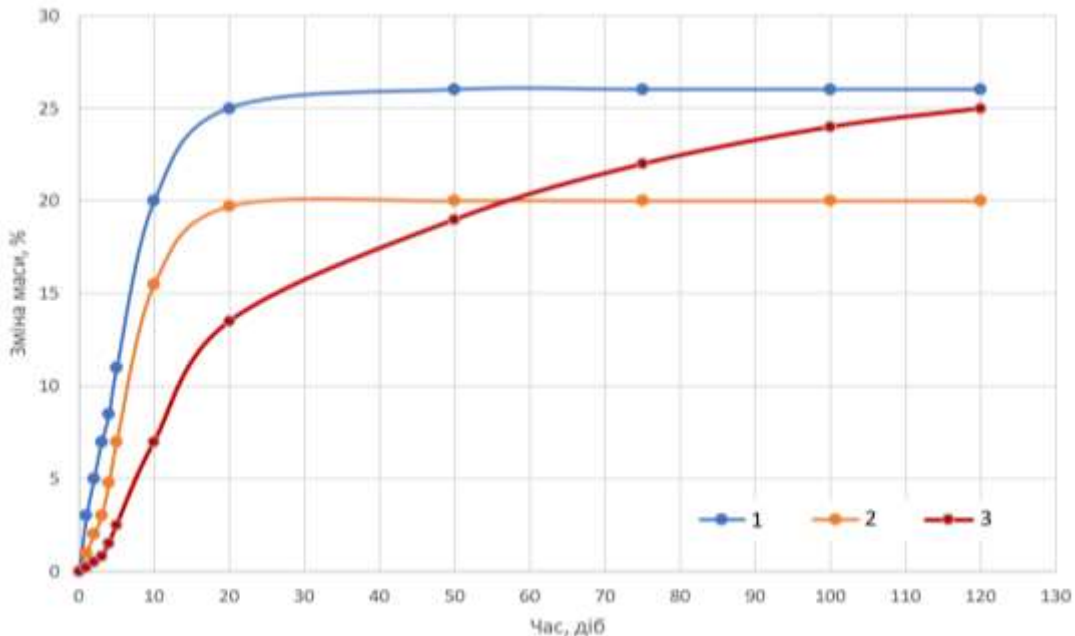
Важливим фактором що впливає на процес зв'язування вологи є фізичний стан активного наповнювача – його гранулометричні характеристики та ступінь чистоти. Промисловий оксид кальцію одержують шляхом термічного піролізу карбонату кальцію, а товарний продукт може містити домішки гідроксиду кальцію та карбонату кальцію, що не розклався.

Під час пошукових досліджень, створено композити з реакційно-здатним наповнювачем на основі лінійного поліетилену низької густини та промислового оксиду кальцію з середнім розміром часток 5 мкр.

Досліджено поглинання вологи з атмосфери з відносною вологістю 70% при температурі 20°C. Для порівняння було досліджено вихідний оксид кальцію, композит оксиду кальцію з поліетиленом низької густини.

Для порівняння використовували промисловий поглинач вологи на основі гелюваної кремнійової кислоти (сілікагель).

Досліджували зміну ваги зразків при їх перебуванні у середовищі з контрольованою вологістю. Результати досліджень наведено на рисунку 1.



**Рисунок 1** – Кінетика поглинання вологи при температурі 25°C та відносній вологості 70%: 1 – порошкоподібний оксид кальцію; 2 – сілікагель; 3 – дослідний зразок ПКМ

Для порошкоподібного оксиду кальцію спостерігається кінетика збільшення ваги характерна для силікатного поглинача. Зразок оксиду кальцію збільшив свою вагу на 26% протягом 20 діб. Це свідчить, що зразок містив домішки, які не вступають у реакцію з водою, у перерахунку на чисту речовину – 10%.

Для композиту оксиду кальцію та лінійного поліетилену низької густини спостерігається відмінна у часі кінетика збільшення ваги. Збільшення ваги відбувається значно повільніше у часі. Максимальний ступінь збільшення ваги становить 25 %.

При досягненні граничного (незмінного значення) збільшення ваги, композит з оксидом кальцію збільшується у об'ємі та набуває поруватої розгалуженої будови. Дану особливість можливо корисно використовувати

для реалізації певних функціональних властивостей, а саме як ознаку досягнення максимальної ємності та інше.

### **Висновки**

З одержаних результатів можна зробити висновок, що композити поліетилену та оксиду кальцію можуть бути використані у якості поглиначів вологи. Швидкість зв'язування вологи композитними поглиначами значно нижча за традиційні поглиначі, такі як гелі кремнієвої кислоти.

Швидкість зв'язування вологи в наслідок хімічної реакції утворення гідроксиду кальцію, можна регулювати як вмістом оксиду кальцію так і іншими факторами, такими як розмір гранул композиту та гранулометричні характеристики самого наповнювача.

### **Література**

1. Liang, X., Dai, R., Chang, S., Wei, Y., & Zhang, B. (2022). Antibacterial mechanism of biogenic calcium oxide and antibacterial activity of calcium oxide/polypropylene composites. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 650, 129446.
2. Kiran, M. D., Govindaraju, H. K., Jayaraju, T., & Kumar, N. (2018). Effect of fillers on mechanical properties of polymer matrix composites. *Materials Today: Proceedings*, 5(10), 22421-22424.
3. Seymour, Raymond Benedict. *Polymeric composites*. Vol. 4. VSP, 1990.

## **СТРАТЕГІЯ ЦИКЛІЧНОЇ ЕКОНОМІКИ В ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕРОБКИ ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ**

**БМ САВЧЕНКО, БП САВЧУК**

*Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала Шияновська, 2,  
Київ, 01011, 1079@ukr.net*

Робота присвячена аналізу стану питання переробки полімерних відходів розглянуто основні особливості з організації процесу.

*Ключові слова:* полімерні відходи, циклічна економіка, біополімери, охорона навколишнього середовища.

Протягом останніх десятиліть людська діяльність суттєво вплинула на навколишнє середовище. Багато вчених вбачають зміну клімату як результат коливань природних процесів, які були спричинені техногенною діяльністю людей, зокрема розвитком промисловості та сільського господарства. Стрімке зростання кількості населення та відходів ще більше ускладнює цю ситуацію.

Значну частину твердих відходів становлять пластикові матеріали. Завдяки широкому спектру застосування, полімери стали необхідною частиною сучасного життя. Річний обсяг виробництва полімерних матеріалів перевищив 330 мільйонів метричних тонн з 2016 по 2020 рік і прогнозується зростання до близько 1,1 мільярда тонн до 2050 року. Проте, за даними Агентства з охорони навколишнього середовища, всього 9% пластикових відходів щорічно піддаються переробці, 19% спалюється, а решта відправляється на смітник або навіть не утилізується. Висока енергоємність і вартість захоронення відходів призводять до того, що деякі з них потрапляють до водойм. Пластикові відходи погано розкладаються і можуть спричинити первинне забруднення навколишнього середовища. Тому правильна обробка пластикових відходів важлива для розв'язання проблем з забрудненням довкілля та досягнення сталого розвитку. Традиційний підхід до використання ресурсів включає в себе стратегію "бери-роби-споживай-марнуй", і тому перехід до генеративної та

відновлювальної моделі управління відходами є надзвичайно важливим [1].

Прогнозують, що до 2050 року виробництво полімерів збільшиться утричі, що призведе до зростання обсягів полімерних відходів. Ця проблема стає надзвичайно актуальною з кожним днем. Хоча методи утилізації, такі як захоронення та спалювання, є найбільш економічно вигідними, вони також несуть серйозні ризики забруднення навколишнього середовища.

Слід відзначити, що існують певні обмеження, які необхідно враховувати при розгляді переробки та використання пластикових відходів. Основним обмеженням в переробці пластикових відходів є складнощі у зборі відходів та налагодженні інфраструктури. Також важливо враховувати невпевненість у довгостроковій ефективності переробленого пластику, яка призводить до обмежень у прийому та використанні пластикових відходів підрядниками [2].

Пластикові відходи складаються з різних типів пластику, які включають різноманітні технологічні та експлуатаційні добавки. Ця різноманітність може призвести до отримання матеріалу з неоднорідними характеристиками під час переробки. Крім того, переробка деяких типів пластику може вимагати великої вартості для придбання спеціалізованого обладнання, що ускладнює їх переробку. Важливою проблемою є також відсутність єдиних стандартів для процесу переробки. Наприклад, незважаючи на значну кількість досліджень з використання пластикових відходів у цементних композитах, досі відсутні стандарти для їх використання в будівельних цілях.

Іншим підходом до боротьби з полімерними відходами є використання біополімерів, які піддаються біорозкладу. Проте, слід зауважити, що біополімери розкладаються лише в певних умовах і мають обмежений спектр властивостей, що обмежує їх можливості заміни традиційних, широко використовуваних пластиків у галузях, які не

пов'язані з одноразовими виробами та упаковкою. Єдиний спосіб ефективно вирішити цю важливу проблему утилізації полімерних відходів полягає у їх повторній переробці з наступним використанням у конкретних цілях [3].

Стратегія циркулярної економіки для переробки полімерних відходів в організації передбачає розробку системи, яка має на меті утримувати полімери та пластмаси в обігу якомога довше, мінімізуючи таким чином відходи та вплив на навколишнє середовище. Ця стратегія може бути реалізована в кілька етапів. Найперше, варто сприяти використанню полімерів і пластиків, придатних для вторинної переробки, у дизайні продукції. Мінімізувати використання змішаних матеріалів або складних для переробки пластмас [4].

Також необхідним є створення ефективної систему збору полімерних відходів з різних джерел, що можна реалізувати через інвестування в технології та інфраструктуру для ефективного сортування та відокремлення різних типів полімерів. Наступним кроком є створення та розвиток підприємств, які володіють найсучаснішим обладнанням для ефективної переробки полімерних відходів та можуть їх переробляти. Переробка відходів вимагає розробки системи засобів контролю якості, щоб забезпечити відповідність перероблених полімерів галузевим стандартам для різних застосувань.

Значну роль в організації переробки полімерних відходів відіграє також інформування споживачів про важливість переробки та належної утилізації, сприяння відповідальному споживанню та зменшенню відходів, заохочування до розробки продуктів, виготовлених з перероблених полімерів, всебічна підтримка та інвестування в дослідження та розробки для створення більш цінних продуктів з перероблених матеріалів.

Крім того, доцільним є створення замкненого ланцюга постачання, в якому полімерні відходи можуть бути повернуті виробнику для переробки [5].

На законодавчому рівні потрібно розвивати політику та нормативно-правові акти, які сприяють переробці та використанню перероблених матеріалів, забезпечувати дотримання відповідних екологічних норм і стандартів. Впроваджувати систему моніторингу для відстеження прогресу та ефективності стратегії циркулярної економіки. Регулярно звітувати про досягнення організації та покращення показників переробки та зменшення впливу на довкілля. Співпрацювати з іншими організаціями, зацікавленими сторонами галузі та державними органами для посилення ініціатив циркулярної економіки в полімерній промисловості. Встановити чіткі показники сталого розвитку та цілі, пов'язані з переробкою полімерів, і регулярно оцінювати діяльність організацій за цими показниками [6].

### **Висновки**

Впровадження стратегії циркулярної економіки для переробки полімерних відходів може зменшити вплив на довкілля, заощадити ресурси та потенційно призвести до економії коштів для організації. Це не лише сталий підхід, але й конкурентна перевага на сучасному екологічно свідомому ринку.

### **Література**

1. Yang, M., Chen, L., Wang, J., Msigwa, G., Osman, A. I., Fawzy, S., ... & Yap, P. S. (2023). Circular economy strategies for combating climate change and other environmental issues. *Environmental Chemistry Letters*, 21(1), 55-80.
2. Abarca, M., Larsen, E. A., & Ries, L. (2019). Heatwaves and novel host consumption increase overwinter mortality of an imperiled wetland butterfly. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 193.
3. Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855.

4. Adami, L., & Schiavon, M. (2021). From circular economy to circular ecology: a review on the solution of environmental problems through circular waste management approaches. *Sustainability*, 13(2), 925.
5. Leontief, W. (1991). The economy as a circular flow. *Structural change and economic dynamics*, 2(1), 181-212.
6. Yang, M., Chen, L., Wang, J. et al. Circular economy strategies for combating climate change and other environmental issues. *Environ Chem Lett* 21, 55–80 (2023).

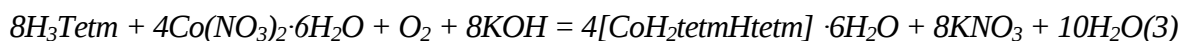
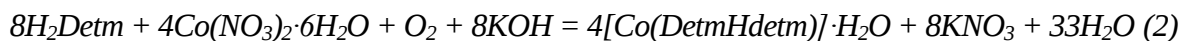
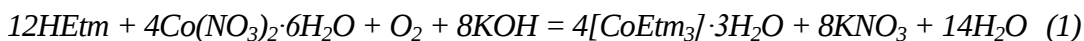
## СТАБІЛЬНІСТЬ ГЕТЕРОМЕТАЛІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ Co(III)-Ni(II) З АМІНОСПИРТАМИ В МЕТАНОЛЬНИХ РОЗЧИНАХ, ЯКІ ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ В ЕЛЕКТРОКАТАЛІЗАТОРАХ

ІС КУЗЕВАНОВА, АО ЗУЛЬФІГАРОВ, ОО АНДРІЙКО, НЄ ВЛАСЕНКО,  
ІВ КОВАЛЕНКО, ВА ПОТАСКАЛОВ

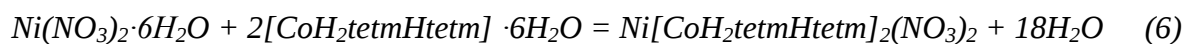
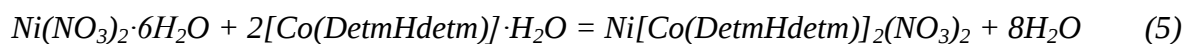
Національний технічний університет України «Київський Політехнічний Інститут  
імені Ігоря Сікорського», Проспект Берестейський 37, м. Київ, 03056,  
kuzevanova2009@ukr.net

Гетерометалічні поліядерні комплекси 3d-металів на основі аміноспиртових комплексів кобальту (III) розглядаються як перспективні модифікатори поверхні графіту та вуглецевих матеріалів у зв'язку з можливістю їх використання в якості прекурсорів для отримання каталізаторів деяких електрохімічних процесів. Зокрема, встановлено, що продукти піролізу поліядерних комплексних сполук Co(III) та Ni(II) з моно- ( $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ , Hetm), ди- ( $\text{HN}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_2$ ,  $\text{H}_2\text{detm}$ ) та триетаноламіном ( $\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3$ ,  $\text{H}_3\text{tetm}$ ), нанесені на вуглецевий субстрат, є ефективними електрокаталізаторами реакцій відновлення кисню у водних розчинах та інтеркаляції літію в графіт з органічних апротонних електролітів.

Синтез триядерних комплексних сполук кобальту(III)-нікелю(II) з моно-, ди- та триетаноламінами проводили у 2 етапи: на першому отримували в метаноловому розчині внутрішньокмплесну сполуку кобальту (III) з відповідним аміноспиртом (реакції 1, 2, 3):



На другому етапі синтезовували поліядерний комплекс з нікелем(II), в якому ВКС кобальту (III) виступає в якості екзо ліганду (реакції 4, 5, 6):



Таким чином, процес синтезу гетерометалічних комплексів можна описати загальним виразом  $\{Ni[L]_2\}(NO_3)_2$  (де  $L = Co(Etm)_3$ ,  $Co(DetmHdetm)$  та  $Co(H_2tetmHtetm)$ ). Для подальшого нанесення вищевказаних гетероядерних комплексних сполук кобальту(III)-нікелю(II) з аміноспиртами на вуглецеві підложки, використовувалися їх метанольні розчини.

Рівновага гетерометалічних комплексних сполук у метанольних розчинах було досліджено методом електронних спектрів поглинання (EAS) на UV/VIS спектрофотометрі Specord 210 при довжині хвилі від 250 до 750 нм в кварцовій кюветі товщиною  $l = 1$  см.

Зразки для електрохімічних досліджень готували наступним чином. Порошок з графіту акумуляторної якості Hohsen (10-28) контактував з надлишком метанольного розчину відповідної комплексної сполуки протягом 24 годин при кімнатній температурі. Рідку фазу відфільтровували, а отриманий порошок вуглецевого матеріалу сушили при  $100^\circ C$ , а потім термічно обробляли при  $500^\circ C$  в атмосфері чистого аргону.

Зразки були протестовані в макетних гудзикових елементах розміром 2016 порівняно з Li в якості протиелектроду загальною схемою джерела струму:

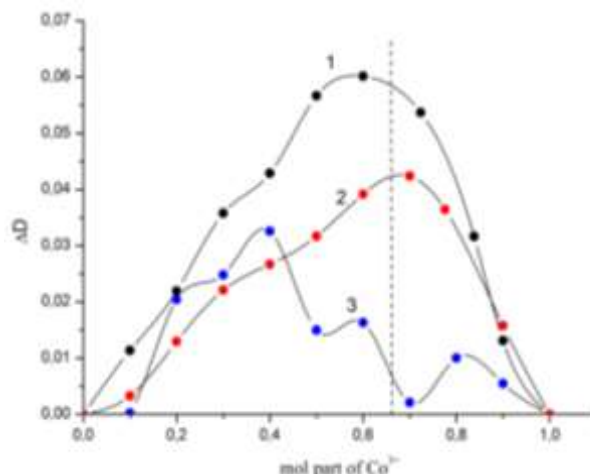
*Літій/електроліт (Merck LP-30)/зразок графіту на мідній фользі.*

Елементи були зібрані за стандартною технологією в сухому рукавичному боксі.

Спочатку було проведено одержано три серії електронних спектрів поглинання для ізомолярних розчинів  $Ni(NO_3)_2 - ВКС$ , де ВКС –  $Co(Etm)_3$ ,  $Co(Detm)(HDetm)$ ,  $Co(H_2Tetm)(HTetm)$ . Потім, використовуючи закон Ламберта-Бера, відхилення оптичної густини від адитивності розраховувалися за рівняння (7) :

$$\Delta D = D_{exp} - (\varepsilon_1 c_1 l + \varepsilon_2 c_2 l) \quad (7)$$

де  $D_{\text{exp}}$  - експериментальні значення оптичної густини,  $c_1$  і  $c_2$  – концентрації аміноспиртових комплексів кобальту та іони  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\epsilon_1$  і  $\epsilon_2$  – молярні коефіцієнти екстинкції компонентів розчину. Сума  $c_1 + c_2$  дорівнювала 0,01 моль/л для всіх систем, результати наведені на рисунку 1[1]:



**Рисунок 1** – Відхилення від адитивності оптичної густини в ізомолярних рядах розчинів для систем  $\text{Ni}^{2+}[\text{Co}(\text{Etm})_3]$  (1),  $\text{Ni}^{2+}[\text{Co}(\text{DetmHDetm})]$  (2) та  $\text{Ni}^{2+}[\text{Co}(\text{H}_2\text{TetmHTetm})]$  (3);  $C\text{Ni}^{2+} + C\text{Co} = 1.10^{-2}$  mol/l;  $\lambda = 450$  nm

У найпростіших випадках, коли утворюється лише одна комплексна сполука, залежність повинна мати максимальне значення при співвідношенні  $\text{Co}:\text{Ni}$ , яке відповідає складу комплексу. Цей випадок спостерігається у системах з моно- і діаміноетанолом (рис. 1, криві 1 і 2), що свідчить про утворення триядерного комплексу  $\text{Ni}[\text{Co}(\text{L})_2]$ , як показано у реакції (2). Цікавіша ситуація спостерігається в системі з триаміноетанолом (рис. 1, крива 3). Характер кривої вказує на утворення двох типів комплексних сполук різного складу [1].

Результати електрохімічних випробувань зразків графіту, модифікованих метанольним розчином комплексів  $2\text{Co-Ni}$ , вказує, що усі три типи комплексів покращують електрохімічну поведінку графіту в реакції оборотної інтеркаляції  $\text{Li}$ . Проте ефект максимальний для діаміноетанольних комплексів, проміжний для моноаміноетанолу і мінімальний для триаміноетанольних комплексів. Очевидно, це корелює зі стійкістю триядерних комплексів  $2\text{Co-Ni}$  в розчинах, що

використовуються для нанесення їх на поверхню графіту. Ця спостережувана залежність корелює із стабільністю триядерних комплексів 2Co-Ni в розчинах.

Головним висновком з отриманих результатів є те, що утворення саме триядерних комплексів 2Co-Ni в розчинах органічних розчинників має важливий вплив на каталітичну активність в реакції інтеркаляції\деінтеркаляції Літію в графіт, і ця активність найвища для діаміноетанольних комплексних сполук.

### **Література**

1. A.O. Zulfigarov, A.V. Pidgornui, I.S. Kuzevanova, A.A. Andriiko. New Materials, Compounds and Applications Vol.3, No.1, 2019, pp.29-37

## ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ У ВИРОБНИЦТВІ ВОГНЕСТІЙКИХ ШКІР

ІА ЛЯСОВ<sup>1</sup>, ОР МОКРОУСОВА<sup>1,2</sup>, ОА ОХМАТ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Київський національний університет технологій та дизайну  
вул. Мала Шияновська, 2, м. Київ, 01011

<sup>2</sup> Державний торговельно-економічний університет  
вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156

[nastyduckling@gmail.com](mailto:nastyduckling@gmail.com), [olenamokrousova@gmail.com](mailto:olenamokrousova@gmail.com), [oxmat.ou@knu.edu.ua](mailto:oxmat.ou@knu.edu.ua)

У статті розглянуто основні підходи до формування у натуральної шкіри вогнестійких властивостей. Акцент зроблено на інноваційних матеріалах, використуваних для виробництва вогнестійких шкір.

Горючість – здатність матеріалів та речовин спалахувати під дією джерела запалювання та продовжувати горіти після його видалення. Для зменшення горючості матеріалам та виробам прийнято надавати вогнестійких властивостей. Відповідно, вогнестійкість – властивість матеріалів витримувати вплив вогню, високої температури та теплового випромінювання без зайвого розплавлення, горіння або руйнування.

Вогнестійкі матеріали виробляють для зменшення ризику поширення вогню, захисту людей і предметів в умовах, де вогонь може бути небезпечним. Вогнестійкі матеріали спроможні витримувати високу температуру, не підтримують горіння і не вибухають при контакті з вогнем, не розплавляються або не втрачають міцності за високих температур. Вогнестійкі матеріали також можуть зменшувати тепловий вплив на людей, захищаючи їх від опіків. Слід також зауважити, що у вогнестійких матеріалів має бути відсутнє виділення токсичних речовин при їх нагріванні.

Захист від вогню є важливим у багатьох сферах діяльності, включаючи військову справу, рятувальні служби та промисловість. Останнім часом збільшився попит на натуральні шкіри з вогнестійкими властивостями.

Вогнестійка шкіра виробляється з використанням спеціальних матеріалів і обробок, що зменшують її горючість та збільшують стійкість

до впливу високої температури та вогню. Це може допомогти зменшити травми та ризики під час роботи в умовах, де вогнезахист є необхідним.

Вогнестійка шкіра – натуральний матеріал, здатний чинити опір дії вогню та високих температур, не піддаватися загорянню, не деформуватися і зберігати свої захисні властивості; зберігати свою міцність і структуру при високих температурах, не сприяючи горінню або плавленню.

Шкірам надають вогнестійких властивостей при реалізації технологічного циклу їх виробництва. Матеріали, які надають шкірі вогнестійкості, використовують для просочування структури дерми в рідинних обробках, або наносять на поверхню шкіри на стадії її оздоблювання. Виробам з натуральної шкіри теж можуть надавати вогнестійкість обробкою розчинами речовин, що створюють захисну плівку на поверхні виробу, перешкоджаючи його горінню.

Не можна не зауважити, що традиційні обробки технології виробництва натуральної шкіри також можуть сприяти підвищенню її вогнестійкості. Доведено [1-3], що такі рідинні процеси як дублення рослинними дубителями та жирування сульфатованими жирувальними матеріалами, знижують займистість шкіри.

Для спрямованої реалізації технології виробництва вогнестійкої шкіри рекомендують застосовувати ряд матеріалів різної природи. Асортимент вказаних матеріалів налічує: антипірени, фторорганічні сполуки, меламінові смоли, сполуки на основі вуглецю тощо.

Найпоширенішими матеріалами для застосування є антипірени. Антипіренові засоби містять речовини, які зменшують горючість і горіння шкіри, створюючи бар'єр для поширення вогню та тепла через припинення доступу кисню до вкритої ними поверхні. При застосуванні антипіренів для виробництва шкіри необхідно пам'ятати, що вони не повинні вступати у взаємодію зі шкіряним матеріалом, а також не призводити до склеювання структури дерми шкіри при обробці. Останнім часом проводяться

дослідження, мета яких – обмежене використання антипіренів та їх заміна на більш екологічно безпечні матеріали.

Відповідно до вищенаведеного, перспективним для підвищення вогнестійкості шкір є застосування шаруватих алюмосилікатів [4]. Шаруватий алюмосилікат – матеріал, який використовується в різних галузях, включаючи вогнезахист та виробництво вогнестійких матеріалів. Цей матеріал складається з алюмінію, кремнію, кисню та інших хімічних елементів, і має структуру, в якій атоми розташовані у шарах. Ця структура дозволяє матеріалу мати високу тепло- та вогнестійкість.

Слід зауважити, що шкіри для верху взуття, особливо ті, що експлуатуються у важких умовах, повинні мати сформовану структуру дерми, міцну, пружну, стійку до багаторазового розтягування–стискування. Вказаного комплексу властивостей дерми можна досягти використанням у технології виробництва шкіри модифікованих дисперсій монтморилоніту. Монтморилоніт є шаруватим алюмосилікатом, який у воді під дією натрієвих солей самодиспергується з утворенням стабільної дисперсії з різнорозмірними частками. Подальша модифікація дисперсій монтморилоніту забезпечує створення нанокompозитів із прогнозованими властивостями [5-6]. Нанорозмірні частки дисперсії монтморилоніту забезпечуватимуть при обробці максимальне формування об'єму дерми шкіри з одночасним підвищенням її стійкості до вогню та тепла. Важливим є і те, що шаруваті алюмосилікати є екологічно безпечними матеріалами, які не створюють при використанні додаткового навантаження на навколишнє середовище.

Так, відомий [7] Organically Modified Montmorillonite – нанокompозит ОММТ, що складається з монтморилоніту у комбінації з органічними сполуками (амінами та вуглеводнями). За своїми властивостями нанокompозит ОММТ може покращити механічні властивості шкіряних матеріалів, паралельно зменшуючи проникність газів та рідини в структуру дерми, підвищуючи її теплостійкість та ізоляцію. Використання вказаного

нанокомпозиту в рідинному оздобленні шкіри сприяє підвищенню її негорючості. Застосування нанокомпозиту на стадії покривного фарбування в комбінації з поліуретановим плівкоутворювальним матеріалом збільшує термічний опір шкіри.

Новації у галузі створення вогнестійких шкіряних матеріалів базуються на застосуванні так званих «інтумісцентних нанокомпозитів» – матеріалів, які містять інтумісценти (субстанції, що сприяють формуванню інтумісцентних шарів під впливом високої температури або пожежі) і наночастки (наноматеріали). Ці наночастки можуть бути включені в структуру матеріалу для покращення вогне– та теплостійкості. Інтумісценти під впливом тепла або вогню розкладаються, утворюючи захисний шар або бар'єр, який запобігає подальшому розповсюдженню вогню. А нанокомпозити сприяють покращенню розподілу інтумісцентів у матеріалі (наприклад, шкірі), забезпечуючи ефективну відповідь на підвищену температуру або відкритий вогонь.

В якості інтумісцентів можуть бути використані: амоніум поліфосфат, похідні меламіну, гексабромциклододекан тощо. Наприклад, амоніум поліфосфат часто використовують для надання вогнестійкості полімерам і полімерним покриттям. Вказаний матеріал розкладається за високої температури, утворюючи фосфатні сполуки, які гасять вогонь і захищають матеріал від горіння. Слід однак враховувати, що натуральна шкіра та вироби з неї є товарами широкого вжитку, а значить мають відповідати за своїми властивостями статусу безпечного товару. А отже, інтумісценти у шкірі не повинні загрожувати здоров'ю людей, які при виконанні службових обов'язків експлуатують вироби з неї у важких умовах, при підвищеній вологості й інтенсивному фізичному навантаженні.

Отже, нанокомпозити на основі шаруватих алюмосилікатів можуть використовуватись при реалізації типової технології виробництва шкіри з метою підвищення її вогнестійкості. Додавання шаруватого алюмосилікату

або подібних вогнестійких добавок може допомогти зменшити горючість шкіри та уповільнити процес її горіння у разі виникнення пожежі. Суттєвим фактором вибору екологічно безпечних нанокompозитів для виробництва натуральних вогнестійких шкір має бути безпека життєдіяльності та здоров'я людини при виконанні службових обов'язків.

### Література

1. Gong, Y.; Chen, W.; Chen, J.; Gu, H. Influence of finishing on the flammability of leather. *J. Soc. Leather Technol. Chem.* **2007**, 91, 208-211.
2. Huang, Z.; Lixin, L.I.; Chen, W.; Gui, H. Influence of fatliquoring on flammability of leather. *J. Soc. Leather Technol. Chem.* **2006**, 90, 155-158
3. Huang, Z.; Li, L.; Wang, Y.; Lin, Y.; Chen, W. Performance of flame retardants on leather. *J. Soc. Leather Technol. Chem.* **2005**, 89, 225-231.
4. Sanchez-Olivares, G.; Sanchez-Solis, A.; Calderas, L.; Medina-Torres, O.; Manero, A.; Di Blasio, J.; Alongi J. Sodium montmorillonite effect on the morphology, thermal, flame retardant and mechanical properties of semi-finished leather. *Applied Clay Science.* **2014**. 102. 254-260.
5. Mokrousova, O.; Danilkovich, A. Formation of collagen structure of derma with mineral dispersions. *Baltic Polymer Symposium 2006*, Programme and proceeding, Birini, Castle. September 20–22, 2006, P.64.
6. Mokrousova, O.R.; Danilkovich, A.G. Formation of collagen structure of derma by mineral dispersions. *Scientific proceedings of Riga Technical University.* **2007**, Series 1, Part 14, 83-91.
7. Zhang Xiuli; Chen Yi; Fan Haojun and Shi BI. Waterborne Polyurethane/O-MMT Nanocomposites for Flame Retardant Leather Finishing. *J. Soc. Leather Technol. Chem.* **2012**, 94, 77-83.

## ВПЛИВ ОКСИДУ МЕТАЛА НА ВЛАСТИВОСТІ СТАНУ ПОВЕРХНІ

ІС МАКЄЄВА, НБ ГРУЩАК

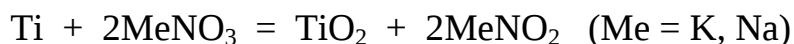
*Київський Національний Університет Технологій та Дизайну, вул. Мала Шияновська (Немировича-Данченко), 2, Київ, 01011, Україна, makueyeva.is@knuetd.com.ua*

Показано вплив включення діоксида титану у склад нікель - олов'яного покриття на механічні та антибактеріальні властивості поверхні. Встановлено залежність впливу часу інкубування та дії ультрафіолетового випромінювання на концентрацію життєздатних клітин на поверхні покриття.

Одним з найбільш перспективних напрямків функціоналізації поверхні є отримання композитних покриттів з різним типом впроваджених частинок. В якості інертної фази можуть виступати різні матеріали.

Фотокаталітичні властивості різних матеріалів обумовлені особливостями їх електронної структури, а саме існуванням в них валентної та зони провідності. В основному в якості фотоактивних матеріалів використовують оксиди різних металів, які є напівпровідниками. Наприклад, наноструктурований  $\text{TiO}_2$  – активний фотокаталізатор, який під дією м'якого ультрафіолетового випромінювання стимулює хімічні реакції розкладу органічних сполук. Сьогодні діоксид титану широко використовується як фотокаталізатор завдяки його високій активності, нетоксичності, низькій вартості, екологічності, хімічній інертності та каталітичній стабільності [1]. Для отримання фотокаталітичних властивостей  $\text{TiO}_2$  повинен бути синтезований в окремих умовах та мати нанорозмірну структуру. На тепершній час відомо, що найбільшу фотокаталітичну активність мають нанорозмірні частки  $\text{TiO}_2$  від 10 до 50 нм.

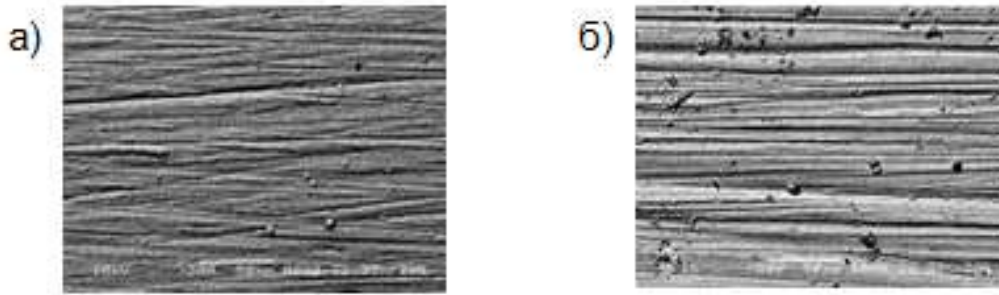
Діоксид титану одержували окисненням металічного порошку титану [2]. Для окиснення титану використовували нітрати калію і натрію. Загальна схема процесу окиснення титану має вигляд:



Для проходження цієї реакції активували поверхню титану гідрофторидом амонію ( $\text{NH}_4\cdot\text{HF}$ ). Одержаний зразок представляв суміш двох поліморфних модифікацій  $\text{TiO}_2$  анатазу та рутилу та мав розмір частинок 30–50 нм.

Фотокаталітичні властивості діоксиду титану в складі композиційного електрохімічного покриття визначаються металом-матрицею. Сплав олово-нікель (65 мас.% Sn і 35 мас.% Ni) відрізняється високою корозійною стійкістю, привабливим зовнішнім виглядом, не викликає роздратування при контакті зі шкірою людини. Даний сплав застосовується в промисловості в якості захисно-декоративного покриття виробів з міді та сталі. Таким чином, сплав нікель-олово, сформований електрохімічно, володіє рядом переваг порівняно з покриттями індивідуальними металами. Введення нанорозмірного діоксида титану у структуру сплава дозволить надати металевій поверхні ряд унікальних властивостей.

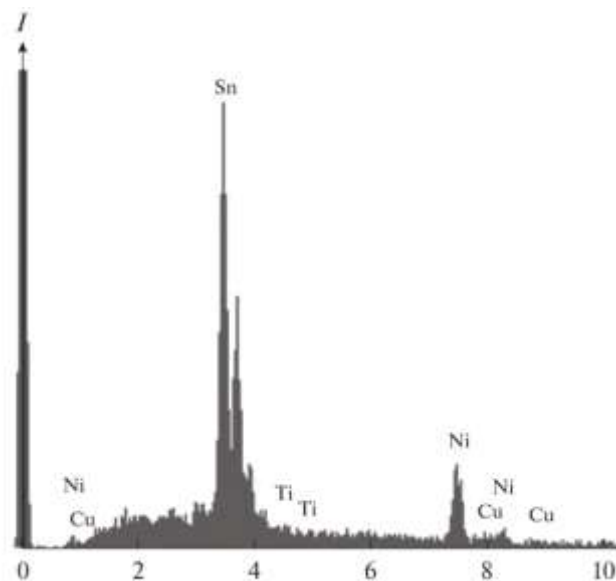
Композиційне покриття нікель-олово-діоксид титана електрохімічно осаджували із фторидно-хлоридного електроліту [3]. Умови електролізу є визначальними факторами при осадженні сплаву. Встановлено, що осадження рівномірних блискучих сірих покриттів Sn-Ni з щільноупакованою структурою без дендритів відбувається з електроліту з  $\text{pH } 3,0 \pm 0,1$ , а оптимальна щільність становить  $1,0 \text{ А/дм}^2$ . Введення у електроліт  $\text{TiO}_2$  призводить до незначної зміни характеру покриття, на поверхні спостерігається утворення сфероїдів розміром 6–8 мкм. Введення  $\text{TiO}_2$  до електроліту призводить до зміни структури поверхні покриття з укрупненням кристалітів, які формуються на поверхні (рис. 1).



**Рисунок 1** – Скануюча електронна мікроскопія (СЕМ) покриття:  
а) Ni-Sn; б) Ni-Sn-TiO<sub>2</sub>.

В цілому виходить суцільне покриття добре зчеплене з основою і якісними декоративними властивостями.

За даними елементного аналізу отриманні покриття Ni-Sn мають 62,2 мас. % олова та 34,5 мас. % нікелю. Введення в електроліт діоксиду титану в кількості 2 г/дм<sup>3</sup> призводить до його впровадження до складу покриттів до 0,7 ат. %.



**Рисунок 2** – Рентгендисперсний спектр композиційного покриття Sn-Ni-TiO<sub>2</sub> отриманого на мідному підшарі [3]

Адгезію покрить Ni-Sn та Ni-Sn-TiO<sub>2</sub> до сталевій пластинки вимірювали адгезиметром Defelsko Positest AT, а також досліджували методами нанесення сітки подряпин та вигину.

Мікрокротвердість покрить товщиною 20 мкм вимірювали мікротвердоміром AFFRI-MVDM8 при навантаженні на індентор 50 г.

Адгезія та мікротвердість сплаву Ni–Sn и Ni–Sn–TiO<sub>2</sub> представлено в таблиці 1.

**Таблиця 1**– Властивості покрить Ni–Sn и Ni–Sn–TiO<sub>2</sub>

| Властивості покрить          | Ni–Sn | Ni–Sn–TiO <sub>2</sub> |
|------------------------------|-------|------------------------|
| Мікротвердість, HV           | 405   | 439                    |
| Адгезія, МПа/см <sup>2</sup> | 0,51  | 0,65                   |

Мікротвердість покриття Ni–Sn склала 405 HV, адгезія – 0,51 МПа·см<sup>-2</sup>. Введення у електроліт TiO<sub>2</sub> у кількості 2 г/дм<sup>-3</sup> приводить до росту мікротвердості та адгезії до 439 HV та 0,65 МПа·см<sup>-2</sup> відповідно.

Відомо, що покриття з нанорозмірними оксидами металів виявляють високу ефективність проти резистентних бактерій за рахунок пригнічення життєдіяльності збудника інфекції у результаті уповільнення специфічного для мікроорганізмів метаболічного процесу [4]. Антибактеріальні властивості покриттів вивчали по відношенню до грампозитивних *Staphylococcus aureus* (S. Aureus) та грамнегативних *Escherichia coli* (E. coli) бактерій. Присутність в покритті діоксиду титану зменшувала кількість бактеріальних колоній на поверхні зразків. Тенденція спостерігається як для S. aureus, так і для E. coli.

Оцінку антибактеріальної активності проводили по показнику K [5]:

$$K = 100 \cdot (C_{\text{конт}} - C) / C_{\text{конт}},$$

де  $C_{\text{конт}}$  – концентрація клітин після інкубування на контрольному зразку (КОЕ/мл);  $C$  – концентрація клітин після інкубування на зразку, який досліджується (КОЕ/мл).

Антибактеріальна активність зразків по відношенню до тест - бактерій при інкубуванні протягом 4 та 12 годин збільшується з збільшенням вмісту діоксиду титана в покритті як і для S. aureus, так и для E. coli. Показник антибактеріальної активності збільшується від 1,4 до 1,5 для E. coli та від 1,3 до 1,7 для S. aureus при часі інкубування 4 години. З збільшенням часу інкубування K також збільшується до значення 1,84 для E. coli та 2,44 для S. aureus при концентрації діоксиду титана в електроліті 2 г/дм<sup>3</sup>.

Концентрація життєздатних бактерій *S. aureus* на поверхні зразків при обробці УФ опромінюванням інтенсивністю  $0,01 \text{ мВ/м}^2$  протягом 1 години зменшується від 130 до 70 КОЕ/мл (табл. 2).

**Таблиця 2** – Концентрація життєздатних клітин *Staphylococcus aureus* на поверхні зразків (Вихідна концентрація:  $5.6 \cdot 10^5$  КОЕ/мл)

| Умови досліджу                                                               | Концентрація $\text{TiO}_2$ в електроліті, $\text{г/дм}^3$ , при осадженні покриття | Концентрація (КОЕ/мл) | K, %  |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------|
| Без обробки УФ                                                               | 0                                                                                   | 130                   | –     |
|                                                                              | 1                                                                                   | 100                   | 23.08 |
|                                                                              | 2                                                                                   | 90                    | 30.76 |
| Після обробки УФ опромінюванням ( $I \sim 0.01 \text{ мВт/см}^2$ , 1 година) | 0                                                                                   | 70                    | –     |
|                                                                              | 1                                                                                   | 20                    | 71.43 |
|                                                                              | 2                                                                                   | 30                    | 57.14 |

При опромінюванні покриттів, які отримані з електроліту з  $1 \text{ г/дм}^3$  та  $2 \text{ г/дм}^3$  діоксиду титану кількість клітин зменшується від 100 до 20 КОЕ/мл та від 90 до 30 КОЕ/мл відповідно. Таким чином спостерігається наявність антибактеріальної дії діоксиду титану, особливо при дії УФ.

Враховуючі експериментальні данні про вплив рН електроліту, густини струму та концентрації діоксиду титану на склад, мікроструктуру та властивості електрохімічно осаджуємого сплаву олово–нікель визначені умови отримання композиційного покриття олово–нікель–діоксид титану.

Введення нанорозмірного діоксиду титану у структуру сплаву нікель–олово дозволяють отримувати покриття з підвищеною твердістю та адгезією. Також, така поверхня має високу біоцидну активність по відношенню до бактерій *S. aureus* та *E. coli*.

### Література

1. Chen, X.; Mao, S. Titanium Dioxide Nanomaterials: Synthesis, Properties, Modifications, and Applications. *J. Chemical Reviews*. **2007**, *107*, 7, 2891-2959.

2. Kovalenko, I.V.; Chernenko, L.V.; Khaynakov, S.A.; Lisin, V.I.; Andriiko, A.A. Synthesis and electrochemical properties of nanosized titanium dioxide. *J. Ukr. Chem.* **2008**, 74, 3-4, 52-54.
3. Pyanko, A.V.; Makarova, I.V.; Kharitonov, I.V.; Makeeva, I.S., Alisienok, O.A.; Chernik, A.A. Tin–Nickel–Titania Composite Coatings. *J. Inorg. materials.* **2019**, 55, 6, 568–575.
4. Aswini Rangayasami, Karthik Kannan, Murugesan Subban, Devi Radhika. Review of Photocatalytic and Antimicrobial Properties of Metal Oxide Nanoparticles. *J. Physics and Chemistry of Solid State.* **2021**, 22, 1, 5-15.
5. Pyanko, A.V.; Makarova, I.V.; Kharitonov, I.V.; Makeeva, I.S., Sergievich, D.S.; Chernik, A.A. Physicochemical and Biocidal Properties of Nickel–Tin and Nickel–Tin–Titania Coatings. *J. Protection of metals and physical chemistry of surfaces.* **2021**, 57, 1, 88-96.

## НЕПЛАТИНОВИЙ КАТАЛІЗАТОР ВІДНОВЛЕННЮ КИСНЮ ДЛЯ МЕТАЛ-ПОВІТРЯНИХ БАТАРЕЙ

ДВ ПАТЛУН<sup>1</sup>, МІ ГУК<sup>1</sup>, ЛГ ЩЕРБАКОВА<sup>2</sup>, ВГ ХОМЕНКО<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала  
Шияновська 2, м. Київ, 01011, dimapatlun@gmail.com

<sup>2</sup> Інститут проблем матеріалознавства ім. Францевича НАН України, вул.  
Омеляна Пріцака 3, Київ, 03124

В роботі було синтезовано та досліджено електрохімічні властивості діоксиду мангану, що може бути використаний у якості ефективного каталізатору відновлення кисню для метал-повітряних батарей.

### Вступ

Останнім часом у більшості промислово розвинутих країн відбувається відхід від традиційних вуглеводневих енергетичних носіїв. Все більша увага приділяється нетрадиційним енергетичним джерелам, особливе місце серед яких займають електрохімічні системи – акумулятори, суперконденсатори та паливні комірки. Перезаряджуванні літій-іонні батареї, які працюють на основі механізму інтеркаляції літію, перевершують конкурентні свинцево-кислотні та нікель-метал-гідридні батареї, домінуючи на ринку портативної електроніки за останні два десятиліття з моменту першого їх представлення компанією Sony на початку 90-х років. Однак, у зв'язку з широким розповсюдженням електричного транспорту постає питання суттєвого підвищення питомої енергії таких хімічних джерел. На жаль, на сьогоднішній день традиційні електрохімічні системи не можуть запропонувати рішення цієї проблеми, тому все більша увага приділяється дослідженню нетрадиційних електрохімічних джерел струму, одними найперспективнішими з яких вважаються метал-повітряні [1].

Використання кисню у якості активного матеріалу теоретично зменшує вагу батареї у декілька разів, що в свою чергу збільшує величину енергії на одиницю маси. Одним із основних недоліків використання кисню є висока конструкційна складність електродів. Така складність конструкції повітряних електродів пов'язана з необхідністю доставки

кисню з навколишнього середовища до границі електрод-електроліт та небажаними побічними процесами, що відбуваються в цей час. Для вирішення цих проблем використовують двошарові газодифузійні електроди, захисті мембрани, системи з регенерацією електроліту, тощо [2].

Іншою важливою проблемою, що запобігає широкому розповсюдженню метал-повітряних батарей, є необхідність використання каталізаторів. Найбільш ефективними каталізаторами вважаються платинові метали та їх похідні, але через висоту вартість та схильність до отруєння виникає необхідність заміни таких сполук більш дешевими. Останніми роками в літературних джерелах у якості каталізаторів відновлення кисню пропонується велика кількість матеріалів, які можна умовно розподілити на три групи: металеві, органічні та оксидні. Металеві каталізатори представляють собою різноманітні варіації сплавів, у яких використання платини може сягати лише кількох відсотків. До органічних каталізаторів відносяться провідні полімери (поліанілін, поліпірол), порфірини металів, тощо. Оксидні каталізатори представляють собою найбільш розгалужену систему сполук з різною структурою та властивостями [3].

В роботі представлено отримання та дослідження властивостей діоксиду мангану, що може бути використаних у якості каталізатору відновлення кисню в метал-повітряних батареях.

### **Матеріали та методи**

Досліджуваний каталізатор було отримано методом хімічного осадження взаємодією розчинів ацетату мангану з перманганатом калію. Отриманий порошок фільтрували на вакуумній воронці та сушили до постійної маси при 150°C.

Для виготовлення композитних газодифузійних електродів вихідну вуглецеву матрицю (сажа марки C65 TIMCAL Graphite & Carbon) змішували з досліджуваним каталізатором та додавали необхідну кількість

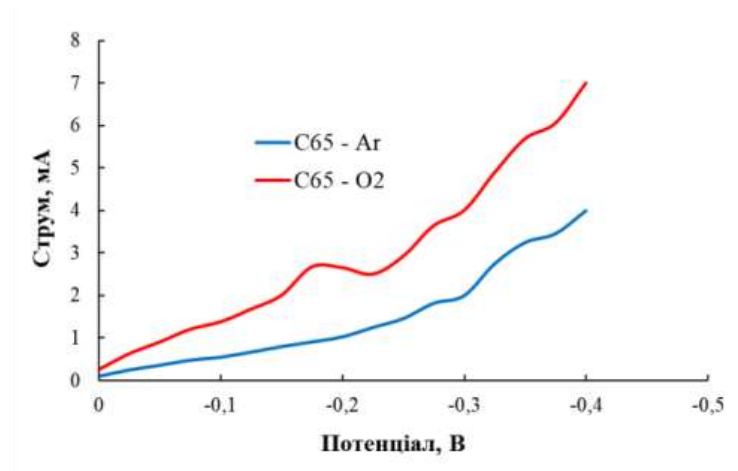
водної суспензії політетрафторетилену (60% розчин). Отриману масу перетирали в агатовій ступці з додаванням спирту до однорідної консистенції та запресовували в сітку з пінонікелю. Вміст каталізатору не перевищував 10 мас. %, вміст зв'язувальної речовини (ПТФЕ) – 15 мас. %. Отримані електроди сушили при температурі 120°C у вакуумі.

Дослідження електрохімічних властивостей відбувалося в спеціальній комірці, в якій одна сторона газодифузійного електрода контактувала безпосередньо з повітрям, а інша – з електролітом. В якості електроліту використовували 7 М розчин КОН. Електрохімічні дослідження проводились з використанням потенціостату-гальваностату PGSTAT4-14, протиелектрод – платинова пластина, електрод порівняння – ртутно-оксидний (Hg/HgO). Робоча поверхня електродів складала 3 см<sup>2</sup>.

Дослідження структури каталізатору проводилось методом дифракції рентгенівського випромінювання використовуючи ДРОН-3М з фокусуванням по Бреггу-Брентано. Дифрактограми оброблялися з використанням програми SciDAVis 1.D009.

## Результати

Для визначення каталітичної активності реакції відновлення кисню вуглецевої матриці були проведені електрохімічні дослідження електродів, що не містить в своєму складі каталізатору.



**Рисунок 1** – Катодні потенціодинамічні поляризаційні криві електродів з сажи Timcal C65 з продуванням аргону та повітря, швидкість розгортки 10 мВ/с

Для виділення струму заряду подвійного шару електрод продувався спочатку аргон, а потім повітрям з постійним тиском. На рисунку 1 видно, що при продуванні через електрод повітря відбувається збільшення значення катодного струму у всій області потенціалів. Це свідчить про те, що сажа Timcal C65 може ефективно використовуватись як матриця для газодифузійних електродів метал-повітряних батарей.

Для визначення структури та модифікації синтезованого каталізатору був проведений рентгено-фазовий аналіз, результати якого представлено на рисунку 2. Так, для порошку діоксиду мангану отримані дифрактограми показують, що він представляє собою  $\alpha$ - $\text{MnO}_2$  з параметрами комірки  $a = 6,36 \text{ \AA}$ ;  $b = 10,15 \text{ \AA}$ ;  $c = 86,94 \text{ \AA}$ ;  $V = 264,03 \text{ \AA}$ .

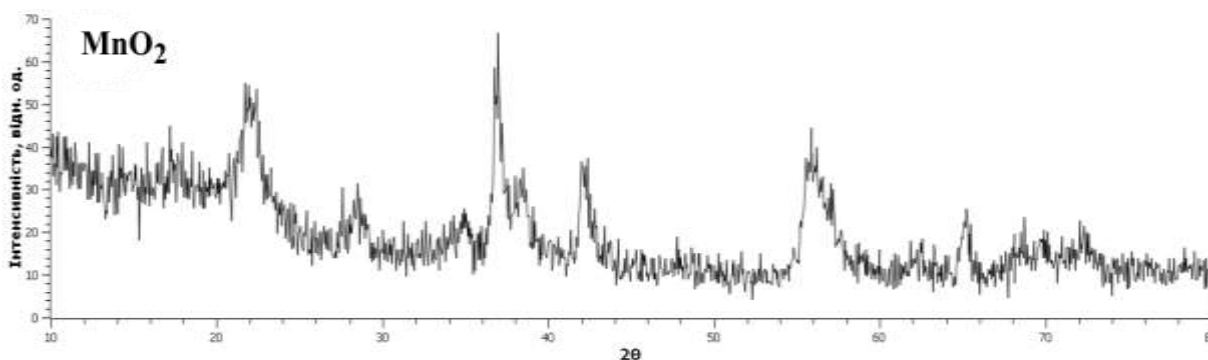
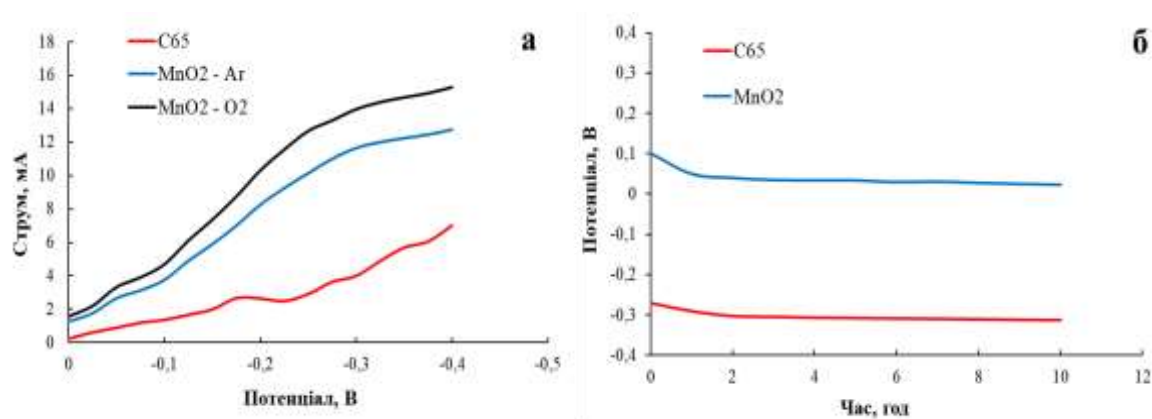


Рисунок 2 – Дифрактограми порошку каталізатору

Визначення електрохімічних характеристик електродів з каталізатору відбувалося методом потенціодинамічних вольтамперних кривих (рис. 3а) та методом хронопотенціометрії при постійному струмі (рис. 3б). Отримані результати показують, що досліджуваний каталізатор дійсно прискорює електрохімічну реакцію відновлення кисню. Спостерігаємо збільшення струму приблизно в 2 рази порівняно з електродом, що не містить досліджуваного каталізатору. Електрохімічні дослідження з продуванням інертного газу показують, що вірогідно сам матеріал каталізатору відновлюється при катодній поляризації. Така поведінка може негативно вплинути на довготривалу роботу батареї.



**Рисунок 3** – Катодні потенціодинамічні поляризаційні криві електродів з вмістом 10%  $\text{MnO}_2$  (а), хронопотенціометричні розрядні криві досліджуваних електродів (б)

Гальваностатичний розряд прототипів цинк-повітряних елементів відбувався з густиною струму  $3 \text{ мА/см}^2$ . Визначено, що при такому струмі для обох електродів при 10 годинах розряду не відбувається значного відхилення значення потенціалу. При додаванні в склад електроду 10% досліджуваного діоксиду мангану значення потенціалу при розряді підвищується на 0,3 вольт, що в свою чергу підвищує робочу напругу метал-повітряного елемента.

Таким чином, в роботі було синтезовано та досліджено діоксиду мангану, що може бути використаний в якості ефективного каталізатору відновлення кисню метал-повітряних батарей.

### Література

1. Qianfeng L. Aqueous metal-air batteries: Fundamentals and applications. *Energy Storage Materials*. **2020**, 27, 478-505. DOI:10.1016/j.ensm.2019.12.011
2. Yasir A.; Muhammad R. A.; Yijun Z.; Zongping S. Metal-free carbon based air electrodes for Zn-air batteries: Resent advantages and perspective. *Materials Research Bulletin*. **2021**, 140, 111315. DOI:10.1016/j.materresbull.2021.111315
3. Khomenko V. G.; Barsukov V. Z.; Katashinskii A.S. The catalytic activity of conducting polymers toward oxygen reduction. *Electrochimica Acta*. **2005**, 50 (7-8), 1675-1683. DOI: 10.1016/j.electacta.2004.10.024

## ПОРІВНЯННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛАСТМАС, ВИГОТОВЛЕНИХ ІЗ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ МЕТОДОМ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ

СВ ПРИСТИНСЬКИЙ<sup>1,2</sup>, ВП ПЛАВАН<sup>1</sup>, АМ ГРИЦЕНКО<sup>1,2</sup>,  
ДО МАЛИШКО<sup>2</sup>, РО ШУЛЯК<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала Шияновська 2, Київ, 01011, [s.prystynskyi@outlook.com](mailto:s.prystynskyi@outlook.com)

<sup>2</sup>ТОВ «Костал Україна», пр. Червоноармійців 2, Переяслав, 08400, [a.grytsenko@kostal.com](mailto:a.grytsenko@kostal.com)

Використання оригінального, вторинного подрібненого та вторинного регранульованого пластику хімічної групи ABS+PC забезпечує отримання виробів з пластмас методом лиття під тиском без погіршення механічних властивостей.

*Ключові слова:* вторинна сировина, ABS, PC, лиття пластмас під тиском, переробка полімерних відходів, механічні властивості.

Проблематика забруднення екосистем пластиками відома ще з середини ХХ століття [1]. Одним з оптимальних та впливових рішень є спроможність повторного використання полімерних матеріалів, які втратили свою функційну цінність як виріб чи сировина (брак, технологічні відходи, вироби, які не плануються до подальшої експлуатації тощо) у сукупності із іншими рішеннями. Тим не менше, для виробників пластикової продукції у всьому світі, незалежно від сфери діяльності, вторинне використання полімерів є не аби яким викликом. Це пов'язано з багатьма факторами впливу, такими як фінансові аспекти, технологічні та інші. Важливим етапом є дослідження реологічних властивостей вторинної полімерної сировини. Особливо це актуально під час переробки мультикомпонентних полімерних відходів [2], так як сучасні вироби містять в собі два чи більше різних за хімічною групою полімерних композиційних матеріалів.

Також варто звертати увагу на фізико-механічні властивості вторинних полімерних композицій та виробів, які з них отримуються. Активно проводяться дослідження властивостей пластиків, як вторинної сировини для 3D друку, технологія якого має позитивний тренд на розповсюдження. Останні дослідження композиції ABS/PLA свідчать про подібність механічних властивостей вторинної сировини до оригінальної [3], що дає підстави для

прийняття рішень про повторне використання відходів. Не менш цікавим є дослідження вуглепластиків, які знаходять застосування в багатьох сферах, зокрема із підвищеними вимогами стосовно безпеки: авіа та автомобілебудування. Науковці також визначають можливість покращення механічних властивостей вторинних вуглецевих волоконних композитів шляхом попередньої їхньої обробки [4].

В галузі автомобілебудування популярними полімерним композиційним матеріалом є ABS пластики, які ідеально поєднуються з PC. Це пов'язано з тим, що ABS за своєю структурою забезпечують ідеальну візуальну поверхню, а PC надає відмінні механічні властивості. Сукупність цих властивостей дає змогу тривалий час експлуатувати деталі автомобіля без погіршення якісних характеристик. Саме тому механічні властивості цієї композиції активно досліджуються, зокрема із різним вмістом компонентів по % мас [5]. Також відзначається покращення цих властивостей за допомогою добавок співполімеру стирол-ізопрен-стирол (SIS) до суміші ABS/PC [6]. Тим не менше, при повторному використанні полімерного композиційного матеріалу ABS/PC, існують ризики втрат механічних властивостей, які редукуються додаванням оригінального матеріалу до вторинної суміші. Таким чином можна без втрат основних властивостей переробляти >55% відходів [7].

Метою статті є показати можливість повторної переробки відходів з полімерного композиційного матеріалу ABS/PC без значущих втрат механічних властивостей отриманих виробів методом лиття пластмас під тиском.

### **Експериментальна частина**

#### **Матеріали і методи досліджень**

Браковані полімерні деталі та технологічні відходи у вигляді ливників (рис. 1) з ABS/PC «Bayblend T65XF» від оригінально виробника «Covestro AG» були подрібнені на дробарці «Rapid 200». На рисунку 1 показано ливники, які утворюються, як побічний продукт лиття пластмас під тиском. Це особливо

характерно при використанні прес-форми з холодноканальною ливниковою системою.



**Рисунок 1** – Технологічні відходи ABS/PC (ливники)



**Рисунок 2** – Подрібнений брак та технологічні відходи ABS/PC

На рисунку 2 можна бачити подрібнений матеріал з ABS/PC, який готовий для використання у подальших процесах дослідження. Регранульований матеріал (рис. 3) для вторинного використання отримували із подрібненого матеріалу (рис. 2) після сушіння в сушарці «FARRATECH Card 20S». Отримування регрануляту (рис. 3) відбувалося шляхом екструзії подрібненого матеріалу (рис. 2) з вузла впорскування литтєвої машини ARBURG 270S з подальшим подрібненням екструдату на спеціально виготовленому автоматизованому пристрої, який проходить досерійне випробування та валідацію в умовах <sup>2</sup>ТОВ «Костал Україна».



**Рисунок 3** – Регранульований подрібнений матеріал ABS/PC

В таблиці 1 подано основні характеристики полімерної композиції ABS/PC, які зазначає оригінальний виробник в паспорті матеріалу.

**Таблиця 1** – Основні властивості полімерного композиційного матеріалу ABS/PC

| Властивості                                         | Значення |
|-----------------------------------------------------|----------|
| Показник текучості розплаву, см <sup>3</sup> /10 хв | 18       |
| Модуль пружності, МПа                               | 2350     |
| Температура переробки, °C                           | 260      |
| Щільність, кг/м <sup>3</sup>                        | 1130     |

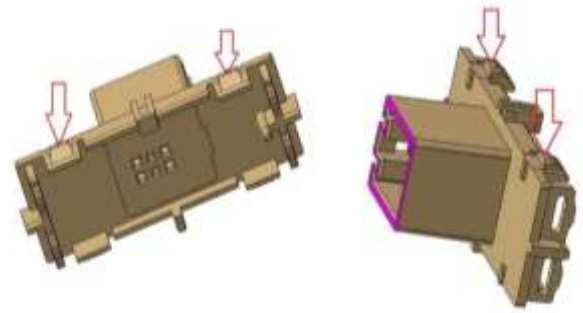
Для проведення експерименту в серійних умовах з оригінальної, подрібненої (рис. 2) та регранульованої сировини (рис. 3) на литтєвій машині ENGEL Victory 200/60 POWER отримували деталі (рис. 4) із застосуванням стандартних серійних параметрів технологічного процесу. На рисунку 4 показано полімерну деталь («цоколь») з композиції ABS/PC, яка є одним з компонентів мультифункціонального перемикача в автомобілі. На цоколь в подальшому процесі монтується друкована плата з електричними контактами (пінами), корпус, рефлектори та функційні кнопки. Все це складає повноцінний виріб, який в свою чергу монтується в панель керування різноманітними функціями в автомобілі.

### **Результати та їх обговорення**

Механічні властивості отриманих виробів із оригінального, вторинного подрібненого та вторинного регранульованого матеріалу ABS/PC, а саме сили зламу, визначали за допомогою універсальної машини для випробування матеріалів «ZWIK Roel» (табл. 3). На рисунку 5 показано обрані місця зламу – кліпси, які утримують корпус та інші несучі елементи готового виробу. Вибір обумовлений визначенням специфічних вимог замовника, як потенційно ризикована зона ймовірного пошкодження під час експлуатації автомобіля.



**Рисунок 4** – Деталь, отримана методом лиття під тиском з ABS/PC



**Рисунок 5** – 3D модель полімерної деталі та зони зламу

**Таблиця 3** – Порівняльна характеристика сили зламу кліпс полімерної деталі з ABS/PC

| Індикатор                                        | Походження полімерного матеріалу |                       |                           |
|--------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------------|
|                                                  | Оригінальний первинний           | Подрібнений вторинний | Регранульований вторинний |
| Середня сила зламу, Н                            | 106,17                           | 103,77                | 106,77                    |
| Абсолютна різниця від оригінального матеріалу, Н | -                                | -2,4                  | 0,6                       |
| Відносні зміни від оригінального матеріалу, %    | -                                | -2,26                 | 0,56                      |

Як показано в таблиці 3, можна спостерігати не значні зміни сили зламу кліпс деталей, отриманих з полімерного композиційного матеріалу ABS/PC різного походження. Результати демонструють зменшення сили зламу кліпси деталі на 2,26% із подрібненого вторинного та збільшення на 0,56% із регранульованого матеріалу відповідно у порівнянні з оригінальною сировиною ABS/PC. Отже, різниця є не суттєвою. Це пояснюється тим, що вторинні полімерні композиційні матеріали з ABS/PC не зазнали деструкційних процесів під час повторної переробки. Варто зазначити й те, що процес регрануляції не значно покращив показник зламу, ймовірно за рахунок попередньої переробки подрібненого матеріалу під тиском, що в свою чергу вирівнює орієнтацію полімерних ланцюгів. Варто зазначити й те, що основні параметри процесу лиття пластмас під тиском не зазнали змін та не потребували втручання з метою корекції.

## Висновки

Отримані результати дослідження демонструють можливість повторного використання відходів з полімерного композиційного матеріалу ABS/PC без втрат механічних властивостей та без корекції параметрів процесу переробки методом лиття під тиском. Це може дати змогу забезпечити високий рівень якості продукції і зменшити рівень неперероблених полімерних відходів без додаткових суттєвих фінансових інвестицій.

## Література

1. Vogel, Amos. Amos Vogel on documentary films. *Film Comment*, 1974, 10.5: 39.
2. С. В. Пристинський, В. П. Плаван, Р. О. Шуляк // *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2023): тези доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 25–26 травня 2023 р.): у 2 т. Т. 1.* – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2023. – С. 345-347.
3. Chaves, Raquel Marques. *Mechanical Properties of Recycled Polymers after 3D Printing*. 2019. Master's Thesis.
4. Van De Werken, Nekoda, et al. Investigating the effects of fiber surface treatment and alignment on mechanical properties of recycled carbon fiber composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2019, 119: 38-47.
5. Khan, M. M. K., et al. Rheological and mechanical properties of ABS/PC blends. *Korea-Australia Rheology Journal*, 2005, 17.1: 1-7.
6. Verma, Nandishwar; Banerjee, Shib Shankar. Development of material extrusion 3D printable ABS/PC polymer blends: Influence of styrene–isoprene–styrene copolymer on printability and mechanical properties. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 2023, 62.4: 419-432.
7. Pelto, Jani, et al. Compatibilized PC/ABS blends from solvent recycled PC and ABS polymers from electronic equipment waste. *Polymer Testing*, 2023, 120: 107969.

## **ОЗДОБЛЮВАЛЬНІ ПОКРИТТЯ НА ВОДНІЙ ОСНОВІ: ЕКОЛОГІЧНІ, ЕКОНОМІЧНІ І ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ**

**ВП ПЛАВАН, АІ КОЛОДІЙ, ДМ БОЙЧУК**  
*Київський національний університет технологій та дизайну,  
вул. Мала Шияновська 2, м. Київ, 01011*

Основною метою розробки нових оздоблювальних покриттів на водній основі є подальше підвищення ефективності процесів нанесення при дотриманні все більш суворих екологічних вимог за умови збереження якості покриття. Хорошою альтернативою можуть стати уретанізовані дисперсії із зменшеним вмістом діізоціанатів чи так звані гібриди поліуретану та поліакрилату.

*Ключові слова:* оздоблювальні покриття, поліуретани, уретанізовані покриття, поліуретанові дисперсії.

Основною метою подальшої розробки нових оздоблювальних покриттів з високим вмістом сухої речовини та без органічних розчинників є подальше підвищення ефективності процесів нанесення покриттів при дотриманні все більш суворих екологічних вимог за умови збереження якості покриття.

Водорозчинні поліуретанові покриття (PUR) існують на ринку вже понад 40 років. За цей час було виявлено, що сучасні покриття PUR на водній основі принаймні відповідають своїм аналогам на основі розчинників, а за певних обставин навіть перевершують їх [1].

Поліуретанові дисперсії (PUD) – це уретанові полімери, дрібно дисперговані у воді, які використовуються як в однокомпонентних складах на водній основі, так і в двокомпонентних системах. На відміну від органічного розчину, молекулярна маса PUR, диспергованих у воді, не впливає на в'язкість, що означає, що дуже високі молекулярні маси можуть застосовуватися при низькій в'язкості. Залежно від будови PUR, дисперговані частинки можуть бути м'якими або твердими, мати сферичну форму або відносно широкий бімодальний розподіл розмірів частинок, який зазвичай знаходиться в діапазоні 100-600 нм. За розміру частинок вище приблизно 1000 нм дисперсія стає нестабільною і проявляє

тенденцію до седиментації. Вміст сухої речовини в більшості PUD становить 35-50% [1].

PUD створюються за допомогою процесів полімеризації та мають фундаментальну первинну структуру ( $\cdots\text{--A--B--A--B--A--}\cdots$ ), де м'які сегменти А складаються з полієфірів, полікарбонатів або їх сумішей. З часткою 50% маси полімеру, вони значно впливають на властивості отриманих покриттів. Жорсткі сегменти Б складаються з аддуктів діізоціанатів і коротколанцюгових діолів та/або діамінів і утворюють мікродомени в матриці м'якого сегмента через водневі містки. Вони сприяють стійкості та міцності/еластичності отриманих полімерних плівок. Вміст діізоціанату в полімері зазвичай становить близько 20% за вагою.

Замість включення гідрофільних сегментів у полімерний ланцюг можна також використовувати зовнішні емульгатори для стабілізації дисперсії. Залежно від області застосування, вони також можуть мати негативний вплив через міграцію, запотівання або відшарування від основи.

Широкий вибір діольних компонентів у поєднанні з різними ізоціанатами плюс багато варіацій у подовженні ланцюга означає, що існує величезна різноманітність можливих продуктів. PUD використовуються, наприклад, як сполучні речовини для отримання гнучких водорозчинних поліуретанових покриттів, зокрема, для металевих, дерев'яних і пластикових поверхонь; у рецептурах для обробки шкіри, текстилю; у друкарських фарбах і клеях, а також для виготовлення медичних рукавичок методом коагуляції.

Алкідні смоли, олігомери, що твердіють під дією ультрафіолетового випромінювання, полієфіри та епоксидні смоли можуть бути перетворені в полімери, що диспергуються у воді так само, як і у виробництві PUD. Мета полягає в тому, щоб зберегти гідроксильні, карбоксильні функціональні групи, окислювально висихаючі подвійні зв'язки C=C та

інші. Частка діізоціанату в таких продуктах значно нижча, ніж у PUR, але вміст уретану робить сприятливий вплив у вигляді покращеної абразивності, гнучкості та інших властивостей. Часто ці продукти також відомі як поліуретанові дисперсії, хоча їх слід правильно називати *уретанізованими дисперсіями* [2].

Уретанові групи також додаються для підвищення стійкості до стирання акрилатних дисперсій. Так звані гібриди поліуретану та поліакрилату (PUR-PAC) виробляються шляхом емульсійної полімеризації акрилатних мономерів у попередньо підготовленій дисперсії PUR. Такі вироби використовуються, наприклад, в покритті паркетної підлоги.

Протягом багатьох років розробка двокомпонентних PUR на водній основі вважалася технічно неможливою. У 1989 році компанія Bayer AG зареєструвала перший патент, у якому поліізоціанат був доданий разом з ОН-функціональною дисперсією акрилату для отримання готової до використання двокомпонентної водної суміші [3]. Відтоді покриття постійно вдосконалювалися [4]. Чим дрібніше може бути диспергований поліізоціанат, тим краща якість плівки покриття щодо блиску та вирівнювання. Додавання емульгаторів до поліізоціанатів також полегшує диспергування, але має певні недоліки і тому не вважається оптимальним технічним рішенням.

Водорозчинні двокомпонентні поліуретанові покриття сьогодні можна знайти практично у всіх сферах застосування, наприклад, в автомобільному, меблевому та паркетному секторах. У покриттях, де висуваються високі вимоги до еластичних властивостей (наприклад, для покриття пластмас), використовуються ОН-функціональні дисперсії PUR. ОН-функціональні акрилатні вторинні дисперсії з вмістом ОН 2-5% зазвичай використовуються для фінішних покриттів, наприклад, для обробки металу та дерева [5]. Однокомпонентні уретанізовані алкідні смоли та гібриди PUR-PAC на водній основі відомі своєю чудовою стійкістю до стирання і гнучкістю та використовуються як у прозорих

покриттях для паркетної підлоги, так і в пігментованих покриттях для меблів та дерев'яних віконних рам [6].

Покриття для текстилю наноситься, щоб поліпшити його експлуатаційні та естетичні властивості [7]. Це стосується як одягу, так і технічного текстилю та виробів із синтетичної шкіри. Приклади включають текстурування, тиснення, фарбування, захист від води та вітру, стійкість до стирання, об'єм, проникність для водяної пари та газів і хімічну стійкість. В одязі та синтетичній шкірі комфорт при носінні є основною метою, але в технічному текстилі іноді саме покриття створює цільову функцію. Це стосується, наприклад, конвеєрних стрічок і спортивних товарів.

Поліуретани, ПВХ пластизолі, поліакрилати використовуються у великих масштабах для покриття текстилю. У той час як пластизолі ПВХ за своєю природою містять пластифікатори, які можуть вивільнятися в навколишнє середовище, поліакрилати мають дуже вузький температурний діапазон, у якому вони є гнучкими без липкості. Якщо потрібна постійна стійкість до змінання при низьких температурах, поліуретан є практично єдиним матеріалом, який відповідає цій вимозі. Основні методи, які використовуються в текстильній промисловості, вимагають майже виключно однокомпонентних рецептур. Розробка поліуретанових дисперсій на водній основі, які дозволяють використовувати їх повністю без розчинників, покращує викиди та включає такі високоефективні елементи як полікарбонатні діюли та гідрофобні поліефіри [8]. Останні розробки стосуються дрібнодисперсних РUD із вмістом твердих частинок до 60%, які демонструють дуже високу ефективність застосування [9]. Ефективні процеси нанесення, усунення розчинників і високоякісні властивості – це вимоги до стійкого покриття текстилю, які сьогодні можуть бути виконані за допомогою сучасних поліуретанових систем на водній основі.

## Висновки

Сучасні оздоблювальні покриття на водній основі, зокрема поліуретанові, не тільки відповідають своїм аналогам на основі розчинників, а за певних обставин навіть перевершують їх. Поліуретанові дисперсії використовуються як в однокомпонентних складах на водній основі, так і в двокомпонентних системах для металевих, дерев'яних і пластикових поверхонь; у рецептурах для обробки шкіри, текстилю. Хорошою альтернативою можуть стати уретанізовані дисперсії на основі алкідних смол, олігомерів, що твердіють під дією ультрафіолетового випромінювання, поліефірів і епоксидних смол із зменшеним вмістом діізоціанатів чи так звані гібриди поліуретану та поліакрилату. Поліуретан-поліакрилатні дисперсії активно використовуються для покриттів текстильних матеріалів, що не тільки дозволяє уникнути органічних розчинників, а й забезпечує відмінні властивості.

## Література

1. Avar, G., Meier-Westhues, U., Casselmann, H. and Achten, D. *Polyurethanes*; Germany Bayer Material Science AG: Leverkusen, 2012.
2. Wicks, Z. W. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 2002; 2, p. 164.
3. Kubitza, W.; Gruber, H.; Probst, J. Coating masses, process for their preparation and the use of selected two-component polyurethane systems as binding agents in this kind of coating masses. European Patent 358979, 1989 (Bayer).
4. Sonntag, M. Aqueous two-pack polyurethane (2K-PUR) coatings for automotive refinish and commercial vehicles. *Surface Coatings International*. **1999**, 82, 456–459. <https://doi.org/10.1007/BF02692650>
5. Irfab Multi-client Studies: Global Industrial Coatings Markets 2006–2020; The Paint Research Association: Hampton, UK 2008, 12, 64. <https://www.yumpu.com/en/document/read/9422876/global-industrial-coatings-markets-2010-2020-the-paint->

6. Wilke, G.; Ortmeier, J. *Kunststoffbeschichtung, Aktuell, Kompakt, Praxisnah*; Vincentz Network GmbH & C: Hannover, Germany, 2009.
7. Engels, H.-W., Pirkel, H.-G., Albers, R., Albach, R. W., Krause, J., Hoffmann, A., ... Dormish, J. (2013). *Polyurethanes: Versatile Materials and Sustainable Problem Solvers for Today's Challenges. Angewandte Chemie International Edition*, 52(36), 9422–9441. doi:10.1002/anie.201302766
8. Meier-Westhues, U., Danielmeier, K., Kruppa, P. *Polyurethanes – Coatings, Adhesives and Sealants*, Vincentz Network GmbH & C: Hannover, 2007.
9. T. Michaelis, H. Casselmann, *Eur. Coat. J.* 2009, 2, 38 – 41.

## **ГІБРИДНІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ КОНДЕНСАТОРИ НАДВИСОКОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЄМНОСТІ**

**АО ВЕРЕЩАК, ДВ ПАТЛУН, ВГ ХОМЕНКО**

*Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала  
Шияновська 2, м. Київ, 01011, dimapatlun@gmail.com*

Розроблено гібридний електрохімічний конденсатор надвисокої електричної ємності з використанням органічного електроліту та комерційних зразків графіту та активованого вугілля. У роботі було досягнуто гравіметричну щільність енергії 90 Вт·год/кг. Одержане значення енергії в 15 разів вище, ніж для симетричних конденсаторів, виготовлених з того ж активованого вугілля.

### **Вступ**

У порівнянні з різними накопичувачами енергії, акумулятори демонструють найвищу щільність енергії (150–200 Вт·год/кг), та максимальну потужність до 1000 Вт/кг [1]. Однак вони мають обмежений ресурс експлуатації (зазвичай менше 2 тис. циклів). З іншого боку, електрохімічні конденсатори на основі активованого вугілля, так звані суперконденсатори, мають суттєво довший термін служби (зазвичай майже 1 млн. циклів) та дуже високу питому потужність (понад 1000 Вт/кг), але меншу щільність енергії (до 10 Вт·год/кг), ніж акумулятори [2].

Кількість електричної енергії, накопиченої в електрохімічному конденсаторі, пропорційна ємності матеріалу електрода і квадрату робочої напруги. Оскільки робоча напруга обмежена розкладанням електроліту, багато досліджень зосереджені на використанні органічних електролітів так як вони дозволяють збільшити робочу напругу до 3 В. Як правило, симетричний електрохімічний конденсатор має ідентичні електроди. Щоб збільшити щільність енергії, зберігаючи при цьому тривалий термін експлуатації та здатність до швидкого заряджання, були розроблені асиметричні елементи, що складаються з різних типів позитивних і негативних електродів. Дуже цікаві результати були досягнуті з гібридною конфігурацією, що поєднує один електрод з активованого вугілля та інший з акумулятора [1-3].

Ідея даної роботи полягає в тому, щоб розробити гібридну систему використовуючи доступні комерційні матеріали, а саме, графіт і активоване вугілля як негативний і позитивний електродний матеріал відповідно.

### **Матеріали та методи**

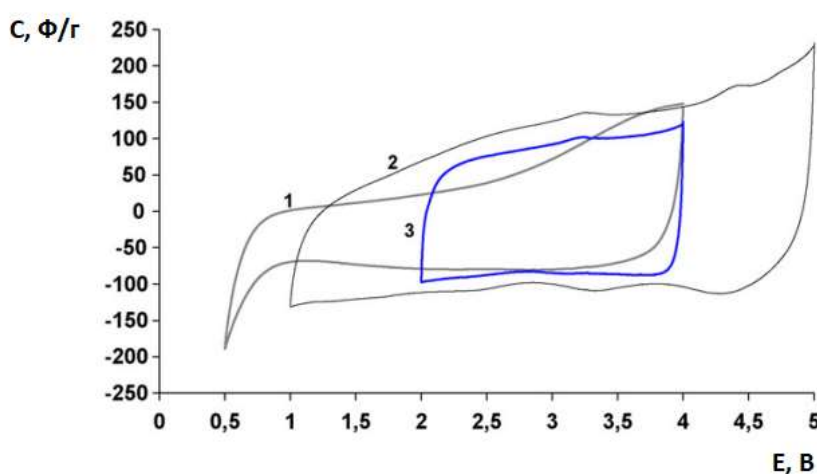
У роботі використане комерційне активоване вугілля марки SUPER 50 компанії Norit, та графіт марки SLP-30 компанії TIMCAL Graphite & Carbon. Електроди було виготовлено за процедурою, яка використовується в промисловості літій-іонних акумуляторів. Активні матеріали спочатку змішано із 5–10 мас.% ПВДФ, розчиненого в N-метилпіролідоні. Цю суміш наносили на металеву фольгу товщиною 18 мкм. Для електродів на основі графіту використано мідну фольгу, а для активованого вугілля алюмінієву фольгу. Після випаровування розчинника електроди висушено при 120 °C під первинним вакуумом.

Конденсатори з двома електродами виготовлено зі скловолокнистим сепаратором за допомогою комірок типу Swagelok®. Досліджено два електролітичні розчини: 1 моль/л Et<sub>4</sub>NBF<sub>4</sub> в ацетонітрилі (AN) та 1 моль/л LiPF<sub>6</sub> у суміші етиленкарбонату (EC) і диметилкарбонату (DMC).

### **Результати**

Досліджуючи ідею гібридної конфігурації конденсатора, де негативний електрод працюватиме як інтеркаляційна сполука Li, електрохімічні характеристики активованого вугілля було досліджено з використанням органічного електроліту на основі літію (1 моль/л LiPF<sub>6</sub> в EC/DMC). На рисунку 1 показано циклічні вольтамперограми, отримані з різними діапазонами потенціалів у триелектродній комірці, де активоване вугілля є робочим електродом, а металевий Li використовується як електрод порівняння та протиелектрод. У діапазоні від 2,0 до 4,0 В отримана прямокутна вольтамперограма, що типова для зарядки подвійного шару. Якщо діапазон потенціалів розширено до потенціалів, менших за 1,0 В відносно літію, наприклад, до 0,5 В, відгук струму буде іншим. Як показано на рисунку 1, така

поляризація призводить до зменшення питомої ємності активованого вугілля. При потенціалах менше 1 В електроліт розкладається і пасивна плівка твердого електроліту (S.E.I.) утворюється на поверхні активованого вугілля, як це відбувається на негативному електроді літій-іонної акумулятора під час формування. Схоже, продукти S.E.I. блокують пори активованого вугілля, обмежуючи подальший доступ іонів електроліту до активної поверхні. В позитивному діапазоні поляризації межа незворотних процесів спостерігалася лише вище 5,0 В відносно літію. Таким чином електроліт стабільний при потенціалі 5 В.



**Рисунок 1** — Циклічні вольтамперограми активованого вугілля Super 50 у триелектродній комірці при швидкості розгортки потенціалу 5 мВ/с з використанням 1 моль/л  $\text{LiPF}_6$  в EC/DMS в якості електроліту. Діапазон потенціалів циклування: (1) 0,5–4,0 В; (2) 1,0–5,0 В; (3) 2,0–4,0 В

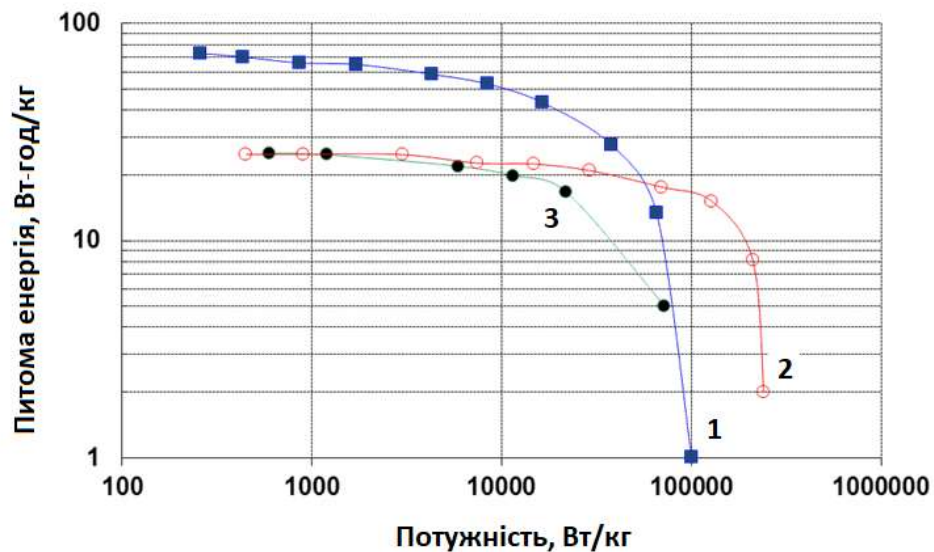
З рисунку 1 також добре видно, що ємність збільшується зі збільшенням діапазону сканування ЦВА. В діапазоні потенціалів від 1,0 до 5,0 В, навіть якщо вольтамперограма стає далекою від ідеальної, оборотна зарядно-розрядна ємність вища, ніж в діапазоні від 2,0 до 4,0 В. Інтегрування ЦВА у вузькому (2,0–4,0 В) та широкому (1,0–5,0 В) діапазоні потенціалів дозволяє оцінити значення питомої ємності. Відповідно до розрахунків питома ємність активованого вугілля, становлять 85 і 115 Ф/г в вузький і широкий діапазон потенціалу відповідно. Отже, робочий діапазон потенціалу для активованого

вугілля повинен бути вищим за 1,0 В і нижчим за 5,0 В відносно літійового електрода порівняння.

Відповідно до інформації, отриманої вище, гібридна конфігурація електрохімічного конденсатора розроблена з використанням 1 моль/л  $\text{LiPF}_6$  у EC/DMS 1:1 шляхом поєднання графіту (SLP 30) та активованого вугілля (Super 50) як негативного та позитивного електродів відповідно. Щоб забезпечити високу щільність енергії з таким гібридним конденсатором, масу електродів збалансували таким чином, щоб повністю використовувати ємність обох матеріалів у діапазоні їх циклування. При розрахунках враховували, що питома ємність активованого вугілля становить близько 90 Ф/г, що відповідає питомій ємності  $\sim 75 \text{ mA} \cdot \text{год/г}$  в діапазоні потенціалів від 2,0 до 5,0 В. Питома ємність графіту становить близько 360  $\text{mA} \cdot \text{год/г}$ . Таким чином, щоб отримати однакову ємність позитивного і негативного електродів, масове співвідношення активоване вугілля/графіт повинно бути близьким до 5:1. Після заряджання гібридного конденсатора, побудованого з таким співвідношенням, графітовий негативний електрод буде повністю інтеркальований літієм, тоді як позитивний електрод буде заряджатися-розряджатися в діапазоні потенціалів від 2,0 до 5,0 В.

На рисунку 2 наведена діаграма Рагона, де питому енергію та середню питому потужність оцінювали за результатами характеристик гальваностатичного розряду при густині струму від 100  $\text{mA/г}$  до 100  $\text{A/г}$  для гібридного та двох симетричних суперконденсаторів, зібрані з однаковою масою електродів. Ці дані наочно демонструють, що питома енергія гібридного суперконденсатора (крива 1) в кілька разів вище, ніж будь-якого з симетричних конденсаторів. Як видно з рисунку 2, гібридний конденсатор має максимальну енергію 90  $\text{Вт} \cdot \text{год/кг}$  у діапазоні напруги від 1,5 В до 5 В і може досягати максимальної потужності понад 10  $\text{kВт/кг}$ . Очевидно, що гібридний конденсатор перевершує обидва симетричні конденсатори з точки зору питомої енергії в діапазоні потужності їх перезаряду до 100  $\text{kВт/кг}$ . Результати випробовування показують, що гібридний суперконденсатор є більш цікавим,

ніж симетричні конденсатори з точки зору щільності енергії. Гібридний конденсатор забезпечує щільність енергії в 15 разів вищу ніж звичайні симетричні конденсатори на основі активованого вугілля.



**Рисунок 2** – Діаграма Рагоні для гібридного конденсатора (1) з електролітом - 1 моль/л  $\text{LiPF}_6$  в EC/DMC та симетричних конденсаторів з використанням 1 моль/л  $\text{Et}_4\text{NBF}_4$  в AN (2) та 1 моль/л  $\text{LiPF}_6$  в EC/DMC (3) в якості електролітів

Завдяки використанню тих самих графітових матеріалів, що й у технології літій-іонних акумуляторів, гібридні конденсатори можуть конкурувати з акумуляторами без істотного збільшення їх вартості.

### Література

1. Aqib Muzaffar, M. Basheer Ahamed, Kalim Deshmukh, Jagannathan Thirumalai, A review on recent advances in hybrid supercapacitors: Design, fabrication and applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 2019, 123-145, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.026>.
2. Sujata Mandal, Jiyao Hu, Sheldon Q. Shi, A comprehensive review of hybrid supercapacitor from transition metal and industrial crop based activated carbon for energy storage applications, *Materials Today Communications*, 34, 2023, 105207, <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.105207>.
3. Khalid, M. A Review on the Selected Applications of Battery-Supercapacitor Hybrid Energy Storage Systems for Microgrids. *Energies*, 12, 2019, 4559. <https://doi.org/10.3390/en12234559>

## **РЕАЛІЗАЦІЯ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ НА КОРПОРАТИВНОМУ РІВНІ ТА ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА ПОЛІТИКА**

**АО КАСИЧ**

*Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала Шияновська 2,  
Київ, 01011, kasich.ao@knutd.edu.ua*

Загострення глобальних екологічних проблем актуалізує завдання реалізації цілей сталого розвитку (ЦСР) на всіх рівнях суспільства: міжнародному, національному та корпоративному [1].

На глобальному рівні для фінансування ЦСР, за даними ЮНКТАД, щорічно необхідно 5-7 трильйонів доларів США) [2]. Відповідно існує загальний дефіцит фінансування ЦСР через дефіцит державного фінансування та фінансові обмеження підприємств. За даними Bloomberg, вартість глобальних активів у поєднанні з критеріями ESG до 2025 року перевищить 53 мільярди доларів США. Цей процес досить динамічний, оскільки активи ESG становили 22,8 у 2016 році та 30,6 трильйонів доларів США у 2018 році [3].

Корпорації мають ставати дедалі активнішими учасниками реалізації ЦСР, оскільки, орієнтуючись на стійкі економічні результати, вони порушують баланс навколишнього середовища та є основними забруднювачами. Так, на 224 компанії припадає 72% річних глобальних промислових викидів парникових газів [4]. Крім того, питання управління сталим розвитком залишаються поза увагою в багатьох інших компаніях. Тому вивчення позитивного досвіду провідних корпорацій має велике наукове і практичне значення.

У контексті прискорення переходу до сталої моделі розвитку через корпоративні ініціативи створено World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)[5] – організації, яка об'єднує трансформаційні організації (понад 200 провідних компаній), які координують зусилля для забезпечення успіху та сталого розвитку, щоб сформувати глобальну спільноту, яка змінює системи для кращого майбутнього.

Діяльність компаній-лідерів щодо досягнення ЦСР набуває комплексних характеристик і здійснюється, в тому числі через зарубіжні підрозділи у глобальному масштабі. Ця діяльність включає набір проектів, які сприятимуть освіті екологічно відповідального суспільства, що приносить користь біорізноманіттю (від розвитку людських навичок у гармонії з природою та розвитку освіти з питань біорізноманіття до сприяння місцевій взаємодії та створення відповідального суспільства) [6].

Успіх Порядку денного до 2030 року [7] залежить від використання інструментів управління корпораціями економічними, соціальними та екологічними аспектами, функціонуванням територій і міст, а також орієнтацією суспільства в цілому. Стаття [8] пропонує комплексне дослідження просування цілей сталого розвитку. Автори вказують на наявність значних прогалин у поточних дослідженнях і наголошують на необхідності застосування системного мислення для досягнення ЦСР.

У статті [9] автори підсумовують виклики та перешкоди для впровадження ЦСР та пропонують практико-орієнтований підхід, окреслюючи ключові виклики для науковців щодо сталого розвитку.

Системний підхід до реалізації ЦСР та інструменти його застосування запропоновано в праці [10]. Загалом бачення авторів базується на визначенні пріоритетів ЦСР та мобілізації наявних ресурсів. На цій основі пропонується дослідити передовий досвід формування екологічної відповідальності та розробки відповідних стратегій. У роботі [11] наголошується на необхідності глибоких досліджень із узагальненням ефективних практик, а також систематичних досліджень конкретних заходів щодо впровадження ЦСР у бізнес-школах.

Таким чином, дослідження процесів реалізації ЦСР має ґрунтуватися на багаторівневих, інтегрованих, системних підходах і фокусуватися на поширенні позитивного досвіду та ефективних практик.

Боффо Р. та Паталано Р. [12] зазначають, що, незважаючи на прогрес у впровадженні ЦСР, існує потреба в активізації подальших зусиль політиків, інвесторів та всіх зацікавлених сторін. Багато компаній все ще занадто поверхово ставляться до цілей сталого розвитку. Тому, як

зазначено в [13], досягнення Порядку денного до 2030 року потребує більш суттєвих змін у поведінці бізнесу, у державній політиці держав. У майбутньому важливо застосовувати новий спосіб мислення щодо екологічної відповідальності бізнес-структур. Він вимагає цілісного підходу до взаємодії з цілями сталого розвитку, в якому мають трансформуватися всі внутрішні підсистеми. Ключовим питанням тут є стійке фінансування [12], яке значно зросло за останні роки, але показники доходів були нестабільними, що викликало сумніви щодо реального впливу ЦСР на продуктивність.

Корпоративне управління має певний досвід у досягненні ЦСР та формуванні сталого фінансового забезпечення процесів екологізації. Проте це дослідження спрямоване на узагальнення досвіду автомобільних компаній, і воно є доречним з кількох причин.

1. На навколишнє середовище суттєво впливає не лише виробнича діяльність автомобільних компаній, а й їхня продукція. 15% загальних викидів CO<sub>2</sub> забезпечує транспорт, зокрема автомобіль [14].

2. За оцінками експертів International Energy Agency (IEA) [15] до 2070 року спостерігатиметься подвоєння світового транспорту (у пасажиро-кілометрах) і збільшення кількості автовласників на 60% через зростання населення та доходів. Таке зростання попиту може бути компенсовано виключно за рахунок зменшення викидів від пасажирських транспортних засобів, тобто за рахунок технологічних інновацій і збільшення виробництва електромобілів.

3. Орієнтація світової енергетики на досягнення нульових викидів CO<sub>2</sub> до 2070 р. (за сценарієм IEA [15]) передбачає поступове припинення викидів усіх типів транспортних засобів. Хоча до 2070 року викиди від деяких типів транспортних засобів не будуть повністю ліквідовані, очікується їх значне скорочення в багатьох регіонах світу [16].

4. Автомобільні компанії є досить активними та одними з перших розпочати масштабне впровадження ЦСР на корпоративному рівні, про що свідчить порівняння динаміки виробництва та викидів CO<sub>2</sub> на одиницю продукції. Так, відбулося поступове зниження кількості викидів CO<sub>2</sub> на

одиницю продукції (на 4,15% на рік) порівняно зі зростанням виробництва автомобільної промисловості протягом 2009-2018 років (на 5% на рік) [16].

Це означає, що збільшення виробництва автомобілів, яке зазвичай спостерігається в усьому світі, частково пов'язане зі збільшенням виробництва екологічно чистіших автомобілів. Таким чином, це вказує на загалом позитивну тенденцію щодо реалізації ЦСР автомобільними компаніями.

Деякі компанії, що представляють автомобільну галузь, є лідерами ринку та задають тренди в суспільному баченні поширення концепції сталого розвитку [17]. Уряди, споживачі та інвестори також підштовхують автомобільні компанії до зміни технологій, продуктів і культури в контексті повної трансформації цілей сталого розвитку в стратегічні пріоритети розвитку галузі в цілому.

Вибір досліджуваних підприємств ґрунтується на їх значущості на світовому автомобільному ринку. Ключовими гравцями світової автомобільної промисловості є Volkswagen AG (Німеччина), Toyota Motor Corporation (Японія), General Motors (США), Ford Motor Company (США), Nissan Motor Corporation (Японія), Fiat Chrysler Automobiles (США) та інші.

Не претендуючи на вивчення всіх факторів, ми зосередимося на визначенні важливості формування ефективної системи управління фінансами для реалізації ЦСР на досвіді зазначених вище автомобільних компаній.

У роботі [12] розкриваються характеристики сталого фінансування. Автори зазначають, що інвестиції на реалізацію цілей сталого розвитку визначаються прагненням інвесторів не тільки отримати економічні результати від таких інвестицій, а й зробити позитивний вплив на довкілля.

Інвестиції та інновації є ключовими факторами прогресу в розвитку бізнесу, а тому реалізація ЦСР потребує врахування цих акцентів у процесі управління. Бізнес потребує нових інноваційних підходів до вирішення актуальних екологічних проблем, які корелюють з ЦСР [18]. Вирішення

існуючих проблем і викликів залежить від інвестиційної активності підприємств, тобто від їх здатності на постійній основі продукувати інновації. Стійкі інновації дуже важливі, оскільки реалізація ЦСР може призвести до погіршення фінансових результатів і фінансової нестабільності. Це, у свою чергу, може значно обмежити спроможність підприємств фінансувати інвестиції та інновації, а відтак і ефективність у сфері екологічної відповідальності. Ті ж компанії з нестабільними фінансовими результатами не мають можливості підтримувати належне фінансове забезпечення екологічних цілей. Іншими словами, стабільний фінансовий стан, стійкі інвестиції є основою реалізації ЦСР [19]. Тому включення ЦСР у систему управління фінансами є актуальним і потребує дослідження.

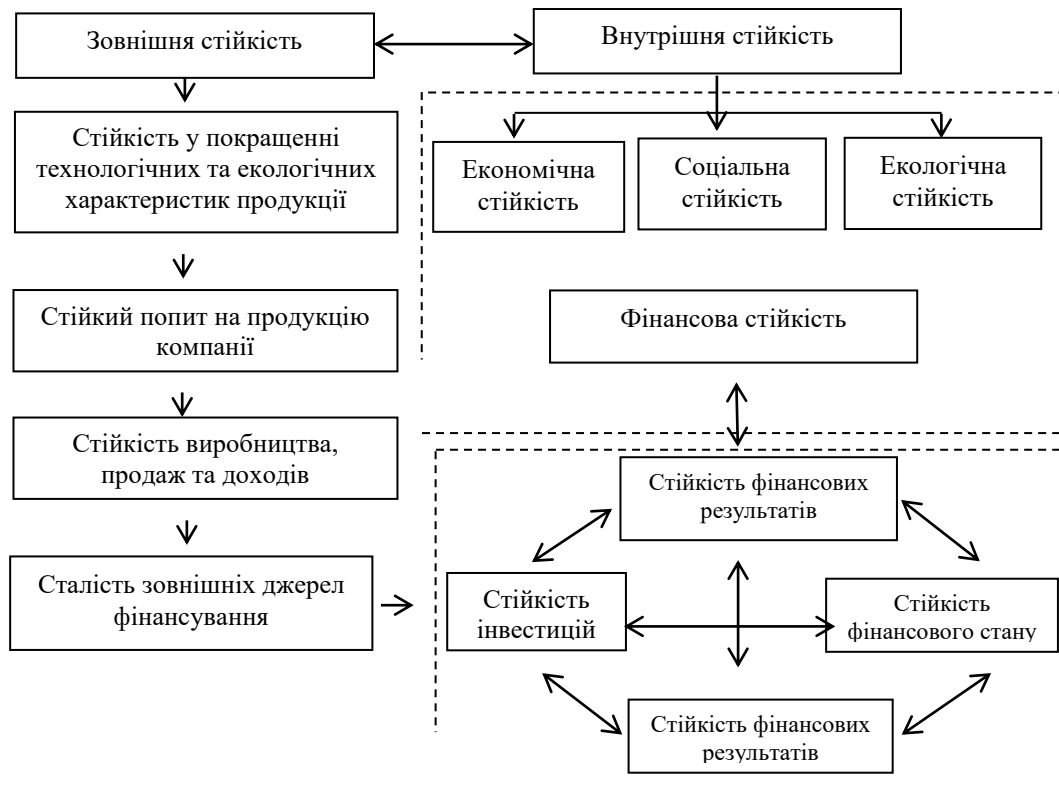
Зважаючи на все вищевикладене, дане дослідження сталого розвитку та фінансової стійкості на прикладі автомобільних корпорацій матиме як науково-теоретичне, так і практичне значення.

Це дослідження має на меті вивчити процеси фінансової підтримки реалізації ЦСР автомобільними корпораціями з точки зору ідентифікації проблем, тенденцій і позитивного досвіду.

Враховуючи основну мету статті, вважаємо за необхідне вирішити наступні конкретні завдання: узагальнити наукові погляди вчених на проблеми сталого розвитку та їх аналіз; дослідити найкращі практики управління та фінансування ЦСР на прикладі автомобільних компаній.

Питання методологічного забезпечення аналізу сталого розвитку підприємств, з одного боку, має потужне підґрунтя у вигляді ряду робіт [20-26], з іншого боку, проблема забезпечення стабільного функціонування підприємства важко передбачити, оскільки це викликано зовнішніми факторами, які важко регулювати. У сучасних умовах відбувається подальше ускладнення зовнішнього середовища з точки зору викликів, відповідно методика аналізу сталого розвитку бізнесу, виявлення ключових факторів сталого розвитку залишається актуальною, а акцент на фінансовій стабільності є цілком логічним.

1. Логічна основа методики. Необхідно сформулювати структурно-логічну схему причинно-наслідкових зв'язків між ключовими складовими стійкості та їх впливом на фінансову стійкість з метою обґрунтування можливого алгоритму аналізу стійкості розвитку підприємства, який би поєднував переваги існуючих методичних підходів та дозволяв реальне дослідження, особливо з наголосом на фінансових аспектах (рис. 1).



**Рисунок 1** – Стійкість в координатах різних її видів  
(Джерело: розроблено авторами)

Умовою забезпечення сталого розвитку з точки зору екологічних, економічних і соціальних цілей є розвиток внутрішнього потенціалу підприємства вимогами зовнішнього середовища. Вирішальною передумовою для досягнення цілей сталого розвитку є сталий технологічний розвиток компанії, який є основою їх здатності забезпечувати сталий розвиток інноваційного потенціалу та оновлення продукції.

Якщо ринок характеризується стабільною динамікою попиту, то виробник може сподіватися на стабільні продажі, а отже, і стабільне виробництво. Сталість продажів дозволяє компанії отримувати стабільний дохід і забезпечує фінансову стабільність. Базуючись на достатньому рівні фінансової стійкості, підприємство орієнтується на досягнення повного

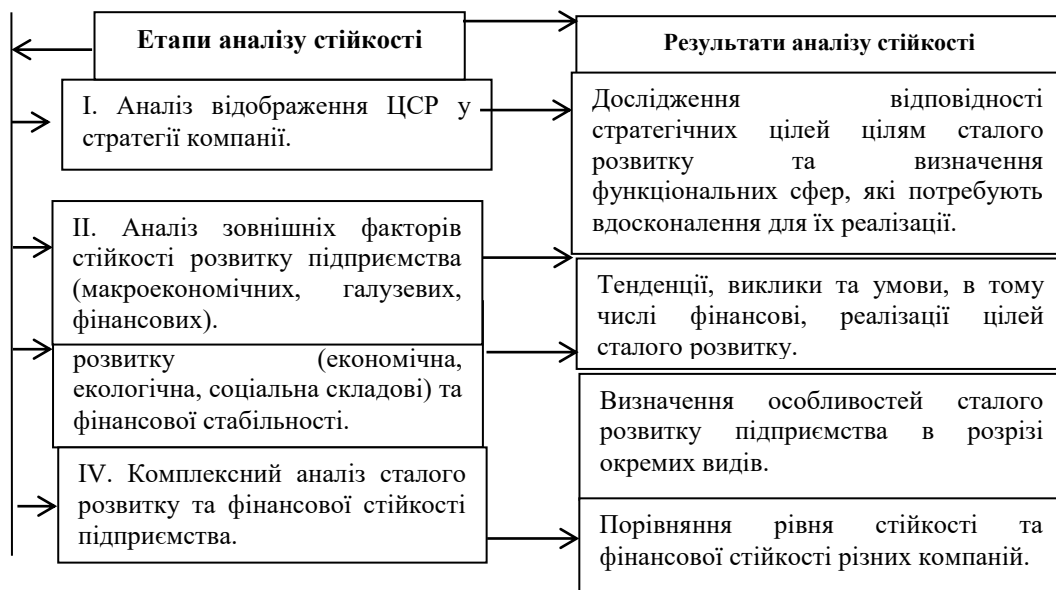
комплексу цілей і фінансує їх на необхідному рівні. Сталий розвиток як розвиток економічного, екологічного та соціального векторів дозволяє на регулярній основі отримувати покращені характеристики продукту, а отже, задовольняти споживчий попит або навіть формувати його.

У цьому дослідженні автори зосереджені на визначенні фінансової стабільності через стійкість виробничої діяльності. Інші джерела фінансових ресурсів, такі як позики та державні позики, не враховуються.

Зосередженість на цілях сталого розвитку, які розглядаються в цій статті в рамках управління сталим розвитком з акцентом на корпоративні фінанси, вимагає відокремлення інтегрованих методів сталого розвитку підприємства: аналізу стійкості фінансових ресурсів та аналізу стійкості інвестицій. фінансової діяльності.

Метою аналізу впливу ЦСР на корпоративні фінанси є визначення спроможності компанії забезпечувати достатнє фінансування для реалізації всього комплексу ЦСР та оцінка результатів цих дій з точки зору економічних, екологічних та соціальних характеристик.

Комплексне розуміння поняття «сталий розвиток» дозволяє окреслити основні напрямки аналізу та розглянути фінансовий аспект шляхом виділення додаткових важливих моментів (рис. 2).



**Рисунок 2** – Етапи аналізу сталого розвитку підприємства з акцентом на фінансову стійкість (Джерело: розроблено авторами)

Акцент на фінансовій стійкості зумовлює необхідність конкретизації її складових при формуванні аналітичної інформації та визначенні суттєвих тенденцій.

Здатність підприємства формувати стабільні фінансові ресурси за рахунок внутрішніх і зовнішніх джерел дозволяє здійснювати стійкі інвестиції, що в цілому характеризує фінансовий стан підприємства як стабільний, і в кінцевому підсумку дозволяє отримати стабільні фінансові результати.

Таким чином, концепція сталого розвитку компанії нерозривно пов'язана з її фінансовим потенціалом, оскільки набутий потенціал і можливості його збільшення є практичною основою для відновлення стану рівноваги в процесі розвитку.

Для забезпечення повного аналізу сталого розвитку необхідно систематизувати показники, які сформують відповідну інформаційну базу. Оскільки кількісна оцінка екологічної та соціальної стійкості та навіть порівняння з економічною складовою є складним процесом, використовують індикатори з різними показниками. Крім того, існує суттєва проблема формування набору уніфікованих індикаторів сталого розвитку, оскільки вимоги до Звітності зі сталого розвитку відсутні, а компанії, які складають таку звітність, самостійно визначають перелік індикаторів та одиниці їх вимірювання.

Питання систематизації індикаторів сталого розвитку детально розкрито в роботах [20-23], в яких автори навели повний перелік індикаторів. Різні компанії використовують досить широкий спектр індикаторів і міжнародних агентств; однак існує проблема уніфікації набору показників та їх порівнянності. У цьому дослідженні ми обмежуємося тими показниками, які найчастіше використовують більшість досліджуваних автомобільних компаній і тому дозволяють аналізувати.

Оскільки ми розглядаємо цілі сталого розвитку та кількісні показники, що їх характеризують, у порівнянні з фінансовою стійкістю набір показників слід розширити за рахунок: показників, що характеризують стабільність фінансових ресурсів, інвестиційної стійкості, фінансової стійкості, стабільності фінансових ресурсів. результати. Ці

показники формуються на основі існуючих методів аналізу фінансової стійкості [27-30].

Така система показників має стати ефективним інструментом управління стійкістю підприємства та давати комплексне уявлення про фінансовий стан, ефективність організації, використання сучасної техніки та технологій, використання ринкової позиції для досягнення стратегічних і тактичних цілей розвитку. Аналіз показників дозволяє визначити вихідну ситуацію на підприємстві, сильні сторони в порівнянні з конкурентами, обґрунтувати напрямки досягнення поставлених стратегічних цілей. Для аналізу стабільності авторами систематизовано та введено перелік основних показників (табл. 1).

**Таблиця 1** – Основні показники ефективності комплексної оцінки сталого розвитку

| Економічна стійкість                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Соціальна стійкість                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Екологічна стійкість                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Загальний обсяг продажів (млн. одиниць)<br>Виробництво транспортних засобів (зведене)<br>Відсоток ринку<br>Дохід<br>Активи<br>Основні фонди, % активів<br>Нематеріальні активи, % активів<br>Продуктивність<br>Коефіцієнт активів<br>Капітальні інвестиції, % від доходу<br>Витрати на НДДКР, % від доходу | Співробітники<br>Чоловіки/Жінки<br>Вищі керівні посади (чоловіки/жінки)<br>Загальна зарплата<br>Новоприйняті працівники<br>Середній стаж роботи<br>Загальна плінність<br>Співвідношення основної заробітної плати та винагороди жінок і чоловіків (лише базова заробітна плата)<br>Співробітники, які відчувають особистісне зростання<br>Загальні витрати на соціальні внески | Енергоспоживання виробництва (абсолютне) (Електроенергія, Тепло, Паливні гази)<br>Споживання енергії (питоме)<br>Енергоємність (МВт-год/автомобіль)<br>Водоемність (м3/машина)<br>Інтенсивність відходів (кг/транспортний засіб)<br>Викиди CO2 на вироблену одиницю (в тоннах/од)<br>Викиди ЛОС (у кг/транспортний засіб, у тоннах/рік)<br>Витрати на захист навколишнього середовища (інвестиції, операційні витрати) |                                           |
| Фінансова стійкість                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                           |
| Стабільність фінансових ресурсів                                                                                                                                                                                                                                                                           | Стійке інвестування                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Стабільне фінансове становище                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Стабільні фінансові результати            |
| Внутрішній (дохід від продажів)<br>Зовнішні (позики)                                                                                                                                                                                                                                                       | Вкладення капіталу<br>Витрати на НДДКР<br>Витрати на охорону навколишнього середовища (інвестиції)                                                                                                                                                                                                                                                                             | Ліквідність<br>Рентабельність<br>Ринкова оцінка                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Net Income, EBIT, EPS, EVA, MVA, ROI, ROA |

Джерело: [20-23, 27-30, 31-33]

Важливим джерелом інформації про сталий розвиток підприємства є звіт про сталий розвиток. Все більше компаній починають складати Звіт про сталий розвиток. Звітність про сталий розвиток допомагає користувачам краще зрозуміти бізнес-модель компанії та її вплив на

суспільство та навколишнє середовище. За допомогою показників, представлених у звітах, можна виконувати як детальний, так і інтегрований аналіз. Такий підхід запропоновано в [34]. Авторами запропоновано класифікацію окремих показників (на оперативному та стратегічному рівнях) та комбінованих заходів.

Цілі розвитку є досить багатограними, поєднуючи як кількісні, так і якісні цілі розвитку в економічній, екологічній та соціальній складових.

Наведені показники дозволяють проводити як детальний, так і комплексний аналіз стійкості розвитку підприємства. Аналіз наведених показників дозволяє провести порівняння з конкурентами та визначити критичні характеристики відставання в розрізі окремих компонентів стійкості. Крім того, на основі набору показників ( $X_n^i$ ) доцільно розраховувати інтегральні показники (індекс стійкості економічного розвитку ( $p_{ij_{econ}}$ ), індекс стійкості екологічного розвитку ( $p_{ij_{ecol}}$ ), індекс сталості соціального розвитку ( $p_{ij_{soc}}$ ). Інтегральні показники потрібні, оскільки ми можемо визначити зв'язок між складовими стійкості. Через розрахунок відповідних часткових інтегральних індексів доцільно визначити узагальнений інтегральний показник стійкості ( $I_{sust}$ ).

Фінансові показники ( $X_n^{fin}$ ) можуть бути використані для розрахунку інтегрального індексу фінансової стійкості ( $I_{sust}^{fin}$ ). Моніторинг розвитку підприємства за компонентами стійкості є важливим для розуміння прогресу впровадження ЦСР та можливостей їх реалізації через фінансову стабільність.

Наступним важливим питанням є вибір методів обробки інформації.

Загалом для характеристики стійкості економічних процесів за допомогою кількісних та якісних показників у дослідженні рекомендовано використовувати такі основні методи: структурно-логічний аналіз (для виявлення факторів стійкості підприємства); економіко-статистичний аналіз (для встановлення динамічних змін та аналізу основних тенденцій

основних показників сталого розвитку); методи економіко-математичного моделювання, кореляційного та регресійного аналізу (для зведеного (консолідованого) аналізу великих масивів даних для оцінки латентних показників сталого розвитку підприємств та подальшого розрахунку інтегрального індексу, а також для встановлення тісних взаємозв'язків між окремими типами стабільності та фінансових показників); абстрактно-логічний метод використовується для узагальнення результатів і формулювання висновків дослідження.

Для будь-якого показника, представленого в таблиці, автори мають динамічний діапазон значень, тому для їх обробки автори використовують два підходи: з позиції досягнутого рівня в абсолютних значеннях і з позиції стабільності динаміки у відносному вираженні – до визначити тенденції розвитку досліджуваних процесів.

Аналіз на певний момент часу дозволяє порівняти показники сталого розвитку підприємства з іншими конкурентами та виявити виклики за компонентами стійкості, які існують. Аналіз у динаміці дозволяє встановити ефективність процесів трансформацій, зумовлених реалізацією цілей сталого розвитку та їх відображення в інших економіко-фінансових показниках. Дослідження стійкості динаміки здійснюється за показниками, представленими в [35-37]. У даній статті для визначення стабільності динаміки будуть використані такі показники:

Відносний діапазон відсотків (PRR) – відображає співвідношення між мінімальним і максимальним приростами, тобто дозволяє визначити стабільність абсолютних значень показників (може розраховуватися як індексом, так і у відсотках):

$$PRR = \frac{X_{max} - X_{min}}{\frac{(X_{max} + X_{min})}{2}} \times 100\% \quad (1)$$

де  $X_i$  – конкретне значення ознаки змінної ( $X_{max}$ ,  $X_{min}$  – максимальне та мінімальне значення);

$\bar{X}$  – середнє значення ознаки.

Коефіцієнт варіації ( $\acute{v}$ ), який є відношенням стандартного відхилення до середнього значення ознаки:

$$\acute{v} = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100\% \quad (2)$$

де  $\sigma$  – дисперсія.

Аналіз  $\acute{v}$  проводиться з урахуванням такого масштабу:

до 10% – незначна варіація;

10-25% – значна варіація;

> 25% – значна варіація.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (3)$$

$n$  – середнє значення ознаки.

Для проведення комплексної оцінки стійкості підприємства та розрахунку комплексних показників необхідно:

1. Стандартизувати значення обраних і систематизованих показників [38]:

$p_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j}$ , де  $x_{ij}$  – значення показників стійкості (оцінка за видовою класифікацією стійкості),  $i = 1, \bar{m}$  – кількість періодів дослідження,  $j = 1, \bar{n}$  – кількість показників,  $\bar{x}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{ij}$  – середнє значення показника,  $\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{m}}$  – стандартне відхилення показника, яке забезпечує узгодження дисперсій і значень показників.

2. Розрахувати інтегральний показник стійкості:

$$I_{sust} = \sqrt[3]{p_{ij_{sociology}} + p_{ij_{economy}} + p_{ij_{ecology}}} \quad (4)$$

де  $p_{ij_{sociology}}$  – стандартизоване значення соціальної стійкості,  $p_{ij_{economy}}$  – стандартизоване значення економічної стійкості,  $p_{ij_{ecology}}$  – стандартизоване значення екологічної стійкості.

На цьому етапі також доцільно використовувати дистанційний метод для порівняння показників аналізованих підприємств (підрозділів) з еталонними показниками. Дистанційний метод [39] є актуальним для стратегічного аналізу рівня стійкості підприємства, що працює в тій чи іншій галузі, оскільки дозволяє виявити відмінності за різними видами стійкості та орієнтири подальшої стратегії розвитку. За еталон приймемо

умовне підприємство з найкращими значеннями представлених показників.

Пропонується дещо інший підхід із використанням відносних показників. Водночас варто ще раз звернутися до поняття стабільності.

Поняття «стійкість» слід уточнювати при виборі методів обробки інформації для цілей аналізу. Його розуміння є основою для вибору критеріїв інтерпретації показників стійкості.

Відповідно до [40], «стійкість – це властивість системи  $S$  збігатися за  $\{S_s\}$  до і після змін  $\{C\}$ , які викликані дією сукупності факторів  $\{F\}$ ». Серед основних видів стійкості виділяють такі види стійкості, як інерційна, симетрична, адаптаційна, гомеостатична, сповільнена, композиційна.

Розвиток системи, відповідно, є послідовністю її станів, які визначаються як кількісними показниками, так і якісними характеристиками. Траєкторія економічних показників може характеризуватися розвитком за характеристиками «повільно-швидко» або циклічно, але визначити, наскільки вона є прогресивною, можна за додатковою інформацією, у тому числі за традиційною тріадою складових.

Акцентуючи увагу на понятті «стійкість» в аналітичному плані, тобто розглядаючи його прояв як фіксовану динаміку показників, пропонуємо розглядати сталий розвиток як розвиток зі значенням, яке характеризує динаміку окремого показника як сталої величини. Теоретично сталий розвиток – це процес удосконалення внутрішніх якісних підсистем, коли зростання кількісних значень показників є майже постійною величиною. Коли кількісне значення приросту має зростаючі показники, то йдеться про прискорений розвиток.

$$T\%_t^{n(i)} = \frac{X_t^{n(i)}}{X_{t-1}^{n(i)}} \quad (5)$$

де  $T\%_t^{n(i)}$  – зміна у відсотках  $n$ -го показника  $i$ -ої складової (екологічної, економічної, соціальної) стабільності в момент часу  $t$ .

Відповідно, умовою стійкого зростання є додатне і постійне значення досліджуваних показників. Досягти такої ситуації на практиці неможливо, а це означає, що характеристики сталого розвитку є більш змістовними, ніж математичні:

Позитивною тенденцією для економічної та соціальної складових є позитивна динаміка (зростання) основних показників за певний період часу. Що стосується екологічної складової, то ознакою позитивної динаміки є зниження абсолютних значень показників постійними темпами.

Відповідно, для визначення інтегральних показників слід застосовувати процедуру нормалізації показників, тобто приведення до порівнянного вигляду.

|                                   |                     |                                   |  |                                   |  |
|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------------|--|-----------------------------------|--|
| Економічна стійкість              |                     | Соціальна стійкість               |  | Екологічна стійкість              |  |
| $\{X_n^{econ}\}$                  |                     | $\{X_n^{soc}\}$                   |  | $\{X_n^{ecol}\}$                  |  |
| умови стійкості                   |                     |                                   |  |                                   |  |
| $100 < T\%_t^{n(i)} \cong const$  |                     | $100 < T\%_t^{n(i)} \cong const$  |  | $100 > T\%_t^{n(i)} \cong const$  |  |
| позитивний тренд                  |                     |                                   |  |                                   |  |
| $T\%_{t-1}^{n(i)} < T\%_t^{n(i)}$ |                     | $T\%_{t-1}^{n(i)} < T\%_t^{n(i)}$ |  | $T\%_{t-1}^{n(i)} > T\%_t^{n(i)}$ |  |
| Фінансова стійкість               |                     |                                   |  |                                   |  |
| $\{X_n^{fin}\}$                   |                     |                                   |  |                                   |  |
| Стабільність фінансових ресурсів  | Стійке інвестування | Стабільне фінансове становище     |  | Стабільні фінансові результати    |  |
| позитивний тренд                  |                     |                                   |  |                                   |  |
| $T\%_{t-1}^{n(i)} < T\%_t^{n(i)}$ |                     |                                   |  |                                   |  |

На цьому етапі також доцільно використовувати дистанційний метод для порівняння показників аналізованих підприємств (підрозділів) з еталонними показниками [39]. Також у процесі аналізу стійкості розвитку підприємства та балансу стійкості окремих видів доцільно використовувати кореляційно-регресійний аналіз [41]. У даному дослідженні планується використовувати коефіцієнти кореляції Пірсона  $r_p$  і кореляції Спірмена  $r_s$ .

На останньому етапі для порівняння стійкості підприємства за інтегральним показником та фінансової стійкості підприємства доцільно використовувати OLS (Linear) Regression [36, 41]. Звичайний метод

найменших квадратів — це математичний опис залежності однієї змінної від іншої. Таким чином, це дозволяє узагальнити результати узагальнених індексів сталого розвитку та часткових індексів (економічної, екологічної та соціальної стійкості) у порівнянні з індексом фінансової стійкості.

Загалом представлений алгоритм аналізу, який передбачає використання як набору метрик, так і інтегрованих індексів, дозволяє виявити ключові тенденції ефективності реалізації ЦСР порівняно з ключовими показниками фінансової стабільності.

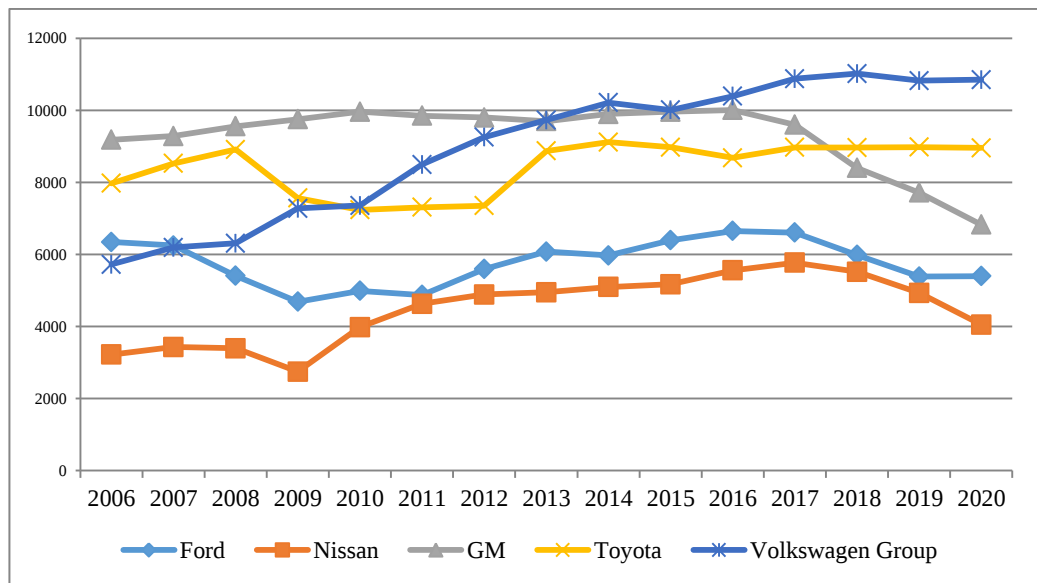
Цілі сталого розвитку, формально чи опосередковано, протягом тривалого часу були основою довгострокового корпоративного управління та розробки відповідних стратегій для автомобільних корпорацій. Цей досвід життєво важливий, тому що автомобільні корпорації, з одного боку, мають значні досягнення та виділяють значні ресурси на сталий розвиток, а з іншого боку, навіть в останні роки вони постійно стикаються з проблемами негативного впливу на навколишнє середовище та нестабільності розвитку.

Метою аналізу стійкості досліджуваних автомобільних компаній є визначення основних тенденцій у процесах ресурсного, зокрема фінансового забезпечення та реалізації ЦСР.

Щоб визначити найкращий досвід у реалізації ЦСР, ми порівняємо досвід досліджуваних корпорацій. При цьому проаналізуємо стійкість розвитку в цілому з точки зору тріади складових, проведемо аналіз фінансового потенціалу досліджуваних корпорацій для визначення фінансових можливостей з метою збільшення витрат для забезпечення ЦСР.

Дослідження стійкості автомобільних корпорацій проводилося протягом двох періодів 2008-2010 (кризовий період) і 2011-2020 років.

Першим показником стійкості компаній є динаміка обсягів виробництва (рис. 3).



**Рисунок 3** – Стійкість виробництва вибраних виробників автомобілів  
(Джерела: [42-46])

Наведені дані свідчать про загалом нестабільну динаміку виробництва на всіх досліджуваних підприємствах. Протягом 2006-2020 років середньорічна динаміка виробництва в розрізі підприємств становила Volkswagen Group – 104,81%, Nissan – 102,7%, Toyota – 101,1%, Ford – 99,2%, General Motors Company – 98,04% (рис. 4). Тобто не всі автовиробники мають загальну тенденцію до збільшення виробництва. Ford і General Motors не вийшли на докризовий рівень у 2020 році. Особливо мінлива динаміка спостерігалася під час кризи 2008-2010 років і в останні роки під впливом Covid-19.

Таким чином, автовиробники можуть використати потенціал динамічного розвитку автомобільного ринку завдяки екологічно відповідальному тренду, який чітко формується під впливом споживачів, урядів та інших зацікавлених сторін у зв'язку зі зростанням попиту на електромобілі лише за рахунок інвестицій у цю сферу.

Аналітичне дослідження екологічної, соціальної та економічної складових має певні труднощі з точки зору формування інформаційної бази, оскільки звітність зі сталого розвитку компанія почала формувати на системній основі не так давно. TESLA, наприклад, тільки в 2019 році почала складати звіт про сталий розвиток, хоча загалом її діяльність

визначають екологічні тренди в галузі. Досвід компанії «Дженерал Моторс» починається з 2009 року, а «Тойота» – з 2002 року. Тому провести повністю скоординоване та всебічне дослідження цих питань є досить складним завданням.

Будуть розглянуті ключові досягнення та орієнтири подальшого сталого розвитку досліджуваних автомобільних компаній за окремими показниками та обробкою за допомогою відстаней (Додаток А).

Представлене табло в узагальненому вигляді дозволяє порівняти рівень стійкості розвитку підприємств за окремими складовими та з точки зору окремих показників. Розуміння типу та рівня відставання за окремими показниками та складовою сталого розвитку в цілому дозволяє визначити зміст заходів, реалізація яких дозволить максимально орієнтуватися на передовий досвід галузі.

Загалом досліджувані підприємства мають порівнянний рівень сталості розвитку, незважаючи на деякі відмінності за окремими складовими. Кожна з опитаних корпорацій брала активну участь у досягненні кліматично-нейтрального сліду в усьому світі не пізніше 2050 року. Реалізація цієї та суміжних цілей потребує не лише співпраці корпорацій з бізнесом і суспільством, а й виконання рушійних функцій у формуванні екосередовища у своїх країнах. Компанії формують цінності сталого розвитку та намагаються поширити їх у суспільстві.

Амбітні цілі сталого розвитку стосуються, перш за все, екологічної відповідальності, вимагають від корпорацій мобілізації всіх ресурсів і таким чином розвитку людських ресурсів і зміцнення економічного потенціалу.

Важливість соціальної стійкості та належна увага до неї ґрунтується на простій логіці: соціально стабільні умови праці, економічно доцільні форми оплати праці, можливості самореалізації та кар'єрного зростання через професійний розвиток є основою креативності та креативності

працівників, що сприяє інновації, а отже, екологічна та економічна стійкість.

Розвиток цифрових технологій підвищить роль професійної робочої сили, оскільки відбуватиметься ліквідація та покращення робочих місць. В контексті підвищення рівня соціальної стабільності автомобільні компанії активно працюють у контексті всіх цих напрямків.

Роблячи висновок про неминучість подальшого руху автомобільних корпорацій до підвищення рівня сталого розвитку, необхідно проаналізувати їх фінансову стійкість та визначити фінансовий потенціал для подальшого досягнення цілей сталого розвитку.

Для аналізу фінансової стійкості в динаміці використовуємо декілька показників, які характеризують стабільність фінансових ресурсів, стабільність інвестицій, узгодженість фінансового стану та результатів (додаток Б).

Доходи підприємств, як центральний фінансовий ресурс діяльності, характеризуються нестабільною динамікою. На їх масштаби вплинули як криза 2007-2010 років, так і пандемія 2019-2020 років. Середньорічна динаміка останнього десятиліття лише трохи вища, ніж у кризовий період. Загалом за досліджуваний період з 2006 по 2020 рік автори можуть відзначити поступове зростання доходів Toyota і Volkswagen, і лише десятикратне їх збільшення за період з 2014 по 2020 рік на прикладі Tesla. Таким чином, можна провести деякі аналогії. Слід стверджувати, що всі автомобільні компанії повинні використовувати потенціал зростання попиту на електромобілі для підвищення стабільності доходу.

Найвищим рівнем динаміки (нестабільності) є показник прибутку в усіх досліджуваних компаніях. По-перше, що криза 2007-2010 років сильніше вплинула на американські компанії, тоді як Volkswagen працював з прибутком, а Toyota і Nissan мали збитки лише в один із кризових років (2009 і 2008 відповідно). 2020 рік для всіх компаній, крім Tesla, характеризується зниженням прибутків і навіть входженням у зону

збитків (Ford і Nissan). Tesla, яка протягом 2008-2019 років працювала зі збитком і вперше отримала прибуток у 2020 році, демонструє принципово інші показники.

Незважаючи на нестабільність провідних фінансових результатів (доходу та прибутку), автопідприємства активно фінансують розвиток економічної бази своєї діяльності, про що свідчить динаміка активів. Так, з 2009 по 2020 рік активи GM зросли на 72 відсотки, за період з 2006 по 2020 рік відповідно: Volkswagen в 3,3 рази, Toyota - майже вдвічі, Nissan - на 48%. Зниження загальних активів відбулося лише у Ford. Tesla, чиї активи зросли в 400 разів за 2009-2020 роки, демонструє яскравий приклад динамічного розвитку. Компанія, створена у 2003 році в галузі, де інші представники мають давню історію, сформовану конкуренцію та досягнення, з метою досягнення цілей сталого розвитку визначає тенденції інноваційного розвитку інших підприємств та демонструє екстрадинаміку виробничих потужностей. Однак масштаби діяльності Tesla знаходяться в іншій ваговій категорії.

Обсяг оборотного капіталу для кожної компанії повинен мати своє оптимальне значення і дозволяти безперебійно працювати основному бізнесу, нестабільному в Volkswagen Group, General Motors, Tesla. Проте лише в окремі роки Коефіцієнт поточної поточності виходив за межі допустимого значення (1).

Оскільки ЦСР вимагають довгострокового фінансування, життєво важливо враховувати співвідношення борг/власний капітал, що дозволяє встановити потенціал фінансового левериджу компанії на основі дослідження співвідношення боргу та власного капіталу (табл. 2). Якщо найбільш прийнятним є співвідношення 60% позикового капіталу та 40% власного (коефіцієнт = 1,5), то дані опитаних підприємств свідчать про надмірну фінансову залежність від зовнішніх джерел.

**Таблиця 2** – Зведення провідних індикаторів фінансової стійкості за періодами 2006-2010 та 2011-2020 років

| Компанії         | Доходи    |           | Активи    |           | Чистий робочий капітал |           | Curent Ratio (average annual value) |           | Debt/equity ratio |           | ROI (average annual value) |           |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------------|-----------|-------------------------------------|-----------|-------------------|-----------|----------------------------|-----------|
|                  | 2006-2010 | 2011-2020 | 2006-2010 | 2011-2020 | 2006-2010              | 2011-2020 | 2006-2010                           | 2011-2020 | 2006-2010         | 2011-2020 | 2006-2010                  | 2011-2020 |
| Volkswagen Group | 106,9     | 104,8     | 111,8     | 108,4     | 13,4                   | 6,7       | 1,16                                | 1,04      | 3,75              | 2,96      | 8,4                        | 10,2      |
| General Motors   | 92,5      | 99,2      | -         | 105,5     | 2,5                    | 3,0       | 1,13                                | 1,07      | 1,29              | 3,73      | 8,7                        | 0,03      |
| Ford             | 95,6      | 100,1     | 87,9      | 105,0     | 73,3                   | 59,8      | 1,97                                | 2,92      | -66,43            | 7,68      | 1,4                        | 5,2       |
| Tesla            | 224,3     | 191,7     | -         | 171,6     | 0,0                    | 1,3       | 1,31                                | 1,31      | 0,17              | 4,12      | -40,2                      | -19,4     |
| Toyota           | 104,9     | 103,2     | 107,9     | 104,2     | 8,9                    | 6,4       | 1,08                                | 1,04      | 1,74              | 1,64      | 75,4                       | 7,5       |
| Nissan           | 98,4      | 101,5     | 101,8     | 103,7     | 14,5                   | 35,4      | 1,34                                | 1,60      | 2,37              | 2,42      | 6,3                        | 14,3      |

Показники Toyota відповідають оптимальному значенню (причому протягом усього періоду дослідження); в інших компаніях значення вдвічі або більше разів перевищують рекомендовані. Це свідчить про невисокий рівень фінансової стійкості досліджуваних підприємств.

Збільшення витрат на реалізацію екологічних цілей не призводить до суттєвого погіршення динаміки фінансових надходжень.

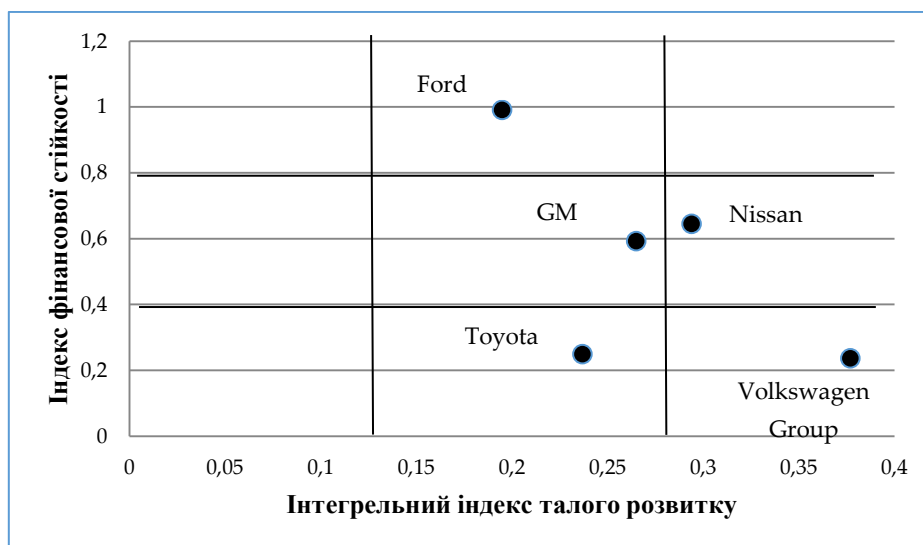
Декілька компаній, зокрема Volkswagen і Toyota, надають інформацію про витрати на охорону навколишнього середовища (інвестиції та експлуатаційні витрати) у своїх звітах про сталий розвиток. Однак розподіл фінансових ресурсів для сталого розвитку також відображається в інших фінансових потоках, зокрема капітальних інвестиціях, інвестиціях у НДДКР. Інвестиції в основний капітал передбачають придбання, насамперед, більш сучасного, а отже, енергоефективного обладнання, а інвестиції в НДДКР – витрати на розробку нової продукції з кращими екологічними характеристиками. Таким чином, важко виокремити ті, які спрямовані на досягнення ЦСР. Тому загальний обсяг інвестицій слід розглядати як інвестиції в розвиток компанії, які повністю спрямовані на досягнення ЦСР.

Наступним важливим кроком в аналізі фінансового заохочення реалізації ЦСР є дослідження рівня стійкості підприємств за окремими типами у порівнянні з показниками фінансової стійкості методом OLS Regression. У таблиці 3 представлені результати цього аналізу.

**Таблиця 3** – Аналіз коефіцієнта фінансової стійкості та складових сталого розвитку підприємства

| Компанія               | Фінансова стійкість та економічна стійкість          | Фінансова стійкість та екологічна стійкість          | Фінансова стійкість і соціальна стійкість           |
|------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Toyota                 | $y = 0,0007x^2 + 0,056x + 87,106$<br>$R^2 = 0,693$   | $y = 1,5273x^2 - 294,24x + 14256$<br>$R^2 = 0,230$   | $y = 0,1302x^2 - 24,129x + 1204,2$<br>$R^2 = 0,341$ |
| General Motors Company | $y = 0,0004x^2 - 0,0052x + 95,384$<br>$R^2 = 0,640$  | $y = -0,4079x^2 + 78,861x - 3733,3$<br>$R^2 = 0,039$ | $y = 0,1174x^2 - 26,444x + 1543,5$<br>$R^2 = 0,303$ |
| Volkswagen Group       | $y = 0,0003x^2 + 0,1032x + 97,423$<br>$R^2 = 0,668$  | $y = 0,022x^2 - 7,2409x + 605,58$<br>$R^2 = 0,1103$  | $y = 0,0007x^2 - 0,24x + 119,99$<br>$R^2 = 0,515$   |
| Ford                   | $y = -0,0003x^2 + 0,1648x + 86,587$<br>$R^2 = 0,967$ | $y = 0,0017x^2 - 0,8402x + 188,23$<br>$R^2 = 0,035$  | $y = 0,1961x^2 - 40,079x + 2147,2$<br>$R^2 = 0,248$ |

Завершальним етапом цього дослідження було порівняння індексів фінансової стійкості та інтегрального індексу стійкості досліджуваних автомобільних компаній, розрахованих за період з 2007 по 2019 рр. (рис. 5).



**Рисунок 5** – Стійкість розвитку підприємства в порівнянні з фінансовою стійкістю (Джерела: розрахунки автора)

Чим менше значення узагальнених показників стабільності, тим меншу варіативність демонструють досліджувані показники. Загалом слід відзначити середній рівень кореляції між фінансовою та економічною стійкістю, зв'язки між фінансовою та соціальною стійкістю є дещо

нижчими, а зв'язки між фінансовою та екологічною стійкістю є незначними. Такий стан справ свідчить про важливість цілей сталого розвитку, прогрес у досягненні яких автомобільні компанії забезпечують незалежно від стабільності фінансових ресурсів і результатів.

Наведені результати порівняння стабільності інтегральних індексів сталого розвитку в порівнянні з узагальненим індексом фінансової стійкості, проведеного на прикладі автомобільних компаній, відображають такі основні тенденції:

по-перше, усі досліджувані підприємства демонструють прогрес у екологічній та соціальній стійкості, але динаміка як фактичних, так і інтегральних показників свідчить про низький рівень (незначний розкид) на фоні відносно високої фінансової нестабільності;

по-друге, досліджувані автомобілебудівні підприємства відрізняються рівнем сталого розвитку (з урахуванням компонентів) та фінансовою стійкістю. Volkswagen Group і Nissan демонструють більший прогрес у забезпеченні сталого розвитку на тлі низького та середнього рівнів фінансової стабільності. Ford має найнижчий рівень індексу стійкості на тлі найвищого рівня фінансової нестабільності.

по-третє, розрахунки кореляції показників сталого розвитку (економічної, екологічної та соціальної складових) та фінансової стабільності показали низький рівень залежності. Це означає, що підприємства реалізують ЦСР на фоні різного рівня мінливості фінансової стійкості.

Такі тренди, сформульовані на основі розрахунків, підтверджують думку про найкращі результати реалізації ЦСР у компаній з вищим рівнем фінансової стійкості. Дійсно, підприємства, які мають вищий рівень фінансової стійкості, одночасно мають вищі абсолютні показники та позитивну динаміку за складовими сталого розвитку досліджуваних підприємств, зокрема економічною та соціальною.

Розглядаючи інвестиції (для аналізу беруться показники на одного працівника), автори бачать наступні тенденції протягом досліджуваного періоду: поступово зростають інвестиції в НДДКР; інвестиції в основний

капітал, враховуючи рівень фондомісткості та фондоозброєності працівників, мають тенденцію до зменшення.

Усі опитані автомобільні компанії збільшують інвестиції, в тому числі в інновації. Лише життєво необхідне фінансування інновацій дозволяє компаніям досліджувати всі необхідні сфери, щоб забезпечити відповідність вимогам ринку: безпека, ефективність, екологічність, дизайн, утилізація. Тобто реалізація ЦСР залежить від здатності підприємства мати високу інноваційну продуктивність та активність.

На обсяг інвестицій, спрямованих на цілі, що включають сталий розвиток, впливають такі кількісно вимірювані фактори, як розмір доходу підприємства ( $x_1$ ); його рівень прибутковості ( $x_2$ ); економічний потенціал (вартість активів) ( $x_3$ ); обсяг оборотного капіталу (оскільки важко фінансувати довгострокові проекти в разі недостатньої поточної ліквідності) ( $x_4$ ); рентабельність раніше реалізованих проектів (ROI) ( $x_5$ ); співвідношення залучених активів і власного капіталу ( $x_6$ ).

Дослідження тісноти зв'язку проводилося з використанням цих показників як характеристик ключових факторів.

Ця модель представляє зв'язок між інвестиціями (показником ефективності) та вказаними факторами:

$$Y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) \quad (6)$$

Враховуючи, що ці фактори впливають на результативний показник, припускаючи, що вони не пов'язані між собою, доцільно використовувати кореляційно-регресійні методи.

Кореляційний аналіз (Додаток В) показує, що динаміка інвестування досліджуваних підприємств залежить від доходу та економічного потенціалу, але не залежить від інших показників фінансового стану. Це означає пріоритетне фінансування інвестицій і, отже, важливість забезпечення довгострокових цілей сталого розвитку.

Провідні автомобільні компанії світу керують цілями сталого розвитку суспільства, які мають кілька рівнів реалізації: на стратегічному рівні (цілі визначають зміст стратегій сталого розвитку); на функціональному рівні (вони втілюються в конкретних цілях, сформованих за екологічною, соціальною та економічною складовими); на

операційному рівні (передбачають формування комплексу детальних заходів та інструментів для досягнення цілей).

З метою наповнення процесів управління сталим розвитком на основі узагальнення наукових підходів та з урахуванням позитивного досвіду запропоновано комплексний підхід до управління сталим розвитком через виокремлення концептуального, стратегічного, операційного та аналітичного рівнів.

Провідні автомобільні компанії світу здійснюють фінансовий менеджмент з урахуванням ЦСР, які мають кілька рівнів реалізації: на стратегічному рівні (цілі визначають зміст стратегій сталого розвитку); на функціональному рівні (вони втілюються в конкретних цілях, сформованих за екологічною, соціальною та економічною складовими); на операційному рівні (передбачають формування комплексу детальних заходів та інструментів для досягнення цілей).

На основі систематизації існуючих методичних підходів до аналізу стійкості автори пропонують розглядати стійкість як здатність системи досягати цілей, як збалансованість внутрішніх ресурсів, як стабільність взаємодії із зовнішнім середовищем, як адаптацію системи бізнес-модель.

Для дослідження процесів фінансового забезпечення сталого розвитку авторами сформовано метод аналізу. Новизна роботи полягає в спробі розглянути показники сталого розвитку підприємства з точки зору економічних, екологічних, соціальних цілей, а також з позицій фінансової стійкості.

Процедуру аналізу стійкості підприємств пропонується здійснювати за такими основними етапами: огляд відображення ЦСР у стратегії, аналіз зовнішніх факторів стійкості, комплексний та інтегрований аналіз стійкості з акцентом на фінансову стабільність. У статті систематизовано показники економічної, екологічної, соціальної та фінансової стійкості, на основі яких доцільно проводити аналіз стійкості.

Дослідження реалізації Цілей розвитку автомобільними компаніями дозволяє виявити основні виклики сталого розвитку та визначити ключові тренди у розробці стратегій щодо сталого розвитку.

Цілі розвитку, прийняті автомобільними компаніями в рамках Глобального порядку денного, є справжнім викликом з точки зору

екологічної відповідальності, оскільки їх досягнення потребує ефективності у сфері інновацій та відповідних інвестицій.

Оскільки на розвиток компаній впливають фактори внутрішнього та зовнішнього середовища, у цій роботі аналізується вплив тенденцій у світовій економіці. Зовнішнє глобальне середовище створює чіткі екологічні, соціальні та економічні проблеми для внутрішніх підсистем стійкості. Більше того, хоча динаміка світової економіки має середній рівень впливу на стійкість автомобільних підприємств у підсумку, як показує аналіз, спостерігається чітка синхронізація динаміки розвитку в короткостроковій перспективі, особливо під час криз.

Оскільки криза у світовій економіці, незалежно від її першопричини, відображається у фінансовій системі та прогресі діяльності, реалізація ЦСР завжди пов'язана з фінансовою стабільністю. Фінансовий стан автомобілебудівних підприємств під час кризових явищ в економіці є нестабільним. Обстежені підприємства в тій чи іншій формі отримували державну підтримку. Проте цілі сталого розвитку фінансуються належним чином. Трансформації в автомобільній промисловості стають суттєвим чинником і навіть рушієм реалізації ЦСР, оскільки безпосередньо стосуються технологій виробництва та технічних характеристик автомобілів.

Аналіз стійкості розвитку дозволяє визначити тенденції сучасного етапу розвитку провідних автомобільних компаній:

по-перше, спостерігається нестабільна динаміка обсягів виробництва в цілому, але з поступовим зростанням виробництва електромобілів, що супроводжується вдосконаленням бізнес-моделей підприємств;

по-друге, існують певні відмінності між досліджуваними підприємствами в характеристиках соціальної та екологічної стійкості, незважаючи на схожість цілей;

по-третє, співвідношення різних підсистем фінансової стійкості, яке автори наводять як приклад автомобільних компаній, має такі загальні характеристики: відносно стабільні фінансові ресурси - стабільні інвестиції - фінансова стійкість - варіюються фінансові результати.

Як показав аналіз, відібрані компанії мають нестабільні фінансові ресурси та фінансові результати, але прогресують у досягненні ключових цілей сталого розвитку.

Розуміння цих тенденцій дасть можливість удосконалити механізми та підходи фінансового управління, в тому числі на регіональному та державному рівнях.

Усе це вимагає подальшого дослідження питання впливу екологічної відповідальності на соціально-екологічну сферу.

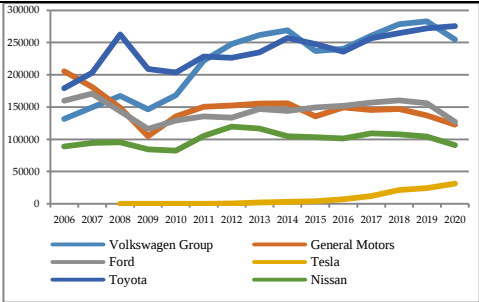
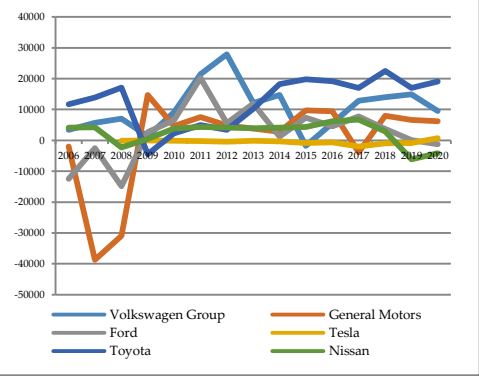
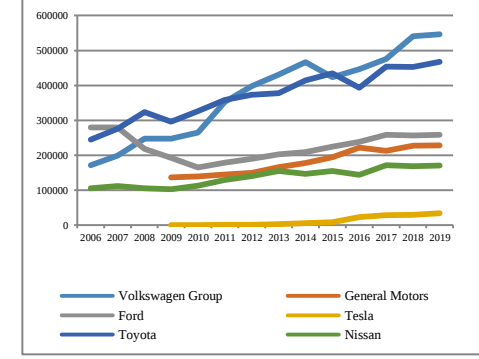
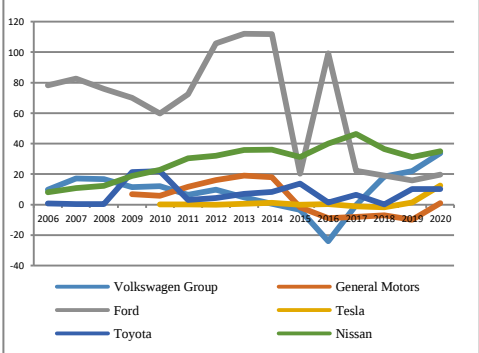
#### Додаток А

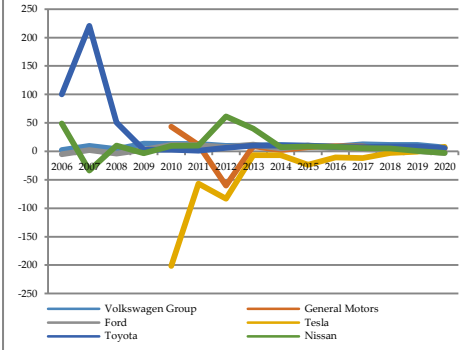
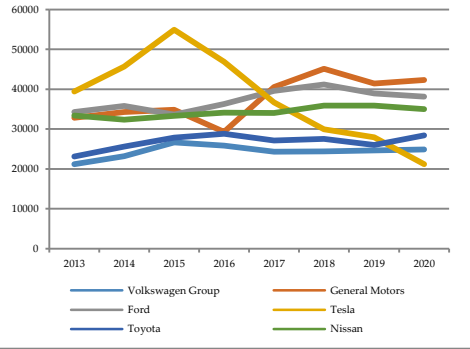
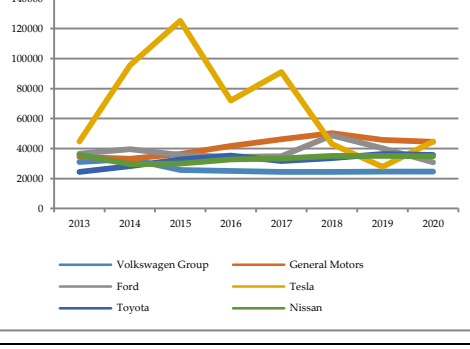
**Таблиця А 1** – Табло ключових показників сталого розвитку автомобільних корпорацій

| Показники                                                 | Значення показників |            |        |       |        | Значення показників після обробки методом відстаней |             |             |             |             |
|-----------------------------------------------------------|---------------------|------------|--------|-------|--------|-----------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                                           | General Motors      | Volkswagen | Toyota | Ford  | Nissan | General Motors                                      | Volkswagen  | Toyota      | Ford        | Nissan      |
| <b>Економічна стійкість</b>                               |                     |            |        |       |        |                                                     |             |             |             |             |
| Відсоток ринку, %                                         | 7,07                | 10,7       | 10,79  | 6,58  | 5,95   | 0,66                                                | 0,99        | 1,0         | 0,61        | 0,55        |
| Основні засоби                                            | 34,4                | 50,5       | 54,1   | 48,0  | 34,6   | 0,64                                                | 0,93        | 1,0         | 0,89        | 0,64        |
| Капітальні інвестиції на одного працівника, у доларах США | 45739               | 24507      | 35740  | 30870 | 35020  | 1,0                                                 | 0,54        | 0,78        | 0,67        | 0,77        |
| Витрати на НДДКР на одного працівника, у доларах США      | 41460               | 24640      | 28400  | 38170 | 35927  | 1,0                                                 | 0,59        | 0,68        | 0,92        | 0,87        |
| <i>Index of Economic sustainability</i>                   |                     |            |        |       |        | 0,83                                                | 0,76        | 0,87        | 0,77        | 0,71        |
| <b>Соціальна стійкість</b>                                |                     |            |        |       |        |                                                     |             |             |             |             |
| Кількість тих, хто навчається, у % від співробітника      | 42,6                | 31,5       | 26,4   | 33,2  | 12,3   | 1,00                                                | 0,50        | 0,62        | 0,78        | 0,29        |
| Години навчання на одного працівника                      | 10,73               | 11,7       | 9,3    | 8,7   | 4,3    | 0,92                                                | 1,00        | 0,79        | 0,74        | 0,37        |
| Годин на худий                                            | 25,1                | 23,2       | 25,6   | 24,2  | 26,0   | 0,97                                                | 0,89        | 0,98        | 0,93        | 1,00        |
| Співробітники, які відчувають особистісне зростання, %    | 79,6                | 81,2       | 82,1   | 80,2  | 79,5   | 0,97                                                | 0,99        | 1,00        | 0,98        | 0,97        |
| <i>Index of Social sustainability</i>                     |                     |            |        |       |        | 0,96                                                | 0,85        | 0,85        | 0,86        | 0,66        |
| <b>Екологічна стійкість</b>                               |                     |            |        |       |        |                                                     |             |             |             |             |
| Енергоємність, МВт·год/автомобіль                         | 2,13                | 2,18       | 1,81   | 2,14  | 2,08   | 0,82                                                | 0,79        | 1,00        | 0,82        | 0,85        |
| Обсяг відходів на одиницю, кг/од                          | 42,2                | 44,8       | 46,2   | 43,45 | 41,9   | 0,99                                                | 0,93        | 0,90        | 0,96        | 1,00        |
| Викиди CO <sub>2</sub> на вироблену одиницю               | 0,62                | 0,436      | 0,387  | 0,58  | 0,51   | 0,40                                                | 0,87        | 1,00        | 0,50        | 0,68        |
| Викиди ЛОС, кг/автомобіль                                 | 2,55                | 1,59       | 1,66   | 2,15  | 2,34   | 0,40                                                | 1,00        | 0,96        | 0,65        | 0,53        |
| Водоемність, МЗ/машина                                    | 4,17                | 3,74       | 4,1    | 4,2   | 4,81   | 0,89                                                | 1,00        | 0,90        | 0,88        | 0,71        |
| <i>Index of Ecological sustainability</i>                 |                     |            |        |       |        | 0,70                                                | 0,92        | 0,95        | 0,76        | 0,76        |
| <b><i>Index of Sustainability Development</i></b>         |                     |            |        |       |        | <b>0,83</b>                                         | <b>0,84</b> | <b>0,89</b> | <b>0,80</b> | <b>0,71</b> |

Джерело: розрахунки автора

**Додаток В**  
**Таблиця В 1 – Динаміка основних показників**

| ompany                                 | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   | 2020   | Тенденції                                                                            |
|----------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Доходи, million US dollars             |        |        |        |        |        |        |                                                                                      |
| Volkswagen Group                       | 236696 | 240427 | 260739 | 278537 | 282947 | 254600 |    |
| General Motors                         | 135725 | 149184 | 145588 | 147049 | 137237 | 122485 |                                                                                      |
| Ford                                   | 149558 | 151800 | 156776 | 160338 | 155900 | 127144 |                                                                                      |
| Tesla                                  | 4046   | 7000   | 11759  | 21461  | 24578  | 31536  |                                                                                      |
| Toyota                                 | 247834 | 235745 | 256653 | 264415 | 272031 | 275355 |                                                                                      |
| Nissan                                 | 103514 | 101173 | 108996 | 107560 | 104168 | 90885  |                                                                                      |
| Чистий прибуток, in million US dollars |        |        |        |        |        |        |                                                                                      |
| Volkswagen Group                       | -1755  | 5692   | 12833  | 13967  | 14947  | 9519   |   |
| General Motors                         | 9687   | 9427   | -3880  | 7916   | 6581   | 6247   |                                                                                      |
| Ford                                   | 7373   | 4589   | 7731   | 3677   | 47     | -1279  |                                                                                      |
| Tesla                                  | -888   | -674   | -1962  | -976   | -870   | 690    |                                                                                      |
| Toyota                                 | 19777  | 19195  | 17029  | 22445  | 16945  | 19100  |                                                                                      |
| Nissan                                 | 4347   | 6170   | 6722   | 2872   | -6175  | -4217  |                                                                                      |
| Активи, in million US dollars          |        |        |        |        |        |        |                                                                                      |
| Volkswagen Group                       | 423844 | 453409 | 477204 | 541082 | 546639 | 567853 |  |
| General Motors                         | 194338 | 221690 | 212482 | 227339 | 228037 | 235194 |                                                                                      |
| Ford                                   | 224925 | 237951 | 258496 | 256540 | 258537 | 267261 |                                                                                      |
| Tesla                                  | 8067   | 22664  | 28655  | 29740  | 34309  | 52148  |                                                                                      |
| Toyota                                 | 434341 | 393649 | 453376 | 452774 | 467432 | 484660 |                                                                                      |
| Nissan                                 | 155115 | 144201 | 171315 | 168722 | 170571 | 156185 |                                                                                      |
| Чистий робочий капітал                 |        |        |        |        |        |        |                                                                                      |
| Volkswagen Group                       | -3,44  | -24,12 | -0,31  | 18,39  | 21,88  | 33,74  |  |
| General Motors                         | -1,81  | -8,98  | -8,15  | -6,95  | -9,92  | 1,01   |                                                                                      |
| Ford                                   | 20,25  | 99,18  | 22,2   | 19,08  | 15,92  | 19,55  |                                                                                      |
| Tesla                                  | -0,03  | 0,43   | -1,11  | -1,68  | 1,43   | 12,47  |                                                                                      |
| Toyota                                 | 13,83  | 1,38   | 6,34   | 0,18   | 10,29  | 10,24  |                                                                                      |
| Nissan                                 | 31,31  | 40,04  | 46,39  | 36,51  | 31,17  | 35,06  |                                                                                      |

| ROI                                                     |        |       |       |       |       |       |    |
|---------------------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Volkswagen Group                                        | 9,6    | 8,2   | 12,1  | 11    | 11,2  | 6,5   |                                                                                       |
| General Motors                                          | 7,26   | 9,07  | 8,21  | 4,02  | 4,67  | 5,21  |                                                                                       |
| Ford                                                    | 10,07  | 4,28  | 3,72  | 2,3   | 0,42  | -3,06 |                                                                                       |
| Tesla                                                   | -23,7  | -10,5 | -11,5 | -2,66 | -0,39 | 7,81  |                                                                                       |
| Toyota                                                  | 10,11  | 7,82  | 7,4   | 8,52  | 8,32  | 5,7   |                                                                                       |
| Nissan                                                  | 8,19   | 7,99  | 5,83  | 5,04  | 0,61  | -2,76 |                                                                                       |
| R&D expenditure per employee, in US dollars             |        |       |       |       |       |       |    |
| Volkswagen Group                                        | 26679  | 25857 | 24345 | 24437 | 24640 | 24879 |                                                                                       |
| General Motors                                          | 34884  | 29333 | 40556 | 45087 | 41460 | 42330 |                                                                                       |
| Ford                                                    | 33668  | 36318 | 39604 | 41206 | 38950 | 38170 |                                                                                       |
| Tesla                                                   | 54909  | 46901 | 36705 | 29908 | 27970 | 21200 |                                                                                       |
| Toyota                                                  | 27846  | 28863 | 27156 | 27502 | 25990 | 28400 |                                                                                       |
| Nissan                                                  | 33289  | 34084 | 34048 | 35927 | 35890 | 34980 |                                                                                       |
| Investments in fixed assets per employee, in US dollars |        |       |       |       |       |       |  |
| Volkswagen Group                                        | 25757  | 25071 | 24280 | 24364 | 24507 | 24600 |                                                                                       |
| General Motors                                          | 36294  | 41777 | 46111 | 50289 | 45739 | 44500 |                                                                                       |
| Ford                                                    | 35678  | 34328 | 34896 | 48713 | 40168 | 30870 |                                                                                       |
| Tesla                                                   | 125211 | 71983 | 90962 | 43020 | 27740 | 44760 |                                                                                       |
| Toyota                                                  | 32639  | 35340 | 31719 | 33666 | 36340 | 35740 |                                                                                       |
| Nissan                                                  | 29978  | 32618 | 33333 | 35020 | 35120 | 34770 |                                                                                       |

Джерело: [42-47]

### Додаток С

**Таблиця С 1 – Результати кореляційного аналізу**

| Volkswagen Group       |        |        |         |            |            |            |
|------------------------|--------|--------|---------|------------|------------|------------|
| y                      | x1     | x2     | x3      | x4         | x5         | x6         |
| x1                     | 0,968  | -0,35  | 0,977   | 0,06354    | -0,5546    | -0,3156    |
| x2                     |        | -0,44  | 0,9862  | 0,099714   | -0,60213   | -0,36573   |
| x3                     |        |        | -0,352  | -0,02744   | 0,299116   | -0,07851   |
| x4                     |        |        |         | 0,192891   | -0,60952   | -0,4012    |
| x5                     |        |        |         |            | -0,01119   | -0,27183   |
| x6                     |        |        |         |            |            | 0,32999    |
| General Motors Company |        |        |         |            |            |            |
| y                      | x1     | x2     | x3      | x4         | x5         | x6         |
| x1                     | 0,2765 | -0,198 | 0,56651 | -0,3134424 | -0,3638775 | 0,619941   |
| x2                     |        | -0,830 | -0,3476 | 0,1292765  | 0,1156681  | 0,0126298  |
| x3                     |        |        | 0,1745  | -0,00743   | -0,25731   | -0,03397   |
| x4                     |        |        |         | -0,77639   | -0,02905   | 0,772513   |
| x5                     |        |        |         |            | -0,23424   | -0,70161   |
| x6                     |        |        |         |            |            | 0,006876   |
| Toyota                 |        |        |         |            |            |            |
| y                      | x1     | x2     | x3      | x4         | x5         | x6         |
| x1                     | 0,8284 | 0,6397 | 0,58273 | -0,2519216 | 0,2764967  | -0,4219992 |
| x2                     |        | 0,9115 | 0,89829 | -0,3380505 | 0,0241881  | -0,7331428 |
| x3                     |        |        | 0,8223  | -0,54207   | 0,161549   | -0,64513   |
| x4                     |        |        |         | -0,18496   | -0,23604   | -0,90118   |
| x5                     |        |        |         |            | -0,36349   | 0,168723   |
| x6                     |        |        |         |            |            | 0,284665   |
| Nissan                 |        |        |         |            |            |            |
| y                      | x1     | x2     | x3      | x4         | x5         | x6         |
| x1                     | 0,8446 | 0,3224 | 0,87792 | 0,5731495  | -0,2289875 | 0,3422739  |
| x2                     |        | 0,6898 | 0,8906  | 0,5251836  | -0,2927152 | 0,4128872  |
| x3                     |        |        | 0,4511  | 0,550077   | 0,104498   | 0,018077   |
| x4                     |        |        |         | 0,557861   | -0,51678   | 0,413806   |
| x5                     |        |        |         |            | 0,089118   | -0,0117    |
| x6                     |        |        |         |            |            | -0,35341   |
| Ford                   |        |        |         |            |            |            |
| y                      | x1     | x2     | x3      | x4         | x5         | x6         |
| x1                     | 0,8472 | -0,356 | 0,82722 | -0,5764233 | -0,7214181 | 0,4712286  |
| x2                     |        | -0,207 | 0,89162 | -0,3557031 | -0,878311  | 0,5644874  |
| x3                     |        |        | -0,38   | 0,324326   | 0,33132    | 0,173779   |
| x4                     |        |        |         | -0,54678   | -0,88928   | 0,189962   |
| x5                     |        |        |         |            | 0,348716   | 0,007346   |
| x6                     |        |        |         |            |            | -0,30435   |

### Література

1. Roadmap for localizing the SDGs implementation and monitoring at subnational level  
[https://www.uclg.org/sites/default/files/roadmap\\_for\\_localizing\\_the\\_sdgs\\_0.pdf](https://www.uclg.org/sites/default/files/roadmap_for_localizing_the_sdgs_0.pdf)
2. Rethinking Impact to Finance the SDGs 2018 UNEP Finance Initiative. 52 p  
<https://www.unepfi.org/wordpress/wp-content/uploads/2018/11/Rethinking-Impact-to-Finance-the-SDGs.pdf>
3. ESG assets may hit \$53 trillion by 2025 a third of global AUM Bloomberg Intelligence February 23 2021 <https://www.bloomberg.com/professional/>
4. The Carbon Majors Database CDP Carbon Majors Report 2017  
<https://b8f65cb373b1b7b15feb->

[c70d8ead6ced550b4d987d7c03fcdd1d.ssl.cf3.rackcdn.com/cms/reports/documents/000/002/327/original/Carbon-Majors-Report-2017.pdf](https://c70d8ead6ced550b4d987d7c03fcdd1d.ssl.cf3.rackcdn.com/cms/reports/documents/000/002/327/original/Carbon-Majors-Report-2017.pdf)

5. World Business Council for Sustainable Development  
<https://www.wbcsd.org/>
6. Neckel S. 2017 The Sustainability Society A Sociological Perspective. *Culture, Practice & Europeanization* Vol 2 No 2 pp 46-52
7. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations-Sustainable Development knowledge platform. 2015.  
<https://sdgs.un.org/sites/default/files/publications/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>
8. Nilsson M., Chisholm E. and Griggs V. 2018 Mapping interactions between the sustainable development goals: lessons learned and ways forward *Sustain Science* **13** 1489–1503 <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0604-z>
9. Schneider F., Kläy A. and Zimmermann A. 2019 How can science support the 2030 Agenda for Sustainable Development? Four tasks to tackle the normative dimension of sustainability *Sustain Sci* **14** 1593–1604.  
<https://doi.org/10.1007/s11625-019-00675-y>
10. Tremblay D., Gowsy S., Riffon O., Boucher J.-F., Dubé S. and Villeneuve C. 2021 A Systemic Approach for Sustainability Implementation Planning at the Local Level by SDG Target Prioritization: The Case of Quebec City *Sustainability* **13** 2520 <https://doi.org/10.3390/su13052520>
11. García-Feijoo M., Eizaguirre A. and Rica-Aspiunza A. 2020 Systematic Review of Sustainable-Development-Goal Deployment in Business Schools. *Sustainability* **12** 440 <https://doi.org/10.3390/su12010440>
12. Boffo R. and Patalano R. 2020 *ESG Investing: Practices, Progress and Challenges* OECD Paris [www.oecd.org/finance/ESG-Investing-Practices-Progress-and-Challenges.pdf](http://www.oecd.org/finance/ESG-Investing-Practices-Progress-and-Challenges.pdf)
13. Agarwal N., Gneiting U. and Mhlanga R. 2017 *Rethinking the role of business in the Sustainable Development Goals* Oxfam Discussion Papers 32 p
14. Ritchie H. 2020 *Cars planes, trains where do CO2 emissions from transport come from?* <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport>

15. IEA *Energy Technology Perspectives 2020* IEA Paris
16. The Automotive Industry in the Era of Sustainability 2020 *Capgemini Research Institute* 36 p
17. Jasinski D., Meredith J. and Kirwan K. 2021 Sustainable development model for measuring and managing sustainability in the automotive sector *Sustainable Development* pp 1-15 <https://doi.org/10.1002/sd.2207>
18. Technology Innovation and the SDG Youth Workers 4 Global Goals. [https://www.salto-youth.net/downloads/toolbox\\_tool\\_download-file-2426/Module%205\\_%20EN.pdf](https://www.salto-youth.net/downloads/toolbox_tool_download-file-2426/Module%205_%20EN.pdf)
19. Mozas-Moral A., Bernal-Jurado E., Fernández-Uclés D. and Medina-Viruel M. 2020 Innovation as the Backbone of Sustainable Development Goals. *Sustainability* **12** p 4747 <https://doi.org/10.3390/su12114747>
20. Swarnakar V., Singh A. and Tiwari A. 2021 Evaluation of key performance indicators for sustainability assessment in automotive component manufacturing organization. *Materials Today: Proceedings* **47(17)** pp 5755-5759. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.045>
21. Nicolăescu E., Alpopi C. and Zaharia C. 2015 Measuring Corporate Sustainability Performance *Sustainability* **7** 851-865 doi:10.3390/su7010851
22. Hristov I., Chirico A. and Appolloni A. 2019 Sustainability Value Creation, Survival, and Growth of the Company: A Critical Perspective in the Sustainability Balanced Scorecard (SBSC). *Sustainability* **11** 2119. <https://doi.org/10.3390/su11072119>
23. Kasem E., Trenz O., Hřebíček J. and Faldik O. 2015 Key sustainability performance indicator analysis for Czech breweries. *Acta Universitatis agriculturae mendelianae brunensis* **63** pp 1937-1944 <https://doi.org/10.11118/201563061937>
24. Kasych A., Suler P. and Rowland Z. 2020 Corporate Environmental Responsibility through the Prism of Strategic Management. *Sustainability* **12** 9589 <https://doi.org/10.3390/su12229589>
25. Kasych A., Rowland Z. nad Onyshchenko O. 2019 Evaluating effectiveness of the business models of electrical and electronic engineering companies: monitoring methods, experience and characteristics *Proceedings of 2019*

IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES) pp 494-497

- 26.Kasych A., Rowland Z. and Yakovenko Y. 2019 Modern management tools for sustainable development of mining enterprises *E3S Web of Conferences* 123, *Ukrainian School of Mining Engineering* [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/49/e3sconf\\_usme2019\\_01017.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/49/e3sconf_usme2019_01017.pdf)
- 27.Myšková R. and Hájek P. 2017 Comprehensive assessment of firm financial performance using financial ratios and linguistic analysis of annual reports *J Int Stud* **10** 96–108
- 28.Diantimala Y. 2018 The mediating effect of sustainability disclosure on the relationship between financial performance and firm value *J Account Financ Audit Stud* **4** 32–48
- 29.Zabolotnyy S. and Wasilewski M. 2019 The Concept of Financial Sustainability Measurement: A Case of Food Companies from Northern Europe *Sustainability* **11** 5139 <https://doi.org/10.3390/su11185139>
- 30.Dhiman R. 2019 Identifying the key indicators of financial stability and financial development: a review of financial service sector *Asian Journal of Management Science and Applications* 3(4) pp 302-320 DOI: 10.1504/AJMSA.2018.098902
- 31.Nappi V. and Rozenfeld H. 2015 The Incorporation of Sustainability Indicators into a Performance Measurement System *12th Global Conference on Sustainable Manufacturing Procedia CIRP* **26** pp 7 – 12
- 32.Kasych A. O. and Tkachenko I. V. 2011 Differences in financial result estimation in book-keeping and tax accounting *Actual Problems of Economics* **2 (116)** pp 185-191
- 33.Maslak O., Maslak M., Grishko N. and Shevchuk Y. 2020 Tool Development for the Assessment of the Favorable Environment in the Framework of the Investment Policy Formation for the Electrotechnical Industry Enterprises Proceedings of the 25th IEEE International Conference on Problems of Automated Electric Drive Theory and Practice PAEP 2020
- 34.Schultze W. and Trommer R. 2011 The concept of environmental performance and its measurement in empirical studies *Journal of*

*Management Control* **22 (4)** pp 375-412. <https://doi.org/10.1007/s00187-011-0146-3>

35. Davidson R. and MacKinnon J. 2021 *Econometric theory and methods* Oxford University Press, New York 693 p
36. Bhattarai K. 2016 *Econometric Analysis* Edition: 6th Publisher University of Hull Business School
37. Angelov P., Gu X., Kangin D. and Prencipe J. 2016 *Empirical data analysis: A new tool for data analytics* 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)
38. Roienko V. and Hulenok K. 2016 *The efficiency evaluation on engineering* *Young Scientist* **1 (28)** pp 147-150
39. Roberts A., Wallace W. and Moles P. 2016 *Mergers and Acquisitions* Edinburgh Business School
40. McIntyre P. 2016 *General Systems Theory and Creativity*. In: McIntyre P, Fulton J, Paton E (eds) *The Creative System in Action* Palgrave Macmillan London [https://doi.org/10.1057/9781137509468\\_2](https://doi.org/10.1057/9781137509468_2)
41. Prokopenko O., Kudrina O. and Omelyanenko V. 2018 *Analysis of ICT Application in Technology Transfer Management within Industry 4.0 Conditions (Education Based Approach)* *CEUR Workshop Proceedings* **2105** pp 258-273
42. Official Site of Volkswagen Group  
<http://www.volkswagenag.com/vwag/vwcorp/content/en/homepage.html>
43. Official Site of General Motors <http://www.gm.com>
44. Official Site of Ford Motor <http://www.ford.com>
45. Official Site of Toyota <http://www.toyota.com>
46. Official Site of Nissan <http://www.nissan-global.com>
47. Official Site of Tesla <https://www.tesla.com>

## **ПОВТОРНЕ ВИКОРИСТАННЯ ТА ПЕРЕРОБКА ТЕКСТИЛЮ**

**ЄО РОМАНЮК, ВВ СКІДАН, АВ КУРУШКІНА, МА МУЗИЧЕНКО**

*Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала  
Шияновська (Немировича-Данченка), 2, Київ, 01011, romanyuk.yo@kntd.edu.ua*

Повторне використання та переробка текстилю сприяють зменшенню впливу текстильної промисловості на навколишнє середовище, допомагають зекономити кошти та сприяють соціальній свідомості стосовно сталості та охорони навколишнього середовища.

Вплив швидкої моди призводить до вичерпання природних ресурсів та масовим накопиченням текстильних відходів, що має серйозні наслідки для навколишнього середовища. Цей вплив стає особливо значущим, оскільки текстильна промисловість внесла вагому частку в глобальний вуглеродний баланс (близько 8%), викликає значний обсяг забруднення океанів мікропластиком (близько 35%), та промислове забруднення водних ресурсів (приблизно 20%) у всьому світі. Також слід відзначити, що текстильна промисловість виділяє найбільше відходів при найшвидших темпах росту. Протягом останніх двох десятиліть виробництво в цій галузі подвоїлося, що свідчить про зростання споживчого попиту, проте середня кількість циклів використання одягу зменшилася на 36%. В результаті всіх цих факторів викиди текстильних відходів стрімко збільшуються [1, 2].

Повторне використання та переробка текстильних матеріалів сприяють зниженню екологічного впливу, оскільки вони скорочують потребу в виробництві первинних текстильних волокон та уникнення подальших екологічно навантажених процесів у життєвому циклі текстильних виробів, у порівнянні зі спалюванням або захороненням сміття. Але важливо відзначити, що повторне використання часто виявляється більш вигідним, ніж переробка, особливо в умовах, коли фаза повторного використання триває достатньо довго [3]. Повторне використання текстильних матеріалів охоплює різні методи та засоби продовження життєвого циклу текстильних виробів, розширюючи їхню корисну службу від початкового власника до наступних користувачів [4].

Сьогодні, існують різноманітні способи повторного використання текстильних матеріалів, такі як оренда одягу, торгівля вживаними речами, обмін, запозичення та наслідування. Ці засоби надають можливість подовжити термін служби текстильних виробів від початкового власника до наступних користувачів. Найпопулярнішими платформами для повторного використання текстильного одягу стали магазини вживаних речей, гаражні розпродажі, онлайн- та блошині ринки, а також різноманітні благодійні організації. З іншого боку, переробка текстилю включає в себе процес перетворення текстильних відходів, які виникають до та після споживання, в нові текстильні або нетекстильні продукти.

Теоретично текстильні відходи можна майже повністю піддати вторинній переробці, і в сучасному світі широко пропагується концепція "нульових відходів". Проте основні причини низького рівня переробки текстильних відходів включають технічні виклики, пов'язані зі збором, ідентифікацією та сортуванням цих відходів. В наш час активно розробляються та тестуються різноманітні технології для вирішення цих технічних проблем зі збору, ідентифікації та сортування. Також деякі автори вказують, що низький рівень ефективної переробки текстильних відходів пов'язаний із економічними обмеженнями використання вживаного одягу [4].

Переробку текстилю зазвичай класифікують на механічну та хімічну переробки. Механічна переробка відходів дозволяє використовувати їх для різних цілей, таких як оздоблення, будівництво, сільське господарство та інші. Хімічна переробка включає в себе процеси деполімеризації (наприклад, поліестер) або розчинення (наприклад, бавовна і віскоза) полімерів. Ця хімічна переробка дозволяє створювати волокна такої ж якості, як і у первинних матеріалів [3, 5].

З відсортованих текстильних відходів можна здійснювати хімічну обробку для отримання різних ресурсів. Наприклад, використання білкових волокон для виробництва клеїв або отримання целюлозних

волокон для виробництва біоетанолу [5]. Важливим тут постає побудова маршруту переробки текстилю, яку можна класифікувати залежно від характеру задіяних процесів чи рівня розбирання відновлених матеріалів. Переробка тканини полягає у відновленні та повторному використанні тканини в нових виробах. З іншого боку, переробка волокна передбачає розбирання тканини, але збереження вихідних волокон [3].

Переробку текстилю можна поділити на дві основні категорії: переробку із замкнутим циклом та переробку з відкритим циклом. Якщо продукт, виготовлений з переробленого матеріалу, має більш високу якість чи цінність, ніж вихідний продукт, це називається переробкою. Навпаки, коли новий продукт має меншу якість або цінність, цей процес відомий як даунциклінг. Переробка із замкнутим циклом означає переробку матеріалу з продукту та його подальше використання у виробництві більш-менш ідентичного продукту. На відміну від цього, переробка з відкритим циклом включає переробку матеріалу із продукту з метою його подальшого використання у виготовленні іншого продукту. Підходи до переробки із замкнутим циклом дозволяють відновити вихідний матеріал, використаний для виробництва полімерного продукту, та переробити його в такий самий продукт ідентичної якості, як від первинного матеріалу [3, 7].

Крім того, існують різні рівні технологій переробки волокон, включаючи первинну, вторинну, третинну та четвертинну переробку. Основні підходи включають у себе переробку промислових відходів. Вторинна переробка полягає в механічній обробці вживаного товару. Третинна переробка охоплює такі процеси, як піроліз та гідроліз, які перетворюють пластикові відходи на хімічні речовини, мономері або паливо. Четвертинна переробка передбачає спалювання твердих волокнистих відходів і використання виділеної теплової енергії [7].

Отже, повторне використання та переробка текстильних відходів сприяють екологічній стійкості і сприяють максимізації та збереженню сировини, води та енергії. Переробка текстильних відходів приносить численні переваги як з погляду здоров'я людини, так і з погляду загального

екологічного балансу. Навіть якщо кількісно оцінити переваги переробки текстильних відходів є складно, в майбутньому вона має стати так само важливою галуззю, як і виробництво текстилю.

### Література

1. Wójcik-Karpacz A, Karpacz J, Brzeziński P, Pietruszka-Ortyl A, Ziębicki B. Barriers and Drivers for Changes in Circular Business Models in a Textile Recycling Sector: Results of Qualitative Empirical Research. *Energies*. 2023; 16(1):490. <https://doi.org/10.3390/en16010490>
2. Курушкіна А.В. Аналіз можливостей переробки текстильних матеріалів в Україні / А.В. Курушкіна, В.В. Скідан, Є.О. Романюк // Електромеханічні, інформаційні системи та нанотехнології : матеріали II Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції молодих учених та студентів, м. Київ, 20 квітня 2023 року. – Київ : КНУТД, 2023. – С. 96-98. <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/23529>
3. Sandin, G.; Peters, G.M. Environmental impact of textile reuse and recycling – A review. *Journal of Cleaner Production*. 2018, Volume 184, 353–365.
4. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.266>
5. Fortuna, L.M.; Diyamandoglu, V. Optimization of greenhouse gas emissions in secondhand consumer product recovery through reuse platforms. *Waste Management*. 2017, Volume 66, 178–189. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.04.032>.
6. Collective Responsibility. Unspoken Crisis: Mounting Textile Waste in China. 5 July 2018. Available online: <https://www.coresponsibility.com/unspoken-crisis-mounting-textile-waste-in-china> (accessed on 20 June 2019).
7. EC (European Council). Circular Economy in Practice-Reducing Textile Waste. 2017. Available online: <https://ec.europa.eu/easme/en/news/circular-economy-practice-reducing-textile-waste> (accessed on 3 September 2018).
8. Ignatyev, A.I.; Thielemans, W.; Vander Beke, B. Recycling of polymers: A review. *ChemSusChem* 2014, 7, 1579–1593.

## **СТАНІСЛАВ ОРІХОВСЬКИЙ ПРО ДЕРЖАВНО-ПРАВОВІ ІНСТИТУТИ ( I ПОЛ.XVI СТ.)**

**РВ МНОЖИНСЬКА, ДВ ЯКОВЕНКО**

*Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала  
Шияновська (Немировича-Данченка), 2, Київ, 01011, ruslanamnozhynska@gmail.com*

В статті досліджуються погляди на державний політичний устрій, один із важливих аспектів діяльності видатного українсько-польського мислителя першої половини XVI ст., чільного репрезентанта «католицької русі» – С. Оріховського, який істотно вплинув на подальший розвиток духовно-культурних процесів не тільки в Україні, але й у Польщі.

Донедавна побутувала думка, що серед основних християнських конфесій в Україні – православної, католицької, протестантської та уніатської – національною, державотворчою завжди була і є досі лише православна. Що ж до «католицької русі» – українців католицького віросповідання, до яких належить С. Оріховський, то про них широкому загалу досі майже нічого не відомо. Хоча потреба в такого роду знаннях велика. Цим і визначається актуальність теми, а ще тим, що з огляду на європейський вибір України важливо подолати застарілі нігілістичні стереотипи, у тому числі й упередженість щодо нездатності наших мислителів до політичного та філософського осмислення дійсності.

Станіслав Оріховський – представник католицької Русі, священник-гуманіст, публіцист, філософ, історик, письменник. На основі еллінських філософських уявлень та вчення Арістотеля він першим серед українських мислителів вдався до дослідження державно-правових інститутів. Довгий час був знаний майже виключно як польський діяч. Нині маємо всі підстави включити його до нашої культури, передусім тому, що він був свідомим українцем - до свого прізвища неодмінно додавав означення «українець» (Ruthenus, Roxolanus, Russus). У Західній Європі його називали «українським Демостеном» та «сучасним Ціцероном» [1, с. 88].

Вчення про державу і право першого періоду (I пол. XVI ст.) С. Оріховський виклав у латиномовних творах «Відступництво Риму», «Про турецьку загрозу», «Целібат», «Повчання королю польському Сигізмунду-Августу», «Хрещення у русинів», «Хроніки польські», «Промова на похоронах Сигізмунда I Старого», «Розрив з Римом», «Лист до Яна-Франциска Коммендоні» та ін.; другого періоду (кінець 50-х - 60-ті роки XVI ст.) - у працях, написаних теж латиною: «Квінкункс, або Взірець

польської корони», «Політія Польського королівства на кшталт аристотелівських політик», «Діалог, тобто розмова стосовно екзекуції польської корони», «Химера», «Про право природне» та ін. [2, с. 18].

Концептуальне бачення сутності держави і права, їх походження і джерел, ідеального державного управління, змісту і форм влади, взаємовідносин церкви і держави в Оріховського формувалося під впливом вчень Сократа, Платона, Аристотеля, Цицерона (мислитель називав їх давніми «правдами»), Августина, Томи Аквінського, Еразма Роттердамського та інших гуманістів ренесансної доби, біблійних постулатів.

Проблему виникнення права і держави філософ виводив від «героїчної» доби «царювання» Адама і засновника Ізраїльсько-іудейської держави Саула, вважаючи їх «істинними королями», які мали можливість водночас володарювати, священнодіяти, здійснювати правосуддя, захищати підданих і відвойовувати нові землі. До числа «бездоганних королів» він зараховував і таких біблійних героїв, як Сет, Енох і Ной. Богообрані істоти завдяки Божому дару у вигляді розуму і мови виокремились із тваринного світу, об'єднались у суспільство, досягнувши дані їм від природи права, виробили свої «моральні закони». Це дало підставу розрізняти справедливе і несправедливе, правду і неправду, добро і зло, корисне і шкідливе. На підставі суспільного договору між собою, а не за промислом Бога, з метою досягнення «цнотливого життя» у колективі під верховенством найдосконалішої тоді, на думку Оріховського, «влади одного» вони й утворили політію, тобто державу [3, с. 67].

Вирішальне значення у процесі виникнення держави, на думку українського мислителя, мали не так досконалі на той час моральні закони, як «природне прагнення людей один до одного», до гурту, без якого індивід знову міг перетворитися на звіра або ж стати рівним Богові. Держава, як і людина, це теж тіло, але «тіло політичне», і будь-які її частини, відокремлені від цілого, приречені на загибель. Однак «золотий

вік богатирської доби» панування природного права у формі звичаїв, найсправедливішого правління «священиків-королів» у перших політиях, досягнувши свого розквіту за умов чистого і єдиного первісного християнства, швидко почав занепадати, причиною чого було «псування» людьми віри пращурів, правди батьків, поширення язичництва, нехристиянських вірувань та інших форм «відступництва».

Такі «диявольські» процеси, наголошував Оріховський, призвели до поступового виродження справедливих форм правління суспільством і людьми, спотворення праведної «влади одного», поширення зла, зростання злочинності. Перший раз Бог покарав за це людей всесвітнім потопом, але зло і несправедливість вони так і не змогли викорінити і вступили з ними у «злий вік» - сучасний для самого мислителя, вік, близький до другого пришествя [4, с. 54].

Давньогрецькі держави-поліси, за вченням Оріховського, не змогли подолати гріховних наслідків загальнолюдського «відступництва», а навпаки, поглибили їх. Врятувати людство від нового покарання покликана польська держава як «найдосконаліша політія над усіма політіями» періоду князювання Болеслава Хороброго - королювання Сигізмунда Старого. Мислитель викладав оригінальні думки щодо ідеальної форми державного правління, які не тільки багато в чому випереджали пізніші вчення Гроція, Гоббса, Локка, Монтеск'є, Гельвеція, а й значно гуманізували, тобто «моралізували», форми і засоби зміцнення державної влади «макіавеллізму». Монарх є «сторожем держави», а піддані служать йому за внутрішніми переконаннями, за вірою, а не за примусом. Посада короля - виборна, моральний обов'язок - бути «мудрішим і кращим від інших», постійно «дбати і думати про благо народу». Короля обирають «задля держави». Мета держави полягає у задоволенні безпеки і користі громадянина; мета життя громадянина - у турботі про інтереси держави і суспільства. Управління державою - «справа не для однієї людини», оскільки його функції полягають у тому,

щоб змушувати, радити і судити. Отже, це стосується короля (примус), сенату (рада) та суду (правосуддя). Очевидною є ідея поділу влади і обмеження кожної з її гілок законом. Король - лише «вуста закону». Монарх стоїть на сторожі закону, але не може стати «паном закону». Цілком підлеглим закону є і сенат, що об'єднує «найкращих людей благородного походження»: тут не місце особам зажерливим, продажним, слухняним, мовчазним. Приниження ролі сенату, нехтування ним - шлях до ненависної Оріховському тиранії. Лише закон, а не король чи сенат, є управителем незалежного суду. Якщо ж починають брати верх гроші чи сила, держава занепадає [5, с. 132].

Як і в ідеальній державі Платона, суспільство в Оріховського поділене на стани, кожний з яких займається своєю справою: ксьондзи виборюють найвищу духовність і моральність, шляхта захищає державу, купці торгують, ремісники працюють у промислових цехах, селяни вирощують хліб. Однак управлінські функції може виконувати, тільки еліта суспільства - шляхта і духовенство на чолі з королем. Ідеальний монарх є вищим від усіх за своїми діловими і моральними якостями, віддано шанує Бога, мудро править, з мудрими живе, мудрими робить підданих. Це - «найдержавніший з мужів», інтереси якого цілком підпорядковані суспільству, а сила - розуму. Під постійним контролем монарха перебувають добробут громадян, дотримання їх свободи, безпеки, спокою у державі, справедливе збирання податків, відбування військової повинності, здійснення військової реформи, гуртування громадян, розвиток системи освіти, виховання молоді, піднесення науки тощо.

С. Оріховський упевнений, що управління державою є «найважчою у світі справою». Він наголошував на неприпустимості уподібнюватись бджолам і хапатись за все, бо у такому разі король перестане бути лідером, а стане «нещасним підданим нещасної держави». Монарх повинен оточити трон чесними, гідними, талановитими людьми, не схильними до підлабузництва, інтриганства, дворушництва, лукавства. Добирати людей

на державні посади слід не за походженням («титул без чесноти - пусте слово»), а за конкретними справами. Перша прикмета тиранії - невідповідний і несправедливий розподіл посад, титулів, нагород, інших почестей і навіть покарань [6, с. 111].

Не поступалась найкращим середньовічним європейським зразкам обґрунтована С. Оріховським теорія праворозуміння. Закон для нього - «душа і розум держави», але вище від людських законів - природне право як першооснова закону, запорука свободи, рівності і справедливості. Якщо людські закони суперечать природному праву, їх необхідно змінювати або скасовувати. Хто порушує природне право, той «гірший від найзапеклішого ворога». Закон природи є втіленням чесності, гідності, доблесті і мужності, мірило, критерій не тільки свободи, а й рабства, праведного і неправедного, справедливості і несправедливості, добра і зла, прав і обов'язків як громадян, так і правителів, гарантія існування, розвитку і зміцнення держави. Найвище для мислителя право - це «щастя народу» [7, с. 77].

С. Оріховський зробив внесок і в розвиток принципів міжнародного права, особливо щодо питань війни і миру. Мислитель не був апологетом війни і не виправдовував агресію, але твердив, що недотримання однією із сторін ухваленого міжнародного договору звільняє від такого обов'язку іншу сторону і навіть надає їй право розпочати проти порушника договору війну. Таку війну бажано вести на чужій території. Збройні сили слід використовувати мудро, на користь всій державі, а не приватним інтересам. Неодноразово український мислитель нагадував Сигізмунду-Августу про бідування рідного народу, закликав його боронити Русь від нападів численних ворогів, а може, й перенести туди резиденцію короля, оскільки «там найважче», саме там існує постійна небезпека народу [8, с. 115].

Отже, світові та українські вчення епохи Відродження і Реформації створили основу для формування політико-юридичних цінностей та ідеалів

наступних часів, які утверджували самоцінність особистості, свободу індивідуального вибору, гуманістичний світогляд.

### **Література**

1. Оріховський Станіслав. Твори. Упорядк., перекл. з лат. та старопольської, вступна стаття, примітки Володимира Литвинова. К. Дніпро, 2004. 269 с.
2. Sinko T. Erudycja klasyczna Orzechowskiego. – Kraków, 1939. 120 с.
3. Koehler Krzysztof. Stanisław Orzechowski i dylematy humanizmu renesansowego. – Kraków, 2004. 225 с.
4. Kubala L. Stanisław Orzechowski i wpływ jego na rozwój i upadek Reformacji w Polsce. Lwów; Warszawa, 1908. 175 с.
5. Литвинов В.Д. Ренесансний гуманізм в Україні. (Ідеї гуманізму епохи Відродження в українській філософії XV–початку XVII століття. – К. : Основи, 2000. 700 с.
6. Orzechowski St. Wybór pism. – Warszawa etc., 1972. 255 с.
7. Orichoviana. Opera inedita et epistulae Stanislai Orzechowski 1543 – 1566. – Cracoviae, 1891. Vol. I. 240 с.
8. Stanislav Orichovii Opera: De bello adversus Turcas suscipiendo, ad Equites Polonos, Turcica prima. – Basiliae, s.a. 400 с.

## **ПРОТЕЗНІ ЛАЙНЕРИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НАТУРАЛЬНОЇ ШКІРИ ДЛЯ ЇХ РОЗРОБКИ**

**ІБ ЮНГІН, ОР МОКРОУСОВА**

*Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала  
Шияновська, 2, Київ, 01011, iunginivan@gmail.com*

Протези для кінцівок відіграють важливу роль у відновленні функціональності та покращенні якості життя людей з втратою кінцівок. Протягом років вивчалися та використовувалися різні матеріали для розробки протезних кінцівок. З цих матеріалів, шкіра здобула увагу як потенційний альтернативний матеріал завдяки своїм унікальним властивостям. У цій роботі надано огляд використання шкіряного матеріалу для протезних лайнерів, обговорюючи його переваги, виклики та перспективи застосування.

На сьогодні за оцінками експертів ООН особи з інвалідністю складають приблизно 10% від усього населення планети (при коливаннях цього показника від 1 до 27%). В Україні кількість таких осіб становить близько 2,7 млн, з них 23% особи з інвалідністю з порушеннями опорно-рухового апарату [1]. Через війну в Україні кількість військових, поранення яких призвело до ампутації кінцівки, визначається тисячами. Крім того, число військових і цивільних осіб, які потребують протезування і реабілітації після поранення постійно зростає. Протези для кінцівок мають на меті імітувати функцію та зовнішній вигляд природних кінцівок, і вибір матеріалів має великий вплив на загальну продуктивність та комфорт використання [2]. Захист м'яких тканин залишкових кінцівок для людей з нижніми ампутаціями є складним викликом. На відміну від плантарних тканин непошкодженої стопи, м'які тканини залишкової кінцівки не звикли до навантажень. В результаті, навантаження, які передаються на залишкову кінцівку протезним ложем, можуть спричиняти виразки та інші проблеми шкіри [3]. Одним із непомітних, але важливих частин протезу є лайнер, що забезпечує прилягання протезу до шкіряного покриву людини та зумовлює комфорт носіння протезу та якість життя власника протезу. Лайнери є покриттям, яке носить на залишковій кінцівці перед протезним гніздом [4]. Вони відіграють важливу роль з точки зору зручності носіння та гігієни [5].

Метою нашої роботи є дослідження матеріалів природнього походження та методів їх обробки для надання покращених властивостей з подальшим застосуванням як протезних лайнерів. Вибір правильного лайнера залежить від рівня активності та потреб користувачів, а також від системи підвішування протезної ноги [6]. Хоча лайнери забезпечують зручність носіння користувачам, виникає незручність через потовиділення та недостатню повітропроникність. У протезних лайнерах, які використовуються для покриття і носіння на залишковій кінцівці перед установкою гнізда протезу, застосовуються різні матеріали з метою забезпечення комфорту, захисту і довговічності. Деякі з найпоширеніших матеріалів для лайнерів протезів включають [6-8]:

1) Силікон: силіконові лайнери є дуже популярними через свою м'якість, гнучкість і добру амортизацію. Вони надають комфортний прилягання до залишкової кінцівки, захищають від тертя і допомагають знизити ризик виникнення рани або подразнення шкіри.

2) Поліуретан: лайнери з поліуретану мають високу міцність і довговічність. Вони забезпечують стабільну підтримку і захист залишкової кінцівки, а також добре амортизують удари і збільшують стійкість протезу.

3) Термопластичний еластомер (ТПЕ): цей матеріал поєднує властивості гуми і пластика, забезпечуючи гнучкість, комфорт і добру амортизацію. Він також добре прилягає до шкіри і забезпечує захист від тертя.

4) Гелеві матеріали: гелеві лайнери мають м'яку текстуру і добру амортизацію. Вони надають комфортне прилягання, захищають від тертя і допомагають розподілити тиск рівномірно.

5) Текстильні матеріали: деякі лайнери можуть містити текстильні компоненти, такі як спеціальні тканини або волокна, які забезпечують додаткову амортизацію, вентиляцію і контроль вологості.

6) Натуральна шкіра високої якості: здатна компенсувати недоліки вищезазначених матеріалів та є найбільш комфортною для носіння таких типів приладь.

У минулому лайнери виготовлялися з відкрито- та закритоклітинних пінь, які обгортали залишкову кінцівку. В практиці все ще використовуються пінові лайнери, але сучасні лайнери зазвичай виготовляються з силікону або інших еластомерів та надягаються на залишкову кінцівку. Вважається, що ці лайнери, які надягаються, надають краще підвішування, міцність та амортизацію, ніж пінові [9]. Серед проблем використання лайнерів, виготовлених з різних матеріалів, зазначають подразнення шкіри, підвищене потовиділення, що призводить до розвитку й акумуляції бактеріальних клітин та формування біоплівки, неприємного запаху, а також швидке зношення внаслідок постійного тертя та нестабільність прилягання [11]. У цьому контексті шкіра має переваги завдяки своїм колагеновим волокнам потрійної спіралі і, ймовірно, є ідеальним альтернативним природним матеріалом для синтетичних лайнерів. Шкіра має кілька переваг, що роблять її придатною для протезування кінцівок. Серед цих переваг – міцність, здатність пристосовуватися до різних форм, дихаюча властивість та стійкість до зношування. Для виготовлення протезних лайнерів використовують м'яку шкіру високої якості, зазвичай, виготовлену з сировини овчини. Використання шкіри у лайнерах може забезпечити покращений комфорт, зменшити потовиділення та запобігти дискомфорту, спричиненому тертям. Крім того, шкіряні ремені та подушечки можуть забезпечити регульовану підтримку та покращити загальну прилягання [12].

Беручи до уваги основні проблеми, пов'язані з використанням протезних лайнерів, задачами, що стоять перед дослідниками в цій сфері, мають бути оптимізація технології виготовлення шкір для протезних лайнерів з урахуванням процесів безхромового дублення, розробка складу антимікробної композиції шкіри для запобігання розвитку біоплівки та

покращення гігієнічних властивостей шкіри для терморегуляції та компенсації потовиділення, а також дослідження інноваційних способів покращення міцності та зносостійкості [10].

Так, наприклад, у дослідженні Abram et al, 2021 [13] було протестовано 12 типів поверхні протезних та ортопедичних матеріалів на ступінь прикріплення бактерій *Staphylococcus aureus* та *Staphylococcus epidermidis*, а також, як шорсткість, гідрофобність і заряд поверхні цих матеріалів впливають на прикріплення. Шорсткість, кут контакту, дзета-потенціал поверхонь матеріалів та ступінь прикріплення *Staphylococcus aureus* та *Staphylococcus epidermidis* були виміряні на всіх дванадцяти протезних та ортопедичних матеріалах, а саме: поліметилметакрилат, термопластичний еластомер, три типи етиленових полівінілових ацетатів (чистий, з поліетиленом низької щільності та з наночастинками срібла), силікон, закритоклітинні поліетиленові піни з і без наночастинок, термо та природний корк, штучна та натуральна шкіра. Найбільший ступінь прикріплення встановлено для закритоклітинних поліетиленових пінах, за якими слідували штучний термокорк і шкіра. Найменша ступінь прикріплення встановлено на етилен-вініловому ацетаті. Ступінь прикріплення бактерій зростає зі збільшенням шорсткості поверхні [13]. З огляду на такі результати, важливим є надання антимікробних властивостей натуральній шкірі як матеріалу, що має перспективи використання у розробці та виробництві протезів для кінцівок. Крім того, на основі шкіри можливе розроблення волоконно-армованого матеріалу, який також зарекомендував себе як перспективний матеріал для виробництва протезних лайнерів [14].

Таким чином, натуральні шкіри мають потенціал як перспективної альтернативи в протезуванні кінцівок завдяки унікальному поєднанню властивостей, таких як міцність, гнучкість та гігієнічні характеристики. Незважаючи на виклики, постійні дослідження та прогрес в шкіряному матеріалознавстві надають можливості подолати обмеження та розширити

використання шкіри в створенні деталей протезів. Майбутні розробки на основі технологічних особливостей виробництва шкіри мають потенціал покращити комфорт користувачів та функціональність протезних виробів.

### Література

1. Семенець, В. В., Носова, Т. В., Салєєва, А. Д., Белєвцова, Л. О., & Солнцева, І. Л. Виробничі технології та матеріали. Харків, **2022**. 94 с.
2. Klute, G. K., Glaister, B. C., & Berge, J. S. Prosthetic liners for lower limb amputees: a review of the literature. *Prosthetics and orthotics international*. **2010**, 34(2), 146-153.
3. Richardson, A., & Dillon, M. P. User experience of transtibial prosthetic liners: a systematic review. *Prosthetics and orthotics international*. **2017**, 41(1), 6-18.
4. Silver-Thorn, B., Steege, J. W., & Childress, D. S. A review of prosthetic interface stress investigations. *Journal of rehabilitation research and development*. Veterans Administration, 1996. 14 p.
5. Sankaran, S., Murugan, P. R., Johnson, J. C., Abdullah, H. J. S., Raj, C. M. N., & Ashokan, D. Prevention of skin problems in patients using prosthetic limb: A review of current technologies and limitations. In *2019 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)* **2019**. IEEE. P.0077-0081.
6. Miyata, Y., Sasaki, K., Guerra, G., & Rattanakoch, J. Sustainable, affordable and functional: Reimagining prosthetic liners in resource limited environments. *Disability and Rehabilitation*. **2022**, 44(12), 2941-2947.
7. Paternò, L., Dhokia, V., Menciassi, A., Bilzon, J., & Seminati, E. A personalised prosthetic liner with embedded sensor technology: A case study. *BioMedical Engineering OnLine*. **2020**, 19, 1-20.
8. McGrath, M., McCarthy, J., Gallego, A., Kercher, A., Zahedi, S., & Moser, D. The influence of perforated prosthetic liners on residual limb wound healing: a case report. *CANADIAN PROSTHETICS & ORTHOTICS JOURNAL*. **2019**, 2(1).

9. Han G, Ceilley R. Chronic wound healing: a review of current management and treatments. *Adv Ther.* **2017**;34(3):599-610.
10. Xie, J., Liu, X., Tang, J., Li, X., & Li, W. Study on friction behavior at the interface between prosthetic socket and liner. *Acta of Bioengineering & Biomechanics.* **2021**, 23(1).
11. Luan, H., BI, J., Wu, S., Ren, W., Liu, H., Zhang, Y., & LI, Z. Cytotoxicity and mechanical properties of the prosthetic liner. *Chinese Journal of Rehabilitation Theory and Practice.* **2022**, 479-483.
12. Abram, A., Zore, A., Lipovž, U., Košak, A., Gavras, M., Boltežar, Ž., & Bohinc, K. Bacterial Adhesion on Prosthetic and Orthotic Material Surfaces. *Coatings.* **2021**, 11(12), 1469.
13. Kumar, S., & Bhowmik, S. Potential use of natural fiber-reinforced polymer biocomposites in knee prostheses: a review on fair inclusion in amputees. *Iranian Polymer Journal.* **2022**, 31(10), 1297-1319.
14. Mahajan, S. M., Sneha, V. P., Pratiksha, N. M., & Abhijit, K. B. Design and development of prosthetic legs. *International Journal of Engineering and Management Research (IJEMR).* **2019**, 9(2), 91-95.

## **МЕТОДИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ТА МОЖЛИВОСТІ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

ОВ ПАВЛІЙ<sup>1</sup>, ОА КРЮКОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*ТОВ «Науково-виробнича фірма «Діагностичні прилади»,  
вул. Патріотів, 103, Київ, 03061*

<sup>2</sup>*Київський національний університет технологій та дизайну,  
вул. Мала Шияновська, 2, Київ, 01011*

Зроблено огляд методів неруйнівного контролю та практики застосування рентгенівського контролю готових металевих виробів адитивного виробництва. Наведено результати досліджень виконаних в лабораторії неруйнівного контролю ТОВ «Науково-виробнича фірма «Діагностичні прилади». Дослідження проведенні методом плівкової радіографії зразків з титану, отриманих за допомогою електронно-променевої технології xBeam 3D Metal Printing. За результатами досліджень зроблено висновки про контролепридатність виробів. Запропоновано шляхи подальшого вдосконалення технології рентгенівського контролю металевих виробів адитивного виробництва.

*Ключові слова:* адитивне виробництво, 3D-друк, неруйнівний контроль, радіографія, дефектоскопія.

Неруйнівні методи контролю (НК) та діагностики займають одне з важливих галузей знань в сучасних технічних науках. Ці методи використовуються при виробництві та експлуатації життєвоважливих виробів, компонентів і конструкцій (будинків, залізничних рельсів, літаків, морських суден, нафто та газопроводів та іншого обладнання). Сучасна наука налічує більше десяти методів неруйнівних досліджень, що знайшли своє використання в промисловості, в енергетиці, на виробництві, транспорті, тощо. Розглянемо методи, що мають наймасовіше застосування, які можуть знайти своє використання при виробництві виробів адитивних технологій.

Всі методи засновані на взаємодії фізичного поля з об'єктом дослідження. Це можуть бути електромагнітні поля, акустичні коливання, жорстке гамма- або рентгенівське випромінювання (що по суті теж є електромагнітним полем).

По способу застосування методи поділяються на групи по глибині виявлення дефектів. Для виявлення поверхневих дефектів використовують найчастіше:

- візуальний (або візуально-оптичний метод) VT;
- метод проникних речовин РТ;
- магнітопорошковий метод МТ;
- вихрострумовий (електромагнітний) метод ЕТ.

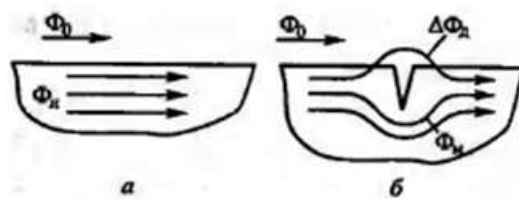
Для виявлення дефектів, що не виходять на поверхню, як правило, використовують акустичний UT або радіографічний RT методи.

Нижче описані ключові фізичні принципи кожного з вказаних методів. Візуальний контроль VT проводиться як огляд виробу, що контролюється неозброєним оком або з застосуванням оптичних приладів - луп, дзеркал. Лупи застосовуються для збільшення роздільної здатності ока, тобто дозволяють розглянути більш дрібні деталі об'єкта контролю. На даний момент для огляду важкодоступних місць, застосовуються відеоендоскопи, що дозволяють оглянути внутрішні поверхні об'єктів, що підлягають огляду. Під час візуального контролю оператор повинен виявити неозброєним оком дефект типу тріщини або точки корозії розміром від 0,1 мм і більше.

Методи проникних речовин РТ засновані на капілярному проникненні індикаторних рідин у порожнини поверхневих і наскрізних несучильностей матеріалу об'єкта контролю та реєстрації індикаторних слідів, що утворюються, візуально або за допомогою перетворювача. Методи дозволяють виявляти поверхневі (виходять поверхню) і наскрізні (з'єднуючі протилежні поверхні стінки об'єкта контролю (ОК)) дефекти. За продуктивністю РТ значно перевершують методи VT. Проте протиставляти ці методи некоректно. Області застосування VT та РТ практично не перетинаються. Розмір мінімального дефекту для VT, що виявляється, відповідає розміру максимального дефекту, що виявляється РТ. Тобто, ці методи взаємно доповнюють одне одного. Методи проникних речовин застосовують також для об'єктів, для яких застосування магнітопорошкового контролю неможливе або недоцільне.

Магнітна дефектоскопія МТ – це окремий випадок магнітного неруйнівного контролю, який передбачає спосіб виявлення дефектів у вигляді порушення цілісності в об'єктах з феромагнітних матеріалів.

Суть методу – реєстрація магнітних полів розсіювання поблизу цих дефектів. При розміщенні в однорідне магнітне поле об'єкта контролю, що не має дефектів і різкої зміни форми, магнітний потік  $\Phi_m$  буде проходити по шляху найменшого опору через матеріал, практично не виходячи за межі об'єкта (рис. 1а). Деяка незначна частина магнітного потоку  $\Phi_0$  може проходити по повітрю. Це пов'язано з тим, що магнітний опір матеріалу (металу) набагато менше опору повітря, оскільки цей опір обернено пропорційний магнітній проникності. При наявності тріщини, перпендикулярних напрямку магнітного потоку, виникає перешкода у вигляді повітряного проміжку, що різко збільшує магнітний опір на цій ділянці. Тому потік  $\Phi_m$  буде в основному огинати тріщину знизу. Разом з тим, частина потоку буде замикатися в повітря над тріщиною, тобто виникає потік розсіювання над дефектом  $\Delta\Phi_d$  (рис. 1б).



**Рисунок 1** – Схема проходження магнітного потоку через матеріал.

При використанні методу магнітопорошкової дефектоскопії (МПД) на намагнічену деталь наноситься магнітний порошок або магнітна суспензія, що представляє собою дрібнодисперсну суспензію магнітних частинок в рідині. Частинки феромагнітного порошку, що потрапили в зону дії магнітного поля розсіювання, притягуються і осідають на поверхні поблизу місць розташування несутцільностей. Ширина смуги, по якій відбувається осідання магнітного порошку, може значно перевищувати реальну ширину дефекту. Внаслідок цього навіть дуже вузькі тріщини можуть фіксуватися за осілим частинкам порошку неозброєним оком.

Реєстрація отриманих індикаторних малюнків проводиться візуально або за допомогою пристроїв обробки зображення.

Вихрострумний неруйнівний контроль (ЕТ) ґрунтується на аналізі взаємодії зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрових струмів, що наводяться котушкою збудження в електропровідному ОК. Щільність вихрових струмів в ОК залежить від його геометричних і електромагнітних параметрів, стану поверхні, наявності дефектів та взаємного розташування вихрострумного перетворювача (ВСП) і ОК. В якості перетворювача зазвичай використовують індуктивні котушки (одну або декілька).

Синусоподібний або імпульсний струм, що діє в котушці збудження ВСП, створює електромагнітне поле, яке в електропровідному ОК породжує вихрові струми. Електромагнітне поле цих струмів діє на котушки ВСП, наводячи в них електрорушійну силу (е.р.с.) або змінюючи їх комплексний електричний опір. Щільність вихрових струмів зменшується із заглибленням в матеріал ОК, тому ЕТ ефективний тільки для контролю поверхневих і підповерхневих шарів ОК.

Також існують інші методи неруйнівного контролю, що мають специфічне використання — електричний, радіохвильовий, тепловий.

В даній статті проводиться оцінка можливостей використання методів для контролю якості продукції адитивного виробництва.

Як відомо, адитивне виробництво - це метод побудови будь-яких предметів за їхньою 3D-моделлю. Процес ще називають «вироснуванням», тому що виріб виготовляється поступово, шар за шаром. Залежно від типу технології, створення предмета може відбуватися знизу вгору або зверху вниз. Наразі адитивне виробництво більше відоме під назвою «3D-друк». Також до продуктів адитивного виробництва відносять вироби, що отримують за допомогою технологій плазмово-індукційного вирощування або електронно-променевої технології. Особливості цього виду виробництва в змінній структурі готового виробу, якщо порівнювати з

традиційною технологією лиття або ковки, чи механічною обробкою заготовок.

В зв'язку з цим традиційний підхід до контролю якості може бути не в повній мірі застосовано до продукції 3D-друку. Однак, при відповідній підготовці поверхні виробу та адаптації технології контролю можна отримати цілком прийнятні результати.

Для виявлення поверхневих невідповідностей перш за все використовують візуальну оцінку. Якщо візуально виріб відповідає вимогам замовника — далі в залежності від виробу та вимог можуть бути застосовані інші фізичні методи досліджень.

Наукові установи в світі досліджують можливості використання неруйнівних методів для виявлення різних типів невідповідностей і в процесі розвитку технологій оцінки суттєво змінюються.

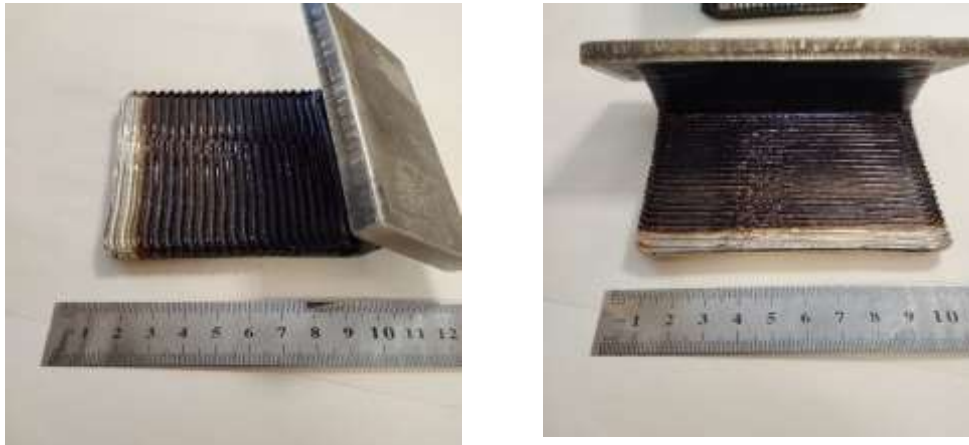
Було проведено низку досліджень за допомогою класичної радіографії зразків виробів з титану отриманих за допомогою електронно-променевої технології xBeam 3D Metal Printing люб'язно наданих колегами з ІЕЗ ім. Патона [2].



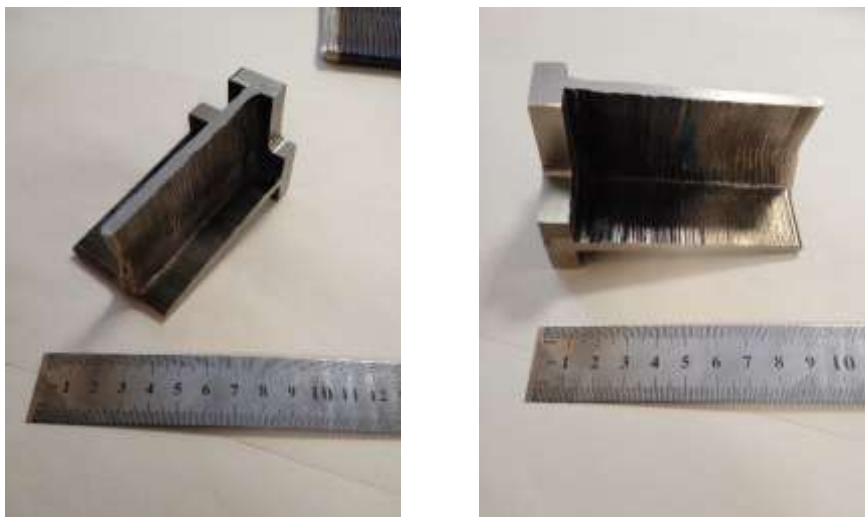
**Рисунок 2** – Зразок №1 — Матеріал титан товщина 10 мм розмір 100x100x30 мм, поверхня після 3D друку частково шліфувана

Також було проведена оцінка контролепридатності виробів отриманих за допомогою технології плазмово-індукційного вирощування надвеликих тугоплавких монокристалів вольфраму у формі тіл

обертання [3]. Об'єктом дослідження були зразки з титану вироблені по технології xBeam 3D Metal Printing.



**Рисунок 3** – Зразок №2 — Матеріал титан товщина 10 мм розмір 100x100x30 мм, поверхня після 3D друку



**Рисунок 4** – Зразок №3 — Матеріал титан товщина 5 мм розмір 90x50x50 мм, поверхня після 3D друку Т-подібна форма

Результати рентгенівських досліджень металевих виробів виконані в лабораторії неруйнівного контролю ТОВ «Науково-виробнича фірма «Діагностичні прилади». Джерело випромінювання: генератор рентгенівського випромінювання Baltospot GFD165 (максимальна прискорююча напруга на рентгенівській трубці 160 кВ, струм 5 мА).

Фокусна відстань 600 мм, напруга — 100 кВ, струм 5 мА. Рентгенівська плівка Fujifilm IX 80 (С4 згідно ISO 11699-1 ), час експозиції для виробів товщиною 10 мм — 1 хвилина 30 секунд, для виробів з

товщиною 5 мм — 25 секунд. Час експозиції залежить від номограм експозиції для кожного типу плівки, а також від особливостей генератора рентгенівського випромінювання.

Також використовувались індикатори якості зображень (ІЯЗ) відповідно до ДСТУ ISO 19232-1, відповідного матеріалу (титан).



**Рисунок 5** – Генератор рентгенівського випромінювання Baltospot GFD165

Отримані рентгенівські знімки (рис. 6, 7, 8) демонструють, що виробу можна роздивитись та провести оцінку відповідно до нормативних документів. Індикатори якості зображення фіксуються, та по номеру еталонного дроту або канавки можна оцінити наявність недопустимих дефектів об'ємного типу.



**Рисунок 6** – Рентгенівський знімок зразка № 1 (поверхня зразка після 3D друку)

Поверхня зразка частково шліфувана (нижня частина знімка) номер дроту на ІКІ W11 – D 0,32 мм. Чітко видно неоднорідність густини. Отриманий результат демонструє, що чутливість цього методу відповідає 3%, що є прийнятним згідно ДСТУ EN ISO 19232-1:2016.



**Рисунок 7** – Рентгенівський знімок зразка № 2 (поверхня зразка після 3D друку)

Видно, як і в першому зразку неоднорідність густини, що відповідає кроку проходу електронного променю. На ІЯЗ №32 чітко видно всі канавки, а на ІЯЗ №31 канавка №4 — D-0,1мм. Відповідно до ГОСТ 7512 чутливість методу складає 1%.



**Рисунок 8** – Рентгенівський знімок зразка № 3

Для зразка Т-подібної форми кут опромінення складає приблизно  $60^{\circ}$ , що призводить до зміни радіаційної товщини на різних ділянках

зразка. На знімку видно неоднорідність оптичної густини. Для достовірного контролю виробів складної форми слід робити декілька експозицій з різним часом (оптимально розрахувати під кожну радіаційну товщину). Отриманий результат демонструє, що чутливість цього методу відповідає 4% відповідно до ДСТУ EN ISO 19232-1:2016.

### **Висновки**

Серед методів НК рентгенівський контроль має великий потенціал для контролю виробів адитивного виробництва. Титанові зразки адитивного виробництва, досліджені в лабораторії ТОВ «НВФ «Діагностичні прилади» є контролепридатними для рентгенівського методу контролю. Результати досліджень показали, що якість рентгенівських зображень може бути цілком прийнятна для дослідження виробів 3D-технологій. За результатами проведених досліджень рекомендовано на етапі розробки конструкторської документації на вироби та технологію ввести коректні критерії прийомки у відповідності до міцнісних характеристик адитивних матеріалів.

### **Література**

1. M.J. Quintana, Y. Ji, P.C. Collins: A perspective of the needs and opportunities for coupling materials science and nondestructive evaluation for metals-based additive manufacturing. Журнал “Технічна діагностика та неруйнівний контроль”- №3, 2023.
2. Д.В. Ковальчук, В.Г. Мельник, І.В. Мельник, Б.А. Тугай. Технологія xBeam 3D Metal Printing на шляху до промислового виробництва. Сучасна електрометалургія, 2020, №3, с.30-34.
3. В.О. Шаповалов, Ю.О. Никитенко, О.М. Гніздило, В.Р. Бурнашев, О.В. Карускевич, Т.І. Дубова, В.В. Якуша. Дослідження енергетичного балансу в системі кристал–високочастотний нагрівальний модуль при плазмово-індукційному вирощуванні монокристалів тугоплавких металів. Сучасна електрометалургія, 2022, №4, с.27-33.
4. ДСТУ EN ISO 19232-1:2016 (EN ISO 19232-1:2013, IDT; ISO 19232-1:2013, IDT) Неруйнівний контроль. Якість зображення радіографічних знімків. Частина 1. Визначення показника якості зображення за допомогою індикатора якості зображення дротового типу.

## **ЗАСТОСУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ГОТОВИХ МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА**

СГ ГЛАБЕЦЬ<sup>1,2</sup>, ІЯ КУХТА<sup>1</sup>, ОА КРЮКОВА<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ТОВ «Науково-виробнича фірма «Діагностичні прилади»,  
вул. Патріотів, 103, Київ, 03061

<sup>2</sup> ТОВ «Науково-виробнича фірма «Ультракон», проспект Відрадний, 95Є, Київ, 03061

<sup>3</sup> Київський національний університет технологій та дизайну,  
вул. Мала Шияновська, 2, Київ, 01011

Зроблено огляд процесів адитивного виробництва та практики застосування ультразвукового контролю готових металевих виробів адитивного виробництва. Зроблені рекомендації щодо використання методів неруйнівного контролю для виявлення дефектів та механічних властивостей готових виробів.

*Ключові слова:* адитивне виробництво (АМ), 3D-друк, неруйнівний контроль, ультразвуковий контроль, лазерний ультразвуковий контроль, оцінка дефектів.

Адитивне виробництво (АМ), також відоме як 3D-друк, формування твердого тіла або швидке прототипування, є революційною технікою виробництва, яка очікується, що змінить майбутнє виробничих галузей [1]. У 2018 році галузь АМ перевищила 7,3 мільярда доларів США, що на 21% є вищим у порівнянні з 2017 роком, і очікується, що до 2023 року вона підніметься до 26,2 мільярда доларів США [2, 3]. На відміну від традиційного виробництва, при якому продукт формується шляхом введення тиску або вирізання з твердого блоку, в адитивному виробництві матеріал точно наноситься на бажані місця за допомогою комп'ютерно-проектувальної системи (CAD) та 3D-сканерів [4-6]. Матеріал додається шар за шаром для виготовлення компонентів близьких до форми зі складною геометрією. У процесах адитивного виробництва використовуються різні будівельні матеріали, включаючи пластик, метали і кераміку. Однією з основних перешкод у широкому поширенні АМ в промисловості є складність виявлення та оцінки дефектів в АМ-продуктах [7, 8]. Для ефективного виявлення різних дефектів на різних рівнях АМ-продуктів використовуються удосконалені методи неруйнівного контролю (НК). Серед цих дефектів переважна більшість належить пористості. Пори можуть бути або газовими порами, або несплавленими [9]. Багаточисельні

процеси АМ та різні параметри, пов'язані з кожним процесом, ускладнюють НК продуктів адитивного виробництва [10, 11]. Складність геометрії багатьох компонентів АМ вимагає відповідного вибору технології НК для найкращого виявлення дефектів. У деяких випадках використовується комбінація методів НК для більш ефективного виявлення дефектів у важливих компонентах [12-14].

У широкому розумінні технології виробництва можна класифікувати як формувальні, видаляючі і додавальні (адитивні). У формувальних процесах, наприклад, прокатуванні та куванні, бажаний продукт виготовляється шляхом контрольованого навантаження на сировинний матеріал [15]. У видаляючих процесах виробництва, таких як свердління, точіння та фрезерування, кінцевий продукт отримується шляхом контрольованого видалення матеріалу [16].

У таблиці наведені різні матеріали та технології, які використовуються для адитивного виробництва.

**Таблиця – Процеси адитивного виробництва [15, 18]**

| Технологія                         | Процес                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Матеріал                                                 |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Видування матеріалу                | Моделювання розплавленим нанесенням (FDM)<br>Формування з розплавленої нитки (FFF)<br>Робокастинг                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Полімери та пластики                                     |
| Напрявлене нанесення енергії (DED) | Лазерне інженерне формування металевих виробів (LENS®)<br>Надзвукове нанесення частинок (SPD) або холодне розпилення (CS)<br>Лазерне адитивне виробництво (LAM)<br>Лазерне порошкове нанесення (LPD)<br>Дріт + дугове адитивне виготовлення (WAAM)<br>Напрявне металеве нанесення (DMD)<br>Лазерне металеве нанесення (LMD)                                                                                                                                         | Металічний порошок, металевий дріт та керамічний порошок |
| Сплавлення порошкового ложа (PBF)  | Багатоструменеве сплавлення (MJF)<br>Пряме лазерне спікання металу (DMLS)<br>Пряме лазерне плавлення металу (DMLM)<br>Електронне плавлення пучком (EBM)<br>Вибіркове теплове спікання (SHS)<br>Вибіркове лазерне плавлення (SLM)<br>Вибіркове лазерне синтерування (SLS)<br>HP Jet Fusion Високошвидкісне спікання Лазерне лиття (LaserCUSING)<br>Пряме металеве виробництво (DMP)<br>Лазерне сплавлення металу (LMF)<br>Лазерне сплавлення порошкового ложа (LPBF) | Метали, пластикові, керамічні порошки та пісок           |

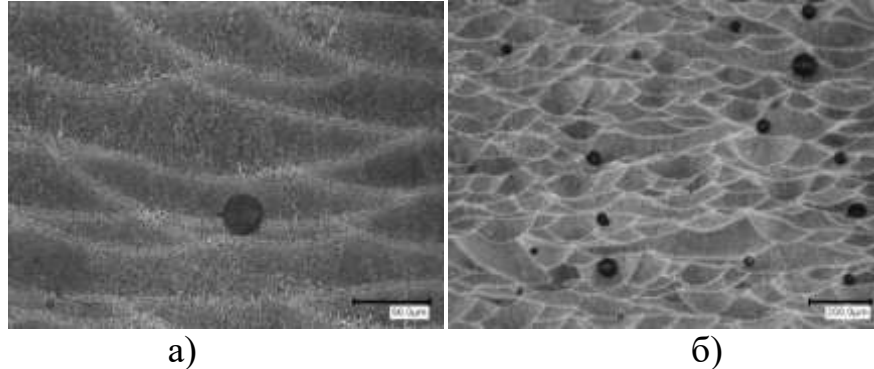
|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                          |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Випускання струменя матеріалу | Поліструменевий<br>Випускання струменя матеріалу, з затвердінням під дією УФ<br>Друк з гладкими кривизнами (SCP)<br>Багатоструменеве моделювання (MJM)<br>Випускання за запитом (DOD)<br>Струменева обробка наночастинками (NPJ)                                                                                                                    | Фотополімери, воски та композити         |
| Струменеве зв'язування        | ExOne (компанія, що розробляє 3D-друкарні) VoxelJet (компанія, що розробляє 3D-друкарні)<br>Друк на порошковому шарі<br>Нанесення крапель на порошок<br>Адитивне виробництво зв'язуючим струменем (BJAM)                                                                                                                                            | Пластмаси, метали, скло, пісок, кераміка |
| Ламінування листів            | Виготовлення ламінованих об'єктів (LOM)<br>Селективне нанесення ламінування (SDL)<br>Ультразвукове адитивне виробництво (UAM)<br>Виробництво композитних об'єктів вибіркоvim ламінуванням (SLCOM)<br>Ламінування пластикових листів (PSL)<br>Ультразвукова консолідація (UC)<br>Комп'ютерне виробництво ламінованих інженерних матеріалів (CAM-LEM) | Пластмаси, паперові і металеві листи     |
| Фотополімеризація у ванні     | Апарат для стереолітографії (SLA)<br>Цифрова обробка світла (DLP)<br>Безперервна цифрова обробка світла (cDLP)<br>Сканувальне, обертальне та селективне фотоутворення (3SP)<br>Безперервне виробництво на рідкому інтерфейсі (CLIP)                                                                                                                 | Фотополімерні смоли                      |

При адитивному виробництві існують два основні виклики: контроль якості процесу та опис характеристик виготовлених виробів [19]. Виробництво АМ може супроводжуватися різними дефектами, які поділяються на поверхневі та внутрішні. Хоча ультразвуковий контроль (УЗК) використовується для виявлення як поверхневих, так і внутрішніх дефектів, здатність методу УЗК виявляти внутрішні дефекти викликає великий інтерес серед дослідників та інженерів на практиці.

Найважливішим дефектом, який потрібно виявити в металевих виробах адитивного виробництва, є пористість [20]. Пористість у виробах АМ є місцем концентрації напружень, що призводить до виникнення тріщин та зменшення несучої спроможності матеріалів [8, 21]. Пористість у виробах АМ поділяється на газову та пористість, пов'язану з відсутністю сплавлення (LOF) [9].

На рисунку показані приклади газової пористості та пористості, пов'язаної з відсутністю сплавлення, що спостерігались в зразках

AlSi10Mg, виготовлених методом селективного лазерного плавлення (SLM) [22]. Газові пори мають кульоподібну форму і утримуються в частках порошку або інертних газах, що утворюються під час процесу плавлення.



**Рисунок** – а) газова пористість, б) пористість, пов'язана з відсутністю сплавлення в зразках, виготовлених методом селективного лазерного плавлення (SLM) [22]

Пористість, пов'язана з відсутністю сплавлення (LOF), представляє собою невеликі порожнини, утворені через неналежні параметри обробки, що призводять до неправильного затвердіння матеріалу, перш ніж він повністю злився з іншими частинами [9]. Thijs та ін. [23] вивчали два зразки Ti-6Al-4V, виготовлені методом селективного лазерного плавлення (SLM) із кроками між шарами 50 мкм і 100 мкм і виявили, що збільшення міжшарового кроку сприяє утворенню пористості, пов'язаної з відсутністю зварювання. Taheri та ін. [8] розглядали дефекти, які можуть виникнути в процесі плавлення порошкового ложа (PBF) та методи НК, які можна використовувати для їхнього виявлення та оцінки.

Серед методів НК ультразвуковий контроль має великий потенціал для контролю виробів адитивного виробництва. Встановлено, що серед різних методів НК радіографія та ультразвуковий контроль є найбільш перспективними. Показано, що такі дефекти як пористість, тріщини та мікроструктурні аномалії, ефективно виявляються за допомогою УЗК. Ультразвуковий контроль також доцільно використовувати для визначення характеристик механічних властивостей готових виробів АМ.

## Література

1. M. Jiménez, L. Romero, I. A. Domínguez, M. d. M. Espinosa, and M. Domínguez, "Additive Manufacturing Technologies: An Overview about 3D Printing Methods and Future Prospects," *Complexity*, vol. 2019, 2019.
2. M. TJ. "Wohlers Report 2018: 3D Printer Industry Tops Billion." <https://www.forbes.com/sites/tjmccue/2018/06/04/wohlers-report-2018-3d-printer-industry-rises-21percent-to-over-7-billion/#3acd6e412d1>
3. A. A. Hassen and M. M. Kirka, "Additive Manufacturing: The rise of a technology and the need for quality control and inspection techniques," *Materials Evaluation*, vol. 76, no. 4, pp. 438-453, 2018.
4. K. V. Wong and A. Hernandez, "A review of additive manufacturing," *ISRN Mechanical Engineering*, vol. 2012, 2012.
5. E. P. M. Association. *Introduction to Additive Manufacturing Technology*, 2018.
6. *Principles—Terminology, Additive Manufacturing—General*, ISO/ASTM52900, Geneva, Switzerland, 2015.
7. 7."Measurement Science Roadmap for Metal-Based Additive Manufacturing," National Institute of Standards and Technology (NIST), 2013.
8. H. Taheri, M. R. B. M. Shoaib, L. Koester, T. Bigelow, P. C. Collins, and L. J. Bond, "Powder-based additive manufacturing—a review of types of defects, generation mechanisms, detection, property evaluation and metrology," *International Journal of Additive and Subtractive Materials Manufacturing*, vol. 1, No. 2, p. 172, 2017.
9. F. H. Kim and S. P. Moylan, "Literature Review of Metal Additive Manufacturing Defects," 2018.
10. J. M. Waller, B. H. Parker, K. L. Hodges, E. R. Burke, and J. L. Walker, "Nondestructive evaluation of additive manufacturing state-of-the-discipline report," 2014.

11. L. W. Koester, H. Taheri, T. A. Bigelow, P. C. Collins, and L. J. Bond, "Nondestructive testing for metal parts fabricated using powder-based additive manufacturing," *Materials Evaluation*, vol. 76, No. 4, pp. 514-524, 2018.
12. S. Everton, P. Dickens, C. Tuck, and B. Dutton, "Using Laser Ultrasound to Detect Subsurface Defects in Metal Laser Powder Bed Fusion Components," *JOM*, vol. 70, No. 3, pp. 378-383, 2018.
13. G. Davis, R. Nagarajah, S. Palanisamy, R. A. R. Rashid, P. Rajagopal, and K. Balasubramaniam, "Laser ultrasonic inspection of additive manufactured components," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 1-9, 2019.
14. D. B. Witkin, S. Sitzman, Y. Kim, E. Adelman, P. Adams, and N. Ives, "Experimental nondestructive characterization of an aluminum alloy prepared by powder-bed additive manufacturing," *Materials Evaluation*, vol. 76, No. 4, pp. 489-502, 2018.
15. S. K. Everton, M. Hirsch, P. Stravroulakis, R. K. Leach, and A. T. Clare, "Review of in-situ process monitoring and in-situ metrology for metal additive manufacturing," *Materials & Design*, vol. 95, pp. 431-445, 2016.
16. J. Chenot and R. Wagoner, *Fundamentals of metal forming*. John Wiley & Sons, 1997.
17. H. A. Youssef and H. El-Hofy, *Machining technology: machine tools and operations*. CRC Press, 2008.
18. J. Gonzalez-Gutierrez, S. Cano, S. Schuschnigg, C. Kukla, J. Sapkota, and C. Holzer, "Additive manufacturing of metallic and ceramic components by the material extrusion of highly-filled polymers: a review and future perspectives," *Materials*, vol. 11, No. 5, p. 840, 2018.
19. S. Kerwien, S. Collings, F. Liou, and M. Bytnar, "Measurement science roadmap for metal-based additive manufacturing," *National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, Report*. <https://www.nist.gov>

gov/sites/default/files/documents/el/isd/NISTAdd\_Mfg\_Report\_FINAL-2.pdf, 2013.

20. W. J. Sames, F. List, S. Pannala, R. R. Dehoff, and S. S. Babu, "The metallurgy and processing science of metal additive manufacturing," *International Materials Reviews*, vol. 61, No. 5, pp. 315-360, 2016.
21. S. K. Everton, P. Dickens, C. Tuck, and B. Dutton, "Identification of Sub-Surface Defects in Parts Produced by Additive Manufacturing, Using Laser Generated Ultrasound," *Materials Science & Technology*, 2016.
22. S. Patel and M. Vlasea, "Melting Modes in Laser Powder Bed Fusion," *Materialia*, p. 100591, 2020.
23. L. Thijs, F. Verhaeghe, T. Craeghs, J. Van Humbeeck, and J.-P. Kruth, "A study of the microstructural evolution during selective laser melting of Ti–6Al–4V," *Acta materialia*, vol. 58, No. 9, pp. 3303-3312, 2010.

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ДРІЖДЖІВ ДЛЯ СИНТЕЗУ НАНОЧАСТОК МЕТАЛІВ

ОО ЛУЦІЙ, МВ МАКАРЕНКО, ВВ МОРИН, ІО ГРЕЦЬКИЙ,  
ОА ШИДЛОВСЬКА

*Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала  
Шияновська, 2, Київ, 01011, [olgashydlovska@gmail.com](mailto:olgashydlovska@gmail.com)*

Зелений синтез наночастинок металів є надзвичайно перспективним, оскільки є економічно-вигідним та безпечним способом отримання ефективних агентів з яскравою біологічною дією. В роботі було проведено підбір ресурсу для синтезу наночастинок та проведено експериментальний біогенний синтез наночастинок срібла для встановлення найкращого варіанту. Таким чином, найкращими властивостями для синтезу наночастинок срібла володіє штам дріжджів *S. cerevisiae* 530. Використання супернатанту або лізату дозволяє регулювати розмір наночастинок та біологічні властивості, що полягають в ефективній антибактеріальній дії проти *E. coli* та ефективній стимуляції росту бактерії *L. delbrueckii*. Отримані результати є перспективними для подальшого вивчення та розробки комплексних антибіотичних препаратів.

### 1 Вступ

Синтез наночастинок металів є ключовим аспектом наукових досліджень та промислового застосування у різних галузях, включаючи каталіз, медицину та електроніку. Останнім часом зелений синтез наночастинок металів став популярним напрямком досліджень, оскільки він відзначається низьким впливом на довкілля і пропонує кілька переваг порівняно з хімічним та фізичним синтезом.

Однією з найважливіших переваг зеленого синтезу наночастинок металів є його екологічна безпека. У порівнянні з традиційним хімічним синтезом, зелений синтез вимагає меншої кількості шкідливих хімічних речовин і забруднюючих викидів. Зелені методи використовують біоресурси або нейтральні речовини, що робить їх більш прийнятними для навколишнього середовища [1].

Зелений синтез наночастинок металів надає більшу вибірковість та можливість регулювання розміру частинок. В останні роки розроблено численні методи, які дозволяють контролювати розмір та розподіл наночастинок. Ця властивість є критично важливою для налаштування властивостей наночастинок з метою їх застосування в конкретних сферах.

Зелений синтез наночасток металів може призводити до формування частинок з особливими функціональними властивостями, що дозволяють їх застосовувати в різних галузях, таких як каталіз, сенсорика, медицина і нанoeлектроніка [2].

Зелений синтез може бути ефективнішим та економічно вигіднішим в порівнянні з хімічним або фізичним синтезом, оскільки він може значно знизити витрати на сировину та енергію. Застосування біоресурсів та м'яких умов синтезу може зменшити витрати виробництва [3].

Наночастки срібла привертають значну увагу у наукових та медичних дослідженнях завдяки своїм унікальним властивостям та потенційному застосуванню в біологічних системах. Наночастки срібла відзначаються високою активністю проти бактерій, вірусів та грибків, що робить їх об'єктом досліджень у сферах антимікробних застосувань. Зелений синтез наночасток срібла з біоресурсів може покращити їх біологічні властивості, зменшуючи токсичність та підвищуючи ефективність. Зелений синтез наночасток срібла дозволяє знизити їхню токсичність шляхом оптимізації умов синтезу та використання біоресурсів. Це робить їх більш прийнятними для біологічних систем і підвищує їх безпеку в медичних застосуваннях [4].

Наночастки срібла можуть бути використані для доставки лікарських засобів в конкретні місця в організмі. Зелений синтез дозволяє контролювати розмір та форму наночасток, що покращує їхню здатність до призначеної доставки лікарських препаратів [5]. Наночастки срібла можуть бути використані для покращення методів діагностики та зображення в медицині. Вони можуть функціонувати як контрастні агенти для позитронно-емісійної томографії (ПЕТ), магнітно-резонансної томографії (МРТ) та інших методів [6].

Зелений синтез наночасток срібла відкриває широкий спектр перспектив для біологічних досліджень та медичних застосувань. Ці наночастки демонструють антимікробні властивості, можуть бути

використані для доставки лікарських засобів, покращити методи діагностики та зображення та знизити токсичність. Це робить їх важливим об'єктом досліджень і розвитку в галузі біології та медицини.

Враховуючи актуальність зеленого синтезу наночасток металів, метою нашої роботи було підібрати об'єкт та ресурс для синтезу наночасток металів.

## 2 Матеріали і методи

### 2.1 Дослідження цитотоксичності солей металів на культурі клітин дріжджів *Saccharomyces sp.*

Перед плануванням зеленого синтезу наночасток провели дослідження по толерантності можливих біологічних агентів для зеленого синтезу до вихідних солей металів. Для цього, на культурах дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* 530 та *Saccharomyces cerevisiae* 1995 проаналізували цитотоксичність солей  $\text{AgNO}_3$  та  $\text{CuSO}_4$  в концентраціях від 0,001мМ до 10мМ. Для цього, приготували серійні розведення солей в 96-лунковому планшеті, після чого внесли до них відповідну денну культуру дріжджів, вирощену на бульйоні Сабуро (ТОВ «Фармактив», Україна), в концентрації, що відповідає 0,1ОД. Після цього інкубували 24 год при 28°C. Далі, проводили аналіз життєздатності живих клітин дріжджів за допомогою тесту із резазурином. До культур дріжджових клітин вносили по 50 мкл розчину резазуринату натрію для досягнення кінцевої концентрації 0,01%. Планшети інкубували при 37°C протягом 20 хвилин. Після цього, проводили спектроскопічні дослідження на планшетному рідері з вертикальним променем (Thermo Labsystems, Вантаа, Фінляндія) при довжинах хвиль 570 нм та 620 нм. Для оцінки цитотоксичної дії металів приймали контроль дріжджових клітин (до відповідних лунок була внесена дистильована вода замість розчину солі) за 100%. Всі дослідження були проведені у трьох повторностях, дані усереднені за допомогою медіани, похибка представляє собою

інтерквартильний розкид. Для перевірки нульової гіпотези застосовували т-критерій Вілкоксона.

## 2.2 Зелений синтез наночасток металів срібла та міді

Для проведення зеленого синтезу наночасток використовували сіль  $\text{AgNO}_3$ . Біологічний матеріал був підготовлений наступним чином. В колбах з бульйоном Сабуро вносили добову культуру дріжджів (*S. cerevisiae* 530 або *S. cerevisiae* 1995) в концентрації, що відповідає 0,1 ОД. При 28°C проводили вирощування бульйонних культур при постійному перемішуванні 180 об/хв протягом 4 діб. Після інкубації відділяли надосад від біомаси за допомогою центрифугування при 3 тис. об/хв протягом 30 хвилин. Отримані надосад і біомасу використовували в якості біологічного агенту для синтезу наночасток срібла та міді. До надосаду додавали суху сіль  $\text{AgNO}_3$  та розчиняли її для досягнення кінцевої концентрації у 100 мМ. Для біомаси готували 100 мМ розчин солі  $\text{AgNO}_3$  на дистильованій воді, до якого додавали біомасу відповідного штаму дріжджів для отримання лізату. Після цього інкубували зразки при 37° С та 180 об/хв протягом 4 діб. Утворення наночасток аналізували візуально по зміні кольору реакційної суміші: розчин з наночастками срібла змінювався на червонувато-коричневий, а розчин з наночастками міді – на зеленувато-блакитний.

Після проведення ферментації отримані розчини з наночастками очищували за допомогою центрифугування при 3 тис. об/хв протягом 30 хвилин та стерилізації через мікрофільтр з діаметром пор 0,22 мкм. Отримані очищені розчини використовували для подальших досліджень.

## 2.3 Визначення розмірів синтезованих наночасток методом динамічного розсіювання світла

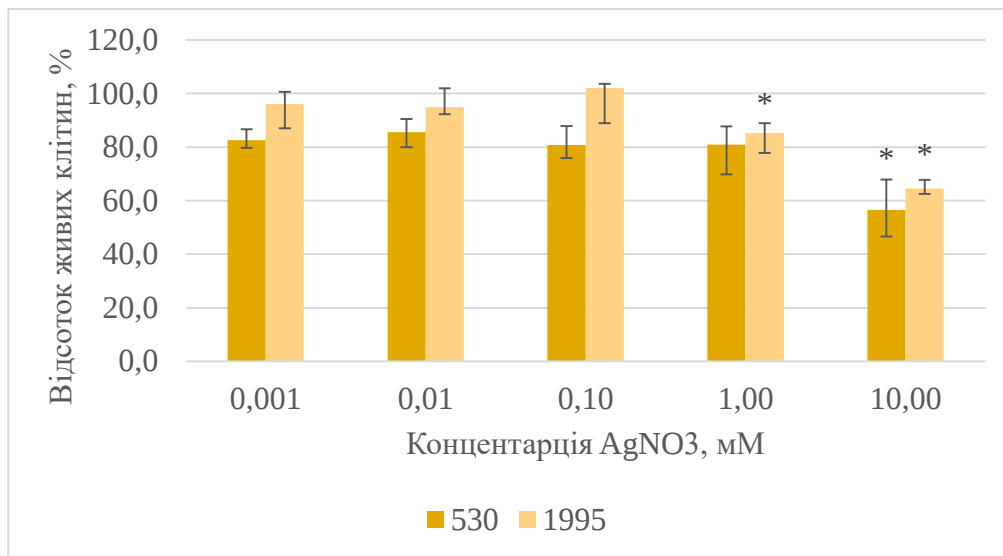
Отримані золі наночасток були проаналізовані з використанням Zetasizer Nano ZS (Malvern Pananalytical, Великобританія) для визначення розмірів методом динамічного розсіювання світла (DLS).

## 2.4 Дослідження антибактеріальної дії синтезованих наночасток срібла

Для визначення антибактеріальної дії наночасток срібла використовували референтний штам *Escherichia coli* K12 та штам нормофлори людини *Lactobacillus delbrueckii*. Визначення антибактеріальної дії наночасток срібла проводили за наступною схемою. Для отриманих наночасток проводили серійні 10-кратні розведення таким чином, щоб кінцева концентрація досліджуваних зразків становила від 0,1 до 10,0 мМ. Розведення наночасток проводили в 96-лунковому планшеті на середовища NB (ТОВ «Фармактив», Україна). До отриманих розведень вносили відповідні бактеріальні культури в кінцевій концентрації, що відповідає 0,1 ОД. Планшети інкубували при 37°C протягом доби. Після цього визначали життєздатність бактеріальних клітин за допомогою тесту з резазурином. До культур бактеріальних клітин вносили по 50 мкл розчину резазуринату натрію для досягнення кінцевої концентрації 0,01%. Планшети інкубували при 37°C протягом 20 хвилин. Після цього, проводили спектроскопічні дослідження на планшетному рідері з вертикальним променем (Thermo Labsystems, Вантаа, Фінляндія) при довжинах хвиль 570 нм та 620 нм. Для оцінки антибактеріальної дії наночасток приймали контроль відповідного штаму бактеріальної культури (до лунок була внесена дистильована вода замість розчину наночасток) за 100%. Всі дослідження були проведені у трьох повторностях, дані усереднені за допомогою медіани, похибка представляє собою інтерквартильний розкид. Для перевірки нульової гіпотези застосовували т-критерій Вілкоксона.

### 3 Результати досліджень

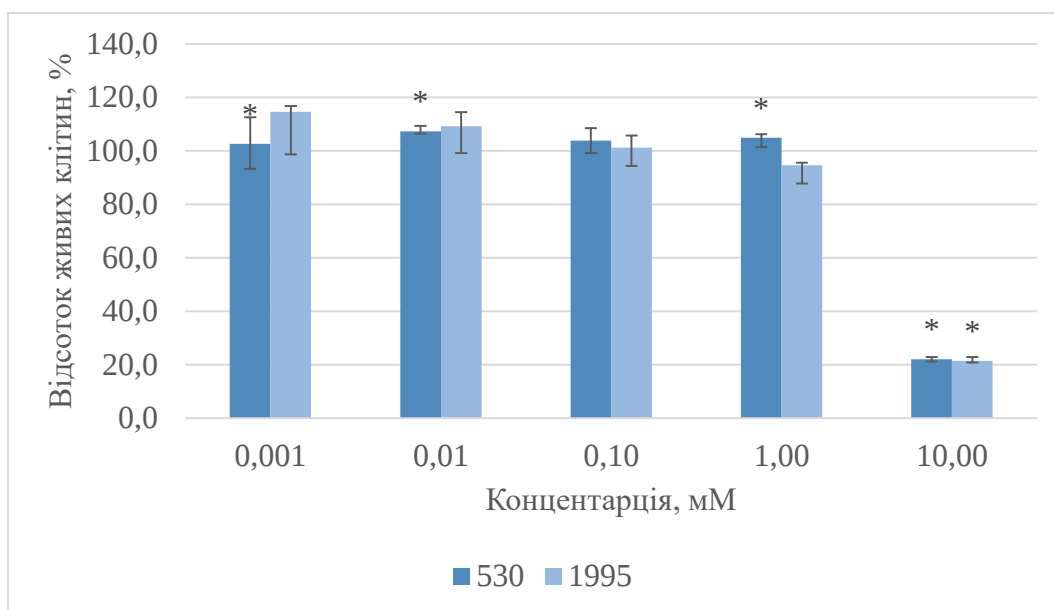
Першим етапом дослідження було встановлення цитотоксичності солей металів срібла та міді на культурах дріжджів *S. cerevisiae* 530 та *S. cerevisiae* 1995. Результати дослідження цитотоксичності солі  $\text{AgNO}_3$  представлення на рисунку 1.



**Рисунок 1** – Цитотоксичність AgNO<sub>3</sub> на культурах дріжджів *S. cerevisiae* 530 та *S. cerevisiae* 1995 (\* $p \leq 0,05$ )

Достовірне зниження показника відсотку живих клітин спостерігаємо в концентрації AgNO<sub>3</sub> 1,0 мМ для штаму *S. cerevisiae* 1995 – зниження на 19,1% ( $p \leq 0,05$ ) в порівнянні з контролем, прийнятим за 100%. Також, в максимальній досліджуваній концентрації 10,0 мМ AgNO<sub>3</sub> викликає зниження життєздатності культур *S. cerevisiae* 530 та *S. cerevisiae* 1995 на 44,4% та 35,5% відповідно ( $p \leq 0,05$ ). Солі срібла, зокрема AgNO<sub>3</sub>, відомі своєю високою токсичністю для мікроорганізмів та біологічних систем. Останні дослідження свідчать про те, що AgNO<sub>3</sub> може викликати відмирання дріжджів *S. cerevisiae* шляхом інгібування клітинного поділу та порушення генетичних процесів. Токсичність AgNO<sub>3</sub> може бути пов'язана зі змінами у структурі та функціях білків, а також іншими молекулярними подіями [7].

Сіль CuSO<sub>4</sub> проявила достовірне збільшення життєздатності клітин штаму *S. cerevisiae* 530 в концентраціях 0,001 мМ, 0,01 мМ та 1,0 мМ – на 2,7%, 7,3% та 4,9% відповідно (рис. 2). Даний аспект цікавий в ракурсі можливої оптимізації процесу отримання наночасток на основі біомаси дріжджових клітин.



**Рисунок 2** – Цитотоксичність  $\text{CuSO}_4$  на культурах дріжджів *S. cerevisiae* 530 та *S. cerevisiae* 1995 (\* $p \leq 0,05$ )

Концентрація солі  $\text{CuSO}_4$  10 мМ проявляє значну токсичність для обох досліджених штамів дріжджів *S. cerevisiae* 530 та *S. cerevisiae* 1995 – зниження показника відсотку живих клітин на 78,1% та 78,6 відповідно. Загалом, у всіх досліджених концентраціях солей  $\text{AgNO}_3$  або  $\text{CuSO}_4$  вони не викликають значної токсичної дії на дріжджові клітини, окрім концентрації  $\text{AgNO}_3$  або  $\text{CuSO}_4$  10,0 мМ. Солі міді, зокрема  $\text{CuSO}_4$ , також виявляють токсичність для *S. cerevisiae*. Дослідження показали, що  $\text{CuSO}_4$  може призводити до окислення та дисфункції білків у клітинах дріжджів [8]. Токсичність цієї солі також пов'язана з її здатністю до активної інтеракції з молекулами сірки та іншими біологічно активними сполуками [9]. Можна зробити висновок, що дані штами більше підходять для синтезу наночасток срібла. Тому подальший етап буде проводитися із використанням солі  $\text{AgNO}_3$ .

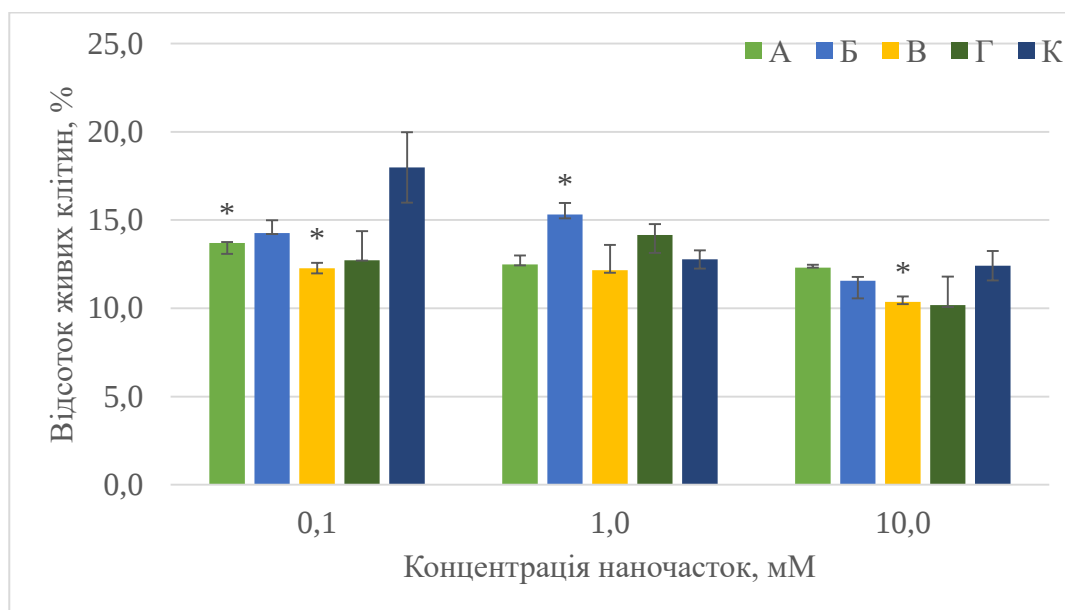
За допомогою методу DLS було встановлено розміри отриманих наночасток. Результати вимірів представлені в таблиці 1. Найменший розмір наночастки мають у зразку, в якому для зеленого синтезу наночасток срібла використали біомасу дріжджів *S. cerevisiae* 530. Загалом,

синтезовані наночастки за допомогою *S. cerevisiae* 1995 мають більші розміри, ніж наночастки синтезовані за допомогою *S. cerevisiae* 530.

**Таблиця 1** – Розміри синтезованих зеленим синтезом наночасток

| штам <i>S. cerevisiae</i> | супернатант |             | біомаса (лізат) |              |
|---------------------------|-------------|-------------|-----------------|--------------|
|                           | 1995        | 530         | 1995            | 530          |
|                           | 277,5±98,73 | 353,2±106,2 | 174,85±63,72    | 168,55±55,03 |

При дослідженні антибактеріальної дії на бактеріальному штамі *E. coli* отриманих наночасток було встановлено, що всі зразки володіють антибактеріальною дією на рівні контролю – розчину  $\text{AgNO}_3$  відповідної концентрації (рис. 3). Проте, для зразків наночасток срібла, отриманих з супернатанту та лізату *S. cerevisiae* 530 в концентрації 0,1 мМ, показана більша антибактеріальна дія, ніж для контролю  $\text{AgNO}_3$  – значення на 16,7% та 36,7% менші, ніж у контролі  $\text{AgNO}_3$  в концентрації 1 мМ.

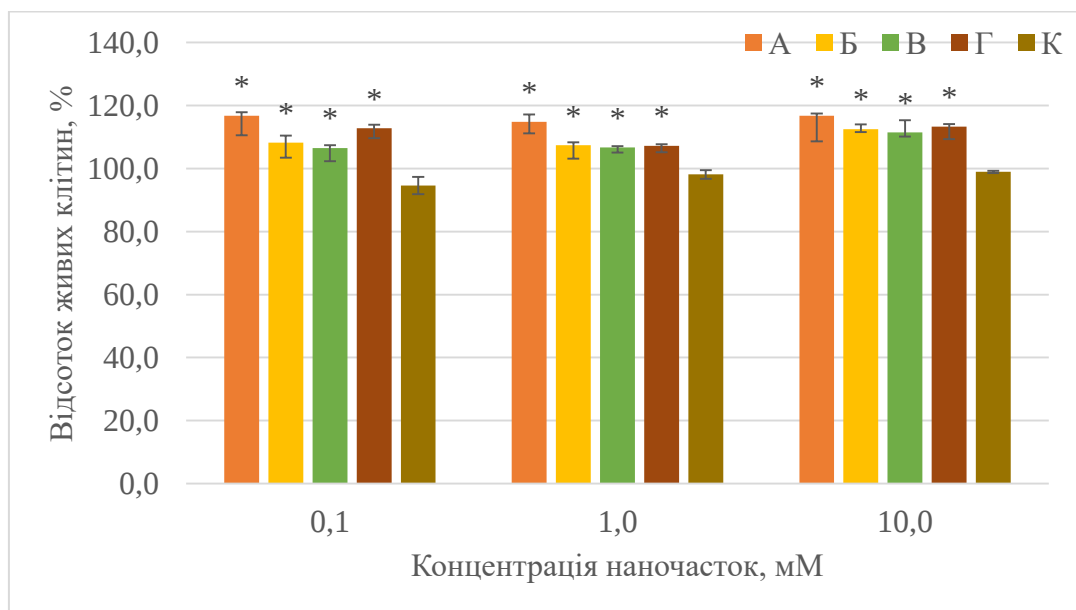


**Рисунок 3** – Антибактеріальна дія наночасток, отриманих з А – супернатанту *S. cerevisiae* 530, Б – супернатанту *S. cerevisiae* 1995, В – лізату *S. cerevisiae* 530, Г – лізату *S. cerevisiae* 530 на *E. coli*. К – розчин солі  $\text{AgNO}_3$  (\* $p \leq 0,05$ )

Також, для зразку наночасток, отриманих з лізату *S. cerevisiae* 530 показано зниження значення відсотку живих клітин на 16,1% в порівнянні з  $\text{AgNO}_3$  в концентрації 10 мМ. AgNPs спричиняють зупинку клітинного

поділу у бактеріях шляхом впливу на структуру ДНК та мембранних білків [10]. AgNPs також взаємодіють з ферментами бактерій, порушуючи їхні молекулярні процеси та призводячи до інгібування росту та розмноження [11]. Генерування вільних радикалів кисню: AgNPs можуть генерувати вільні радикали кисню, які завдають пошкоджень бактеріальним мембранам та біологічним молекулам [12]. Останні дослідження вказують на ефективність AgNPs, отриманих зеленим синтезом на дріжджах *S. cerevisiae*, у боротьбі з різними видами бактерій, включаючи патогенні штами, що виявили стійкість до антибіотиків [13]. Ці дослідження відкривають перспективи використання AgNPs як антибактеріальних агентів у медицині та інших галузях.

При дослідженні антибактеріальної дії на *L. delbrueckii*, було встановлено, що всі досліджені наночастки не володіють цитотоксичною дією, навпаки, вони здатні інтенсифікувати життєздатність клітин *L. delbrueckii*. При порівнянні з контролем, AgNO<sub>3</sub> в концентрації 0,1 мМ, спостерігали підвищення показника живих клітин для зразків, отриманих з супернатанту та лізату *S. cerevisiae* 530 та з супернатанту та лізату *S. cerevisiae* 1995 на 23,4%, 12,5%, 14,4% та 19,1% відповідно (рис. 4).



**Рисунок 4** – Антибактеріальна дія наночасток, отриманих з А – супернатанту *S. cerevisiae* 530, Б – супернатанту *S. cerevisiae* 1995, В – лізату *S. cerevisiae* 530, Г – лізату *S. cerevisiae* 530 на *L. delbrueckii*. К – розчин солі AgNO<sub>3</sub> (\* $p \leq 0,05$ )

При порівнянні з контролем,  $\text{AgNO}_3$  в концентрації 1,0 мМ, спостерігали підвищення показника живих клітин для зразків, отриманих з супернатанту та лізату *S. cerevisiae* 530 та з супернатанту та лізату *S. cerevisiae* 1995 на 17,1%, 8,7%, 9,4% та 9,2% відповідно. При порівнянні з контролем,  $\text{AgNO}_3$  в концентрації 10,0 мМ, спостерігали підвищення показника живих клітин для зразків, отриманих з супернатанту та лізату *S. cerevisiae* 530 та з супернатанту та лізату *S. cerevisiae* 1995 на 17,9%, 12,6%, 13,7% та 14,5% відповідно. Загалом, найбільший позитивний вплив на життєздатність клітин *L. delbrueckii* мають наночастки срібла, отримані з супернатанту *S. cerevisiae* 530. Подібних досліджень в науковій літературі на даний момент не існує, а тому перспектива посилення життєдіяльності бактерій нормофлори людини є надзвичайно важливою та перспективною.

### Висновки

В даній роботі було проведено дослідження витривалості дріжджових клітин штамів *S. cerevisiae* 530 та *S. cerevisiae* 1995 до різних концентрацій солей  $\text{AgNO}_3$  або  $\text{CuSO}_4$ . Встановлено, що найкраще всього дріжджі переносять вплив солі  $\text{AgNO}_3$ . Саме тому, було проведено синтез наночасток срібла за допомогою двох штамів *S. cerevisiae* та в різних схемах, а саме з використанням лізату та супернатанту. Було встановлено, що найменші наночастки були отримані з використанням лізату *S. cerevisiae* 530, проте найефективнішу антибактеріальну дію проявили наночастки, отримані з супернатанту та лізату *S. cerevisiae* 530 в концентрації 0,1 мМ. Також, варто зазначити, щойпозитивніший ефект щодо посилення життєздатності клітин нормофлори людини *L. delbrueckii* має зразок наночасток, отриманий з супернатанту *S. cerevisiae* 530. Таким чином, нами було встановлено, що саме штам дріжджів *S. cerevisiae* 530 найкраще підходить для синтезу наночасток срібла, а умови проведення біогенного синтезу можуть регулювати розмір наночасток та їх біологічні властивості. Отримані результати можуть бути доповнені розширеним

спектром біологічним досліджень. Більше того, наночастки срібла, отримані зеленим синтезом, мають перспективи у застосування комплексної терапії бактеріальних захворювань.

### Література

1. Ying, S., Guan, Z., Ofoegbu, P. C., Clubb, P., Rico, C., He, F., & Hong, J. Green synthesis of nanoparticles: Current developments and limitations. *Environmental Technology & Innovation*. 2022, 26, 102336-102356.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186422000359>
2. Pandit, C., Roy, A., Ghotekar, S., Khusro, A., Islam, M. N., Emran, T. B., Lam, S. E., Khandaker, M. U., Bradley, D. A. Biological agents for synthesis of nanoparticles and their applications. *Journal of King Saud University-Science*. 2022, 34(3), 101869-101882.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018364722000507>
3. Vijayaram, S., Razafindralambo, H., Sun, Y. Z., Vasantharaj, S., Ghafarifarsani, H., Hoseinifar, S. H., Raeeszadeh, M. Applications of Green Synthesized Metal Nanoparticles—A Review. *Biological Trace Element Research*. 2023, 1-27. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12011-023-03645-9>
4. Vishwanath, R., Negi, B. Conventional and green methods of synthesis of silver nanoparticles and their antimicrobial properties. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. 2021, 4, 100205-100217.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666086521001521>
5. Gomes, H. I., Martins, C. S., Prior, J. A. Silver nanoparticles as carriers of anticancer drugs for efficient target treatment of cancer cells. *Nanomaterials*. 2021, 11(4), 964-995. <https://www.mdpi.com/2079-4991/11/4/964>
6. Nadaf, S. J., Jadhav, N. R., Naikwadi, H. S., Savekar, P. L., Sapkal, I. D., Kambli, M. M., Desai, I. A. Green synthesis of gold and silver nanoparticles: Updates on research, patents, and future prospects. *OpenNano*. 2022, 100076-1000101.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235295202200038X>

7. Robinson, J. R., Isikhuemhen, O. S., Anike, F. N., Subedi, K. Physiological Response of *Saccharomyces cerevisiae* to Silver Stress. *Journal of Fungia* 2022, 8(5), 539. <https://www.mdpi.com/2309-608X/8/5/539>
8. Guo, X. N., He, X. X., Zhang, L. B., Cheng, Y. F., Bai, X. M., Wang, Z. Y., He, X. P. Enhancement of copper uptake of yeast through systematic optimization of medium and the cultivation process of *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2022, 194(5), 1857-1870. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12010-021-03775-7>
9. Abe, F. Molecular responses to high hydrostatic pressure in eukaryotes: Genetic insights from studies on *saccharomyces cerevisiae*. *Biology*. 2021, 10(12), 1305-1330. <https://www.mdpi.com/2079-7737/10/12/1305>
10. Roy, A., Bulut, O., Some, S., Mandal, A. K., Yilmaz, M. D. Green synthesis of silver nanoparticles: biomolecule-nanoparticle organizations targeting antimicrobial activity. *RSC advances*. 2019, 9(5), 2673-2702. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2019/ra/c8ra08982e>
11. Skóra, B., Krajewska, U., Nowak, A., Dziedzic, A., Barylyak, A., Kus-Liśkiewicz, M. (2021). Noncytotoxic silver nanoparticles as a new antimicrobial strategy. *Scientific Reports*. 2021, 11(1), 13451-. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-92812-w>
12. Salleh, A., Naomi, R., Utami, N. D., Mohammad, A. W., Mahmoudi, E., Mustafa, N., Fauzi, M. B. The potential of silver nanoparticles for antiviral and antibacterial applications: A mechanism of action. *Nanomaterials*. 2020, 10(8), 1566-1586. <https://www.mdpi.com/2079-4991/10/8/1566>
13. Kharchenko, Y., Lastovetska, L., Maslak, V., Sidorenko, M., Vasylenko, V., & Shydlovska, O. Antibacterial Activity of Green Synthesised Silver Nanoparticles on *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied Sciences*. 2022, 12(7), 3466-3477. <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/7/3466>

## ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ ТА ВЛАСТИВОСТІ ПАПАЇНУ

ІВ КОПИТІНА<sup>1</sup>, ОА АНДРЕЄВА<sup>2</sup>

Київський національний університет технологій та дизайну,  
вул. Мала Шияновська (Немировича-Данченка), 2, Київ, 01011,

<sup>1</sup>[i.v.kopytina@gmail.com](mailto:i.v.kopytina@gmail.com), <sup>2</sup>[wayfarer14@ukr.net](mailto:wayfarer14@ukr.net)

У даній публікації розглянуто особливості будови та фізико-хімічні властивості ферментного препарату «папаїн», важливі для розуміння його технологічних можливостей та виробничого потенціалу, у тому числі для шкіряного виробництва.

Папаїн є рослинним ферментом, виділеним із латексу папайї або динного дерева (*Carica papaya L.*) (рис. 1) – тропічної трав'янистої сукулентної рослини, (тобто рослини, що має спеціальні тканини для запасання води) із самонесучими стеблами; росте у всіх тропічних країнах та багатьох субтропічних регіонах світу. При цьому немає жодних обмежень через сезонність, оскільки папайя доступна практично цілий рік [1, 2].



Рисунок 1 – Дерево папайї

Папаїн отримують шляхом розрізання шкірки плода незрілої папайї з подальшим збиранням та сушінням латексу, що випливає з розрізу. Чим зеленіший плід, тим активніший папаїн. З точки зору ензимології папаїн (ЕС 3.4.22.2) є ендолітичним ферментом цистеїнової протеази рослин, який належить до надродини папаїну, і, як протеолітичний фермент, має вирішальне значення у багатьох життєво важливих біологічних процесах у всіх живих організмах. Він виявляє велику протеолітичну активність щодо

білків, пептидів з коротким ланцюгом, ефірів амінокислот та амідних зв'язків й широко застосовується у медицині, фармації, косметичі, харчовій та легкій промисловості. Фермент розщеплює переважно пептидні зв'язки, що включають основні амінокислоти, особливо аргінін, лізин та залишки фенілаланіну. Унікальна структура папаїну зумовлює його функціональність, яка допомагає зрозуміти, як працює цей протеолітичний фермент, і наскільки він корисний для різних цілей. Багато сегментів кінцевого використання папаїну вказує на те, що він має високий промисловий попит. Оскільки ринок папаїну має гарні перспективи, виробництво папаї та видобуток папаїну можуть стати високим джерелом доходу навіть для дрібних фермерів та виробників [1, 3].

Докладну інформацію про структуру та властивості цієї сполуки надають результати рентгенівської дифракції, хроматографії, а також інших хімічних та інструментальних методів аналізу. Так, при дослідженні зразка папаїну PDB, номер 1CVZ, встановлено, що він являє собою одноланцюговий білок з молекулярною масою 23406 Да і складається з 212 амінокислот з чотирма дисульфідними містками та каталітично важливими амінокислотними залишками у положеннях Gln19, Cys25, His158 и His159. На N-кінці поліпептидного ланцюга папаїну знаходиться ізолейцин, а на C-кінці – аспарагін [4].

При кімнатній температурі папаїн має вигляд твердої безбарвної кристалічної речовини, що добре розчиняється у воді, водних сольових розчинах і спирті. На відміну від активного у кислому середовищі пепсину, ще одного поширеного ферменту, папаїн активний у широкому діапазоні рН (3-12, оптимум 5-8). Свою активність він зберігає і у широкому температурному діапазоні (до 50-60 °C), маючи відносно широку специфічність. При рН 5-7,5 папаїн гідролізує амідні, пептиди, білки та ефіри основних амінокислот з незаміщеною аміногрупою [1, 2].

Одним із пріоритетних шляхів забезпечення сталого розвитку галузі, орієнтованих на вирішення проблеми створення конкурентоспроможної

продукції, більш раціонального використання сировинно-матеріальних та енергетичних ресурсів, дбайливого ставлення до навколишнього середовища, є ензимізація виробництва [5, 6]. У зв'язку з цим на кафедрі біотехнології, шкіри та хутра КНУТД проводяться комплексні дослідження в цьому ракурсі шляхом вивчення як відомих, так і більш сучасних ферментних препаратів з метою обґрунтованого їх застосування у виробництві натуральної шкіри [6-8].

У літературі наводяться результати досліджень із застосування папаїну, головним чином, на стадії підготовчих процесів [9, 10], проте, з урахуванням останніх розробок щодо застосування ферментів у перед- та післядубільних процесах [11, 12], цікаво з'ясувати ефективність дії цього ферменту на інших, більше пізніх стадіях технологічного циклу. Виходячи з викладеного, за завданням промисловості досліджено основні властивості та спектроскопічні характеристики комерційного ферментного препарату «папаїн» китайського виробництва. Експериментально встановлено (табл. 1), що за своїми фізико-хімічними та мікробіологічними характеристиками досліджуваний препарат відповідає вимогам Food Standard 15.

Для встановлення особливостей структури папаїну застосували метод інфрачервоної спектроскопії з перетворенням Фур'є. Дослідження проводили за допомогою FTIR спектрометра Spectrum 1000 (Perkin Elmer, США), прес-форми для ІЧ спектрометра Presswerkzeug PW 20 (Narva, Німеччина), аналітичних ваг AccuLab ALC 110.4 (Sartorius, Великобританія), а також таблеток КВг. Після проведення необхідних маніпуляцій отримали FTIR-спектр папаїну, на якому спостерігається низка піків різної інтенсивності, з яких найбільш вагомими є: а) пік незначної інтенсивності в діапазоні  $3750-3500\text{ см}^{-1}$ , що може вказувати на наявність у структурі груп О–Н; б) більш характерний, «різкий» пік при  $1133\text{ см}^{-1}$ , що відповідає вторинним і третинним амінам; в) два більш слабкі піки при  $670$  та  $617\text{ см}^{-1}$ , які можна ототожнювати з коливаннями

сірковмісних угруповань, що не заперечує усталеним уявленням про папаїн як цистеїнову протеїназу.

**Таблиця 1** – Показники досліджуваного комерційного препарату «папаїн»

| Показник                          | Стандарт                | Результат   |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------|
| <i>Органолептичне оцінювання:</i> |                         |             |
| Зовнішній вигляд                  | білий дрібний порошок   | відповідає  |
| Запах проби                       | характерний             | відповідає  |
| <i>Хімічний аналіз:</i>           |                         |             |
| Ферментативна активність          | $\geq 800$ кат/г        | 802 кат/г   |
| Ситовий аналіз                    | 100 % крізь 80 отворів  | відповідає  |
| Втрати при висиханні              | $< 8,00$ %              | відповідає  |
| Меламін                           | відсутній               | відсутній   |
| Пероксид водню                    | $< 10$ %                | $< 10$ %    |
| Важкі метали                      | $< 10,00 \cdot 10^{-6}$ | відповідає  |
| Свинець (Pb)                      | $< 1,00 \cdot 10^{-6}$  | відповідає  |
| Арсеній (As)                      | $< 1,00 \cdot 10^{-6}$  | відповідає  |
| Залишковий пестицид               | відсутній               | відповідає  |
| <i>Мікробіологічне тестування</i> |                         |             |
| Загальна кількість бактерій       | $< 1000$ КУО/г          | відповідає  |
| Кількість цвілі та дріжджів       | $< 100$ КУО/г           | відповідає  |
| Salmonella                        | відсутній               | не виявлено |
| E. coli                           | відсутній               | не виявлено |

Результати проведеного дослідження дозволяють розширити та систематизувати уявлення про папаїн як ферментний препарат з високою функціональністю, стійкою активністю в широкому діапазоні рН і температури, і будуть використані у подальшій роботі з ензимізації шкіряного виробництва.

### Література

1. Ezekiel, Amri; Florence Mamboya. Papain, a Plant Enzyme of Biological Importance: A Review. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*. **2012**. 8 (2). 99–104.
2. Jaime, A.; S. Teixeira Da; R. Zinia, et al. Papaya (Carica papaya L.). Biology and biotechnology. *Tree Forest. Sci. Biotechnol.* **2007**. 1. 47–73.

3. Shouket, H. A.; Ameen, I.; Tursunov, O., et al. Study on industrial applications of papain: A succinct review. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. **2020**. 614. 012171.
4. Drenth, J.; Jansonius, J. N.; Koekoek, R.; Wolthers, B. G. The Structure of Papain. *Advances in Protein Chemistry*. **1971**. 25. 79–115.
5. Choundhary, R. B.; Jana, A. K.; Jha, M. K. Enzyme technology applications in leather processing. *Indian Journal of Chemical Technology*. **2004**. 11. 659–671.
6. Копитіна, І.; Андрєєва, О.; Мокроусова, О. Інноваційні підходи до ензимізації шкіряного виробництва. *Вісник ХНУ. Технічні науки*. **2023**. 5 (315), 227–234.
7. Колесник, Т. О.; Андрєєва, О. А. Дослідження процесу відмочування шкіряної сировини в присутності ферментних препаратів. *Вісник ХНУ. Технічні науки*. **2020**. 2 (283), 251–254.
8. Данилкович, А. Г.; Ліщук, В. І.; Охмат, О. А. Біотехнологічні процеси в технології формування шкіряних матеріалів. *Наукові праці НУХТ*. **2018**. 24 (5). 14–24.
9. Arya Prashant, S.; Yagnik Shivani, M.; Rajput Kiransinh, N., et al. Understanding the Basis of Occurrence, Biosynthesis, and Implications of Thermostable Alkaline Proteases. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. **2021**. 193 (12). 4113–4150.
10. Bin, Lyu; Kun, Cheng; Jianzhong, Ma, et al. A cleaning and efficient approach to improve wet-blue sheep leather quality by enzymatic degreasing. *Journal of Cleaner Production*. **2017**. 148 (1). 701–708.
11. Biškauskaite, R.; Valeika, V. Wet Blue Enzymatic Treatment and Its Effect on Leather Properties and Post-Tanning Processes. *Materials*. **2023**. 16. 2301.
12. Jayakumar, G. C.; Karthik, V.; Jeyas Kandhan, S.; Kanagaraj, J. Effect of Enzymatic Treatment in Leather Manufacture at Different Processing Stage. *The Journal of American Leather Chemists Association*. **2022**. 117 (12). 534–541.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ МОДИФІКОВАНИХ ЖИРУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**А В ЗАЄЦЬ, О А АНДРЕЄВА\***

*Київський національний університет технологій та дизайну,  
вул. Мала Шияновська (Немировича-Данченка), 2, Київ, 01011,*

*\*wayfarer14@ukr.net*

Сталий розвиток промисловості невід’ємний від активного пошуку нових ефективних способів оброблення та матеріалів. Проаналізовано фізико-хімічні властивості сучасних модифікованих жирів як перший крок до обґрунтованого їх застосування в інноваційній технології виробництва еластичної шкіри.

Останнім часом у літературі і на практиці все більше уваги надається модифікованим жирувальним матеріалам, які є важливою частиною хімічних реагентів для виробництва різноманітної продукції. Такі матеріали створюють модифікацією жирів шляхом гідрогенізації, сульфатування, сульфування, окиснення, хлорування тощо з метою одержання реагентів з бажаними властивостями, наприклад, з покращеною жирувальною та емульгувальною здатністю при жируванні шкіри. У шкіряній промисловості використовуються переважно сульфовані або сульфітовані жири, які можуть бути рослинного, синтетичного або, рідше, мінерального походження. Найчастіше нейтральний жир знаходиться у формі тригліцеридів і сульфофракція відіграє роль емульгуючого агента, який, утримуючи нейтральний жир у розчиненому стані, транспортує його в шкіру. Слід зазначити, що саме нейтральний жир є мастилом, а модифікуючий агент, крім транспортної функції, виконує функцію фіксатора жиру в дермі. Таким чином покращується вибирання жиру із робочого розчину, що позитивно позначається на якості готової шкіри і складі промстоків [1-3].

Метою даного дослідження було проаналізувати фізико-хімічні властивості сучасних комерційних модифікованих жирувальних матеріалів, призначених для виробництва натуральної шкіри. За об’єкт дослідження обрано жирувальні матеріали фірми Smit & Zoon (Нідерланди): 1. *Sulphirol EG 60*, основа – сульфітовані натуральні та

синтетичні масла; 2. *Synthol LC*, основа – натуральні та синтетичні масла, сульфовані тригліцериди, лецитинвмісна суміш; 3. *Sulphirol C*, основа – окиснені сульфітовані масла на базі жиру морських риб. За предмет дослідження обрано фізико-хімічні властивості цих матеріалів. Для реалізації поставленої мети використано загальноприйняті та сучасні методи аналізу: органолептичне оцінювання, хімічні та інструментальні методи, які дозволяють сформулювати уявлення про елементарний склад та фізико-хімічні властивості досліджуваних сполук.

За органолептичним оцінюванням аналізовані матеріали мають рідку, доволі прозору консистенцію від жовтого (*Sulphirol EG 60*, *Synthol LC*) до коричневого (*Sulphirol C*) кольору, без різкого запаху й здатні утворювати стійкі у часі (понад 2 год) емульсії типу «масло/вода» [4].

З хімічної точки зору природні жири – це сполуки, що складаються в основному із складних ефірів гліцерину і карбонових (жирних) кислот, а також стеринів, фосфоліпідів і жиророзчинних вітамінів. Використання синтетичних масел, жирів і рідин, що жирують, у шкіряній промисловості стало популярним через їхню перевагу з точки зору високої емульгуювальної здатності, та меншої витрати для досягнення м'якості шкіри у порівнянні з жировими розчинами на основі натуральних масел. Зазвичай синтетичні жирувальні матеріали готують з продуктів перероблення нафти.

Елементарний склад задіяних жирувальних матеріалів наведено у таблиці 1, з якої випливає, що найбільший вміст вуглецю і сірки у *Sulphirol C*: порівняно із іншими жирами цей показник вищий у 1,1-1,2 та 1,6-2,0 рази відповідно. За вмістом водню аналізовані зразки суттєво не відрізняються, оскільки цей показник знаходиться на рівні 10,54-10,92 %.

**Таблиця 1** – Елементарний склад модифікованих жирувальних матеріалів

| Елемент | <i>Sulphirol EG 60</i> | <i>Synthol LC</i> | <i>Sulphirol C</i> |
|---------|------------------------|-------------------|--------------------|
| Вуглець | 49,97 %                | 56,63 %           | 61,16 %            |
| Водень  | 10,80 %                | 10,54 %           | 10,92 %            |
| Сірка   | 18,12 г/кг             | 14,34 г/кг        | 29,24 г/кг         |

У таблиці 2 наведено відомості про основні фізико-хімічні показники жирів. Як і слід було очікувати, їх густина менша від густини води, оскільки знаходиться на рівні 0,989-0,998 г/см<sup>3</sup>. Значення рН вихідних 5 %-вих водно-жирових емульсій на рівні 5,77–6,60. Більш високий вміст активної речовини (82,0 і 85,0 %) спостерігається у Sulphirol C та Synthol LC відповідно, менший (60,0 %) – у Sulphirol EG 60.

**Таблиця 2** – Показники модифікованих жирувальних матеріалів

| Показник                    | Sulphirol EG 60 | Synthol LC | Sulphirol C |
|-----------------------------|-----------------|------------|-------------|
| Густина, г/см <sup>3</sup>  | 0,989           | 0,998      | 0,991       |
| рН 5 %-вої емульсії*        | 5,77/8,10       | 5,85/8,10  | 6,60/8,17   |
| Вміст активної речовини, %  | 60,0            | 82,0       | 85,0        |
| Кислотне число КЧ, мг КОН/г | 8,44            | 13,73      | 16,38       |
| Число омилення ЧО, мг КОН/г | 130,92          | 123,87     | 154,48      |
| Ефірне число ЕЧ, мг КОН/г   | 122,48          | 110,14     | 138,10      |
| Йодне число ЙЧ, г J/100 г   | 118,20          | 119,34     | 117,09      |

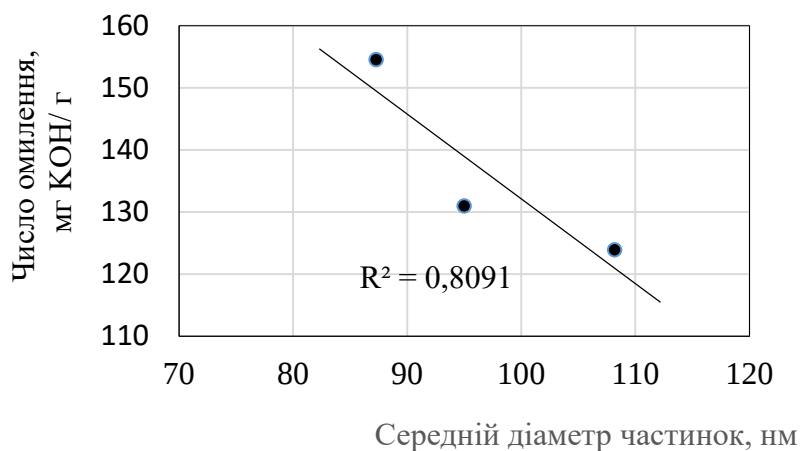
\* Примітка: чисельник – без коригування стійкості емульсії, знаменник – після її коригування розчином аміаку та ПАР до значення 8,10-8,20.

Для характеристики хімічного складу, а також якості жирів та олій використовуються такі показники як кислотне число, число омилення, ефірне число та йодне число. Жири містять у своєму складі незначну кількість вільних жирних кислот, яка збільшується при тривалому зберіганні жиру. *Кислотне число* характеризує межу збільшення цих вільних кислот і виражається в міліграмах гідроксиду калію, необхідного для нейтралізації вільних кислот, що входять до складу 1 г досліджуваної речовини.

Кислотне число є важливим показником якості харчових жирів і нормується усіма стандартами та технічними умовами. Значення кислотного числа характеризує доброякісність жиру. У випадку недотримання режимів і термінів зберігання кислотне число збільшується, що обумовлено переважно гідролізом ацилгліцеринів. З таблиць 2 видно,

що кислотне число Sulphirol EG 60 в 1,19 і 1,94 рази більше порівняно з Sulphirol C і Synthol LC. Найменша кількість вільних кислот міститься у Synthol LC.

Число омилення характеризує вміст у жирах груп, здатних взаємодіяти з лугом. Виражається кількістю міліграмів гідроксиду калію, необхідного для нейтралізації як вільних, так і зв'язаних з гліцерином жирних кислот, які містяться в 1 г жиру. За цим показником визначають чистоту і природу жиру. Гліцериди з більш високим вмістом низькомолекулярних жирних кислот, мають більш високі числа омилення, ніж гліцериди з більш високим вмістом високомолекулярних жирних кислот [5]. Виходячи з цього, за вмістом низькомолекулярних жирних кислот аналізовані жири можна розташувати у такій послідовності: Sulphirol C > Sulphirol EG 60 > Synthol LC, оскільки  $154,48 > 139,92 > 123,87$  мг КОН/г. Це корелює із середнім гідродинамічним діаметром частинок жиру (СГДЧ, нм) у 25 %-вих водно-жирових емульсіях (рис. 1)



**Рисунок 1** – Взаємозв'язок між розміром частинок та числом омилення жиру

Ефірне число є різницею між числом омилення та кислотним числом. Цей показник характеризує вміст у жирах естерів (складних ефірів) і чисельно виражається кількістю міліграмів гідроксиду калію, що йде на омилення естерів у наважці речовини масою 1 г. При зберіганні жирів, яке супроводжується процесами гідролізу та омилення, ефірне число знижується. Таким чином, ефірне число спільно з кислотним числом є

показником ступеня гідролітичного псування жиру, що супроводжується накопиченням вільних жирних кислот.

Серед аналізованих жирувальних матеріалів найбільше ефірне число у Sulphirol C (138,10 мг КОН/г), найменше – у Synthol LC (110,14 мг КОН/г).

Йодне число – важливий показник, який свідчить про кількісний вміст ненасичених кислот у жирі, це дозволяє судити про його стійкість до окиснення, висихання, прогоркання та інших змін під час зберігання та перероблення харчових і технічних жирів. Виражається у г йоду, поглиненого 100 г зразка жиру. Експериментально встановлено, що йодне число Synthol LC лише в 1,01-1,02 рази вище порівняно з показником інших досліджуваних жирувальних засобів (Sulphirol C і Sulphirol EG 60).

Проведена робота є лише першим кроком до визначення доцільності застосування сучасних модифікованих жирувальних матеріалів в інноваційній технології еластичної шкіри. Подальші дослідження планується присвятити визначенню особливостей будови і технологічних можливостей цих сполук.

### Література

1. Заєць, Антоніна; Андрєєва, Ольга. Традиційні підходи і новітні розробки в області рідинного оздоблення натуральної шкіри. *Вісник ХНУ. Технічні науки*. **2023**. 4 (323). 131–138.
2. Adachukwu, N.; Uko, P. Evaluation of the leather fatliquoring potential of sulphonated Afzelia africana aril cap oil. *Helicon*. **2020**. 6 (1). E0300.
3. J., Ma; J., Gao; H., Wang, et al. Dissymmetry Gemini Sulfosuccinate Surfactant from Vegetable Oil: A Kind of Environmentally Friendly Fatliquoring Agent in the Leather Industry. *ACS Sustainable Chem. & Eng.* **2017**. 5(11). 10693–10701.
4. Заєць, А. В.; Андрєєва, О. А. Дослідження стійкості емульсій модифікованих жирувальних матеріалів. *Progressive research in the modern world. Proceedings of the 4th International scientific and practical conference*. BoScience Publisher. Boston, USA. **2022**. 212–219.
5. Richard D., O'Brien. *Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications*, Third Edition. CRC Press, **2008**. 660.

## **НАУКОВА СПАДЩИНА МИСТЕЦТВОМ ДИЗАЙНУ ТА ТУРИСТИЧНИМИ ІНДУСТРІЯМИ**

**ТГ ЩЕРБАТЮК, ТО БУКОРОС**

*Київський національний університет технологій та дизайну,  
вул. Мала Шияновська (Немировича-Данченка), 2, Київ, 01011,  
shcherbatiuk.th@knutd.edu.ua, bukoros.t@knutd.edu.ua*

Ініціативна група пропонує інтегруватися в Міжнародний День ДНК, та в 2024 році присвятити його Г. А. Левитському, одному з фундаторів світової цитогенетики, українцю за походженням, який народився, навчався і працював в Україні та загинув у сталінських таборах. Заходи можуть включати кілька напрямів: семінари, присвячені сучасним досягненням постгеномних технологій, а також історичним подіям; конкурси проєктів арт-об'єктів з метою вшанування та розповсюдження біологічної та історичної інформації; створення туристичних маршрутів, пов'язаних з іменами вчених.

Спадок української науки є фантастично багатим, але він досі недооцінений і повною мірою для нас невідомий, а тим більше – для світового співтовариства. Тепер є добре відомим, що за радянської доби панувала ідеологія замовчування обсягу наукового внеску українських вчених у світову науку. За словами Євгена Сверстюка, українським національно свідомим людям нав'язувалася хвороба – амнезія пам'яті. І лише зі здобуттям незалежності почали з'являтися наукові розвідки, дослідження, передачі на радіо, телебаченні, в інтернет-просторі про видатних вчених, які з тих чи інших причин були замовчуваними [1].

Об'єднання для захисту батьківщини, переосмислення ідентичності нації, переоцінка минулого і бачення майбутнього відбуваються зараз, під галас сирен повітряних тривог, з жахом від руйнувань та з нескінченним болем втрат доблесних воїнів та цивільних громадян.

Лінія фронту з ворогом – Російською Федерацією – у всіх одна і в кожного своя. І успіх нашої оборони залежить не тільки від мужності захисників, якості і кількості зброї, підтримки цивілізованого світу, а й від знань. Тепер усі вчителі та викладачі – військовозобов'язані – мають розуміти свою причетність до інформаційної війни з ворогом.

Прийшов час синергії і в освітньому процесі.

Наш університет має унікальну властивість об'єднати фахівців різних профілів і спеціальностей, що охоплюють більшу частину життя і діяльності людини: біотехнологів, хіміків, фармацевтів, інженерів, дизайнерів, художників, майстрів сценічного мистецтва, фахівців готельно-ресторанної і туристичної справи та ін.

Виконуючи функцію популяризації національної наукової спадщини та результатів сучасної науково-дослідної та науково-інформаційної діяльності вчених в соціо-комунікативній сфері, бібліотека КНУТД обирає нові сучасні методи передачі інформації та привернення уваги користувача. Наша бібліотека сьогодні стає провідним центром соціальних комунікацій, інтеграції й поширення наукової інформації на якісно новому організаційно-методологічному рівні.

Ініціативна група працівників факультету хімічних та біофармацевтичних технологій та науково-технічної бібліотеки пропонує сміливу за своєю новизною в усталених традиціях певної ізольованості факультетів, але очевидну за власними можливостями та вимогами часу нову форму представлення та поширення науково-культурної інформації, насамперед для студентської молоді, а також для максимально широкого кола населення.

Ми пропонуємо інтегруватися в один з конкретних заходів, який об'єднує вчених всього світу, – Міжнародний День ДНК.

Щороку 25 квітня світова спільнота відзначає Міжнародний день ДНК, що збігається з історичною датою, коли британські вчені Джеймс Вотсон (James Watson) і Френсіс Крік (Francis Crick) в Кембриджському університеті (Cambridge University), Велика Британія), а також Моріс Вілкінс (Maurice Wilkins) і Розалінда Франклін (Rosalind Franklin) в Королівському коледжі Лондона (King's College London) з колегами опублікували в 1953 році в журналі «Nature» фундаментальні праці про структуру ДНК. З того часу дата 25 квітня знаменує поворотний момент в розумінні еволюційної ролі ДНК і початок віку геномних технологій.

У США День ДНК вперше відзначили в 2003 році за обопільним рішенням Сенату і нижньої палати Конгресу США. Однак це передбачало лише проведення разового заходу – на честь відзначення 50-річчя відкриття, а також успішного завершення в 2003 р. фундаментального проєкту Human Genome Project з розшифрування геному людини. Останнє ініціювало постгеномну епоху людства.

Офіційний захід став традицією - в даний час щорічне відзначення цієї дати організовує Національний інститут дослідження геному людини США (National Human Genome Research Institute – NHGRI). Різними організаціями наукового світового співтовариства 25 квітня оголошено Міжнародним днем ДНК або Всесвітнім днем ДНК [4].

На жаль, доводиться констатувати, що цей день був поза увагою біологів України, принаймні, інформації про проведення відповідних заходів у вишах та інститутах країни ми не змогли знайти. З 2022 року з'явилися лише окремі повідомлення у вигляді довідкової інформації – календаря подій, як, наприклад, на сайті Кіровоградського обласного центру контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України [3].

Заходи з відзначення Дня ДНК можуть включати кілька напрямів: семінари, присвячені сучасним досягненням постгеномних технологій, а також історичним подіям; конкурси проєктів арт-об'єктів з метою вшанування та розповсюдження біологічної та історичної інформації; розробка фільмів, створення туристичних маршрутів, пов'язаних з іменами вчених.

Міжнародний День ДНК в 2024 році пропонуємо присвятити Григорію Андрійовичу Левитському, одному з фундаторів світової цитогенетики, автору терміну «каріотип», українцю за походженням, який народився, навчався і працював в Україні та загинув у сталінських таборах.

У липні 1923 року в Цитологічній лабораторії Наукового інституту селекції у Києві Григорій Андрійович завершив свою працю «Матеріальні

засади спадковості», фактично увічнивши своє ім'я в історії пізнання природи спадковості та мінливості. 2024 рік стане роком 100-річчя від дня видання цієї 165-ти сторінкової праці Державним видавництвом України, екземпляри якої зберігаються у фондах Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського і Національної наукової медичної бібліотеки України (ННМБУ).

Ця праця Г. А. Левитського стала логічним узагальненням результатів власних досліджень, аналізу світової літератури та систематизації даних про основи спадковості як самостійної дисципліни. Одна з мотивацій створення «Матеріальних засад спадковості» - необхідність підготовки підручників, які узагальнювали б досягнення науки і практики та відрізнялися простотою і ясністю викладеного матеріалу. Г. А. Левитський приділяє багато уваги просвітницькій і організаторській діяльності: у 1918-1920 рр. він читає лекції в Народному університеті при політехнікумі, у 1920-1925 рр. – організатор і завідувач кафедри морфології і систематики рослин в Київському інституті народного господарства, у 1920 р. – організатор вищих курсів по селекції сільськогосподарських рослин при Сахаротресті, у 1922 р. – один із організаторів Київського наукового інституту селекції (Інститут цукрового буряку УААН), де вчений створює лабораторію морфології і систематики рослин [5].

Тільки на прикладі цього фрагмента біографії вченого ми бачимо можливість долучення до запланованого заходу працівників інших університетів та інститутів Києва. Таким чином, КНУТД може стати ініціатором взаємодії провідників різних професій та інтересів, об'єднаних однією доброю метою – дати людям знання та долучити їх до національного скарбу пасіонаріїв батьківщини.

Талановите студентство Київського національного університету технологій та дизайну, натхненне пізнаннями працівників бібліотеки та викладачів, змогло б сучасною мовою дизайнерської майстерності

розповісти новим поколінням світу про Григорія Андрійовича Левитського та його вчення.

### Література

1. Шендеровський В. Нехай не гасне світ науки: книга четверта.; К.: ВД Простір, 2017.
2. Міжнародний День ДНК. Веб-сторінка Державної установи «Кіровоградський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України». Новини від 25 квітня 2022 р. Режим доступу: <http://labcentr.kr.ua/?p=23670> Дата звернення: 13.10.2023
3. Федорова О. А. 25 квітня — Міжнародний День ДНК. Український медичний часопис. Новини. 25 квітня 2014 р. Режим доступу: [www.umj.com.ua/uk/novyna-73944-25-aprelya-mezhdunarodnyj-den-dnk](http://www.umj.com.ua/uk/novyna-73944-25-aprelya-mezhdunarodnyj-den-dnk) Дата звернення: 13.10.2023
4. Щербатюк Т. Г., Букорос Т. О. Оцифрована книга – зв'язок поколінь. До століття з дня видання «Матеріальних основ спадковості» Григорія Андрійовича Левитського. Бібліотека. Наука. Комунікація. Актуальні питання збереження та інноваційного розвитку наукових бібліотек : матеріали Міжнар. наук. конф. (3–5 жовт. 2023 р.) / НАН України, Нац. б-ка України ім. В. І. Вернадського, Асоц. б-к України ; відп. ред. О. М. Василенко, відп. секр. М. В. Іванова. Київ, 2023. С. 326-328

## **МІКРОБНІ АГРОБІОТЕХНОЛОГІЇ ЯК СКЛАДОВА СТАЛОГО ЕКОЛОГІЧНОГО РОЗВИТКУ АГРОСЕКТОРУ УКРАЇНИ У ВОЄННИЙ ТА ПОСТВОЄННИЙ ПЕРІОД**

**ОО КАЛІНІЧЕНКО, ММ КОТЛЯР, ОС ЮНГІН**

*Київський національний університет технологій та дизайну,  
вул. Мала Шияновська, 2, Київ, Україна 01011, kalinichenko742135@gmail.com*

Бойові дії на території України завдають надзвичайні шкоди агросектору України не лише через відчуження територій шляхом прямої окупації, а й через зниження якості земельних угідь та забруднення ґрунтів. Розвиток мікробних агробіотехнологій та пошук промислово перспективних мікроорганізмів для стимуляції росту сільськогосподарських рослин, підвищення їх стійкості до біотичного та абіотичного стресів може бути успішним шляхом вирішення проблеми рекультивації земель сільськогосподарського призначення та збереження рівнів врожайності культур у воєнний та поствоєнний період. Серед таких перспективних мікроорганізмів особливу увагу звертають на ендofітні бактерії, що співіснують у тісних взаєминах з рослинами і мають характеристики, що забезпечують повноцінний ріст та розвиток макроорганізму - здатність фіксувати атмосферний азот, солюбілізувати нерозчинні фосфати, синтезувати гормоноподібні речовини та забезпечувати мінеральне живлення рослини-хазяїна. Дослідження та пошук штамів з ріст-стимулюючими та біоремедіаційними властивостями є передумовою розробки агробіотехнологій сталого розвитку агросектора України.

Основним викликом для світового сільського господарства є задоволення потреб населення планети у харчових продуктах для зростаючого населення світу, яке наразі збільшується приблизно на 1,05% на рік [1]. Кількість біотичних і абіотичних стресів значно впливають на ріст рослин, продуктивність, урожайність і якість їжі [2]. Біотичні стреси включають пошкодження або інфекції, викликані різними шкідниками або патогенами. Серед абіотичних стресів можна виділити посуху, підвищену засоленість ґрунту, високу температуру, забруднення важкими металами та токсичними органічними сполуками. Серед усіх абіотичних стресів засолення ґрунту є найбільш поширених [3] і визнається одним з найважливіших факторів, що обмежують продуктивність сільськогосподарських культур та продовольчу безпеку. У всьому світі близько 20% сільськогосподарських угідь страждають від засолення, і цей показник постійно зростає [4].

В Україні площа земель сільськогосподарського призначення понад становить близько 42,7 млн га, що складає понад 70% від загальної площі. Близько 40% с/г землі в Україні – це чорноземи [5]. На сьогодні, понад 5 млн га земель сільськогосподарського призначення України неможливо використовувати через замінування або інші наслідки бойових дій [6].

На значній частині території України будівництво фортифікаційних споруд, використання боєприпасів та військові дії завдали значної шкоди верхньому шару ґрунту. За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, площа 186000 км<sup>2</sup>, або майже 31% території України, перебуває під загрозою пошкодження та забруднення [7].

З них понад 20000 км<sup>2</sup> пошкоджено більш ніж на 75%. Втім, не лише бойові дії завдають шкоди агросектору України. Підрив Каховської ГЕС спричинив справжню екологічну катастрофа, найбільшу за останні десятиліття на території України. Основими наслідками якої є втрата сотень тисяч гектарів ріллі, а також знищення іригаційної системи регіону. Так, через підрив Каховської ГЕС було втрачено 94% зрошувальних систем в Херсонській, 74% - в Запорізькій та 30% - в Дніпропетровській областях. За прогнозами Міністерства аграрної політики регіону загрожує запустелення та втрата статусу центра овочівництва України на роки [8]. Іншою небезпекою є осушення дна водойми, що призводить до вивільнення на поверхню шари мулу, які можуть містити важкі метали та радіонукліди

Всі ці фактори створюють передумови розробки технологій відновлення ґрунтів, а також застосування біотехнологій підвищення врожайності культур та їх стійкості до хвороб та шкідників з обмеженим застосуванням хімічних добрив. Довгострокове застосування хімічних добрив значно знижує рН ґрунту, що пов'язується з ерозією ґрунтів.

Необхідність збереження ґрунтів та забезпечення агросектору дієвими технологіями продуктивного вирощування культур відображається в концепції сталого екологічного розвитку. Це підхід до

соціального і економічного розвитку, який збалансовує потреби сьогодення зі збереженням природних ресурсів та забезпеченням можливостей для майбутніх поколінь[9]. Серед головних компонентів сталого екологічного розвитку особливо виділяють розвиток зелених технологій та інновацій.

Зелені технології, також відомі як екологічні технології або сталі технології, це інноваційні рішення та практики, які розробляються та використовуються для зменшення впливу технологічних процесів та виробництва на навколишнє середовище і природні ресурси. В широкому розумінні, зелені технології спрямовані на зниження викидів парникових газів, оптимізацію використання енергії, води і інших ресурсів, а також на створення більш ефективних і сталих систем у всіх галузях економіки.

Застосування мікробних біотехнологій є одним з шляхів вирішення багатьох екологічних проблем, пов'язаних з біоремедіацією та стимуляцією росту рослин. В системі відносин «мікроорганізми-рослини» особливе місце займають ендofітні мікроорганізми, що за визначенням населяють внутрішні тканини рослин, не викликаючи патогенезу за нормальних умов [9]. Рослини співіснують з ендofітними мікроорганізмами у консорціумі, передаються через насіння і починають сприяти росту та здоров'ю рослин, як тільки насіння проростає.

Зазвичай не існує єдиного механізму, за допомогою якого бактерії сприяють росту рослин, оскільки механізми, що використовуються для впливу на ріст рослин, є видо- та штамоспецифічними. Вони є важливими компонентами рослин, що реалізують свою роль через різні процеси: синтез регуляторів росту, модифікація та вивільнення таких гормонів, як ауксин та цитокінін, здатність посилювати поглинання рослинами поживних речовин та підвищення стійкості рослин до абіотичного стресу [10]. Особливо цінними ріст-стимулюючих властивостями ендofітних мікроорганізмів є здатність фіксувати атмосферний азот, солюбілізувати

фосфати, синтезувати ріст-стимулювальні сполуки, наприклад, KCN та гормоноподібні речовини [11].

Серед перспективних ріст-стимулювальних бактерій промислово використовують азотфіксатор *Herbaspirillum* sp. Для таких важливих сільськогосподарських культурах як рис, сорго, кукурудза [12]. Наступний механізмів, що забезпечують ендofітні мікроорганізми, це солюбілізація та мобілізація нерозчинних фосфатів. Фосфор є другим за важливістю елементом після азоту для живлення рослин. Він присутній у ґрунті у вигляді мінералів або у складі органічних сполук. Більшість фосфат-собілізуючих бактерій належать до родів *Pseudomonas*, *Bacilli*, *Rhizobia* та *Azotobacter*, а особливо продуктивні штами є промислово важливими [13]. Крім того, представники роду *Pseudomonas*, наприклад *Pseudomonas aeruginosa* та *Pseudomonas fluorescens*, можуть виробляти ціанід як вторинний метаболіт, що посилює проростання арахісу на 29–30% зі збільшенням урожаю зерна на >70%) [14].

Крім того, вплив бактерій на ризосферу рослин значною мірою зумовлений продукцією фітогормонів, які беруть участь у розвитку кореневої систем та ініціюють ріст, розмноження та спеціалізацію клітин. В промисловості використовується мутант бактерії *Pseudomonas fluorescens* BSP53a, який є надпродуцентом індол-3-оцтової кислоти, що стимулює розвиток коренів у живців чорної смородини, одночасно пригнічуючи розвиток коренів у живців вишні [15]. В експериментальних дослідженнях щодо впливу ріст-стимулювальних бактерій на проростання насіння було показано, що штами *Azotobacter chroococcum*, *Pseudomonas aeruginosa* та особливо *Bacillus cereus*, підвищують вихід свіжої та сухої маси надземних і підземних частин, індекси росту та поглинання поживних речовин у порівнянні з контрольними у 6,55 та 8,45 рази на прикладі *S. montanum* [16].

Особливого значення у пошуку перспективних мікроорганізмів набуває дослідження ендofітних мікроорганізмів екстремальних

екосистем. Це пов'язано з високою адаптивністю та пластичністю метаболізму таких мікроорганізмів. Так, наприклад, високий потенціал щодо пошуку таких мікроорганізмів є рослини антарктичного регіону [17]. Багато мікроорганізмів добре пристосовані до ґрунтів, багатих на метали, і можуть виживати навіть за надзвичайно високих їх концентрацій, знешкоджуючи вплив їх надмірної присутності через ряд механізмів [18]. Використовуючи такі процеси можна досягти зниження концентрації важких металів в ґрунті та нівелювати їх негативний вплив на розвиток рослин. В одночас, присутність деяких металів в ґрунті є надзвичайно важливою для оптимального росту і розвитку рослин. Так, залізо є важливим мікроелементом для рослин і мікроорганізмів, оскільки воно бере участь у різних важливих біологічних процесах, таких як фотосинтез, дихання, біосинтез хлорофілу. Однак, в анаеробних і кислих ґрунтах, таких як затоплені ґрунти, високі концентрації іонів двовалентного заліза ( $\text{Fe}^{2+}$ ), що утворюються в результаті відновлення іонів заліза ( $\text{Fe}^{3+}$ ), можуть призвести до токсичності заліза через надмірне поглинання заліза [19]. Цікавим є перетворення заліза в системі мікробно-рослинних взаємодій [20]. Сидерофори – це органічні сполуки з низькою молекулярною масою, які утворюються бактеріями та грибами. Сидерофори зв'язуються з іонами  $\text{Fe}^{3+}$  і транспортують їх у клітини [21]. Виділення сидерофорів бактеріями може стимулювати ріст рослин, тим самим покращуючи живлення або перешкоджаючи розвитку фітопатогенів через секвестрацію заліза з навколишнього середовища. На відміну від мікробних патогенів, рослини не піддаються впливу бактеріального опосередкованого виснаження  $\text{Fe}$ , і деякі рослини можуть навіть захоплювати та використовувати  $\text{Fe}^{3+}$  сидерофорні бактеріальні комплекси [22].

Такі особливості ендofітних мікроорганізмів створюють передумови їх дослідження з метою пошуку штамів з ріст-стимулюючими та біоремедіаційними властивостями для розробки агробіотехнологій сталого розвитку агросектора України.

## **Література**

1. Yan X, Gong W. The role of chemical and organic fertilizers on yield, yield variability and carbon sequestration results of a 19-year experiment. *Plant Soil*. 2010; 331:471–480.
2. Zhu ZL, Chen DL. Nitrogen fertilizer use in China contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies. *Nutr Cycl Agroecosys*. 2002; 63:117–127.
3. Sun R, Zhang XX, Guo X, Wang D, Chu H. Bacterial diversity in soils subjected to long-term chemical fertilization can be more stably maintained with the addition of livestock manure than wheat straw. *Soil Biol Biochem*. 2015;88:9–18.
4. Savci S. An agricultural pollutant: chemical fertilizer. *Int J Environ Sci Te*. 2012; 3:77–80.
5. Зануда А. “Земля України: скільки її, кому належить і хто на ній працює.” *BBC News Україна*. 2019.
6. Гайду, О. “Через війну в Україні забруднені понад 5 млн гектар сільськогосподарських земель”. Прес-служба Апарату Верховної Ради України. Березень 2023.
7. ЕкоЗагроза. “Дайджест ключових наслідків російської агресії для українського довкілля за 17-23 червня 2023 року”. Офіційний ресурс Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. Червень 2023.
8. “Знищення росіянами Каховської ГЕС завдало значних збитків сільському господарству України.” Міністерство аграрної політики та продовольства України. Червень 2023.
9. “Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future.” United Nations General Assembly. (1987).
10. Moore D. M. Studies in *Colobanthus quitensis* (Kunth.) Bartle. and *Deschampsia Desv*. II. Taxonomy, distribution and relationships // *Br. Antarc. Surv. Bull.*– 1970. — 23, — P. 63–80

11. Ahmed, A. & Hasnain, S. Auxin-producing *Bacillus* sp.: Auxin quantification and effect on the growth of *Solanum tuberosum*. *Pure Appl. Chem.* 82, 313–319 (2010)
12. Differential accumulation of dehydrin-like proteins by abiotic stresses in *Deschampsia antarctica* Desv. / N. Olave-Concha, L. A. Bravo, S. Ruiz-Lara [et al.] // *Polar Biol.* — 2005. — Vol. 28. — P. 506—513.
13. Pedrosa FO, Monteiro RA, Wassem R, Cruz LM, Ayub RA, Colauto NB, Fernandez MA, Fungaro MHP, Grisard EG, Hungria M, et al. Genome of *Herbaspirillum seropedicae* strain SmR1, a specialized diazotrophic endophyte of tropical grasses. *PLoS Genet.* 2011;7
14. H.R. Zabihi, G.R. Savaghebi, K. Khavazi, A. Ganjali, M. Miransari *Pseudomonas* bacteria and phosphorous fertilization, affecting wheat (*Triticumaestivum* L.) yield and P uptake under greenhouse and field conditions *Acta Physiol. Plant.*, 33 (2011), pp. 145-152
15. Kobayashi T, Nishizawa NK. Iron uptake, translocation, and regulation in higher plants. *Annu Rev Plant Biol.* 2012;63:131–52
16. Li, C., Yan, K., Tang, L., Jia, Z. & Li, Y. Change in deep soil microbial communities due to long-term fertilization. *Soil. Biol. Biochem.* 75, 264–272 (2014)
17. M. Verma, J. Mishra, N.K. Arora Plant growth-promoting rhizobacteria: diversity and applications *Environmental biotechnology: For Sustainable Future*, Springer, Singapore (2019), pp. 129-173
18. N. Dubeikovsky, E. A. Mordukhova, V. V. Kochetkov, F. Y. Polikarpova, and A. M. Boronin, “Growth promotion of blackcurrant softwood cuttings by recombinant strain *Pseudomonas fluorescens* BSP53a synthesizing an increased amount of indole-3-acetic acid,” *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 25, no. 9, pp. 1277–1281, 1993.
19. Alves, A. R. A., Yin, Q., Oliveira, R. S., Silva, E. F., & Novo, L. A. B. (2022). Plant growth-promoting bacteria in phytoremediation of metal-polluted soils: Current knowledge and future directions. *Science of The Total Environment*, 838(4), 156435.

20. Chapter 5 - The Role of Plant-Associated Bacteria in Phytoremediation of Trace Metals in Contaminated Soils Pratishtha Gupta Rupa Rani Zeba Usmani Avantika Chandra† Vipin Kumar\* New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering Microbial Biotechnology in Agro-Environmental Sustainability 2019, Pages 69-76
21. Rahnama, S., Ghehsareh Ardestani, E., Ebrahimi, A., & Nikookhah, F. Seed priming with plant growth-promoting bacteria (PGPB) improves growth and water stress tolerance of *Secale montanum*. *Heliyon*. Volume 9, Issue 4 2023.
22. Dimkpa CO, Merten D, Svatos A, Büchel G, Kothe E. Siderophores mediate reduced and increased uptake of cadmium by *Streptomyces tendae* F4 and sunflower (*Helianthus annuus*), respectively. *J Appl Microbiol*. 2009b;5:687–1696.

*Наукове видання*

*Плаван Вікторія Петрівна  
Касич Алла Олександрівна  
Бутенко Оксана Олександрівна*

**Освіта для сталого майбутнього:  
екологічні, технологічні, економічні і соціокультурні  
питання**

Колективна монографія

Редактор В. П. Плаван

Відповідальний за поліграфічне виконання Л. Л. Овечкіна

Підп. до друку 22.11.2023 р. Формат 60x84 1/16.

Ум. друк. арк. 17,90. Облік. вид. арк. 14,01. Наклад 300 пр. Зам. 1991.

Видавець і виготовлювач Київський національний університет технологій та дизайну.  
вул. Мала Шияновська, 2, м. Київ-11, 01011.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,  
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 993 від 24.07.2002.