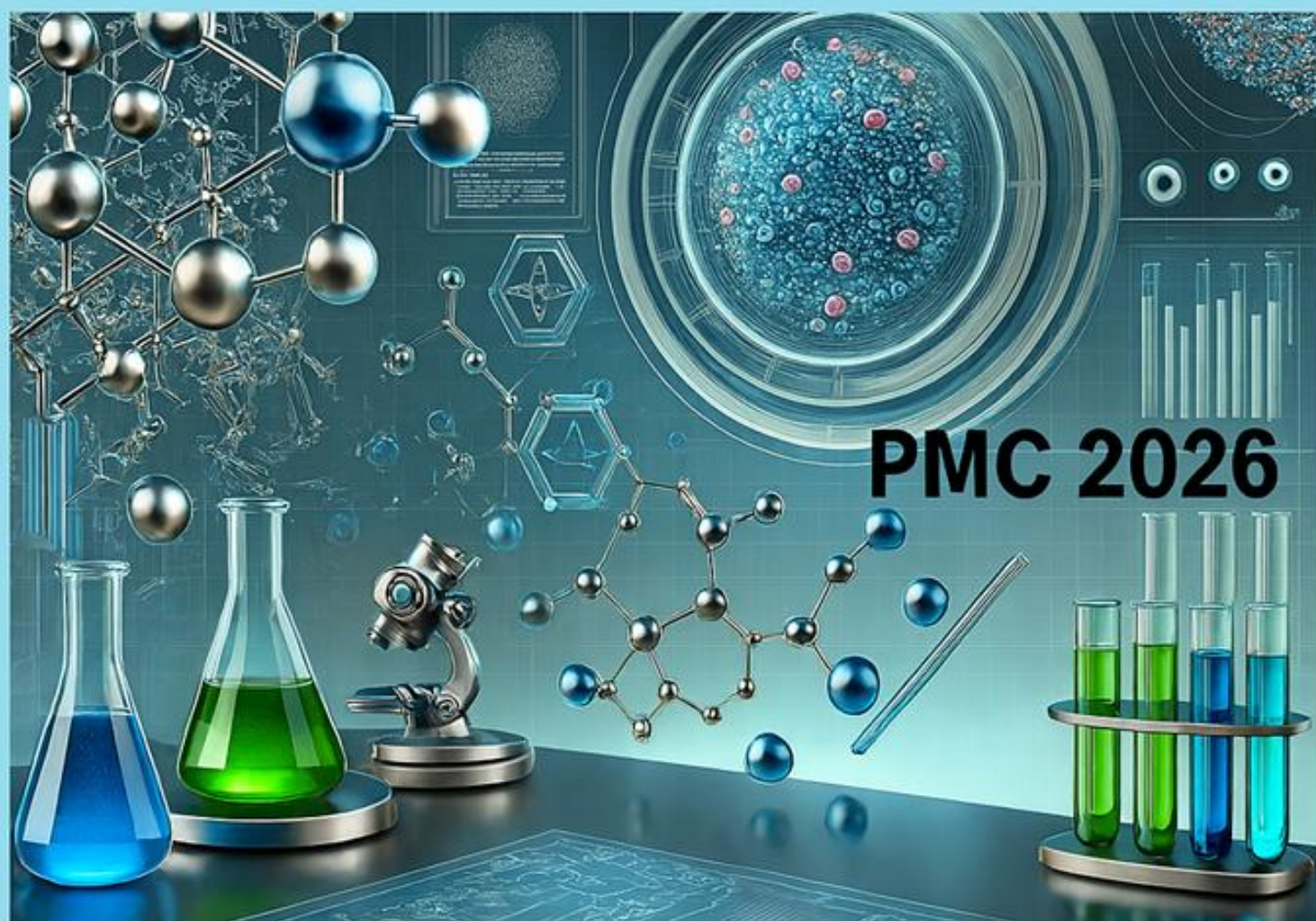


*II* Міжнародна науково-технічна  
конференція

**СУЧАСНІ ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ ТА  
КОМПОЗИТИ: ОДЕРЖАННЯ, ПЕРЕРОБКА  
ТА ДОСЛІДЖЕННЯ**





**Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»  
Навчально-науковий інститут  
хімічних технологій та інженерії**



**Кафедра технології пластичних мас і  
біологічно активних полімерів**

# **СУЧАСНІ ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ ТА КОМПОЗИТИ: ОДЕРЖАННЯ, ПЕРЕРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ**

**Тези доповідей  
II Міжнародної науково-технічної конференції**

**09-10 квітня 2026 року**

**Харків 2026**



**National Technical University  
"Kharkiv Polytechnic Institute"  
Educational and scientific institute  
of chemical technologies and engineering**



**Department of plastics and biologically active  
polymers technology**

**MODERN POLYMER MATERIALS AND  
COMPOSITES: PRODUCTION, PROCESSING AND  
RESEARCH**

**Procegings  
of the II International scientific and technical conference**

**April 09-10, 2026**

Kharkiv 2026

### Програмний комітет:

#### **Співголови:**

Гасанов М. І., д-р. техн. наук, проф., проректор з науково-педагогічної роботи НТУ «ХПІ»  
Труш О. О., канд. наук з держ. упр., проф., проректор з науково-педагогічної роботи НТУ «ХПІ»

Рищенко І. М., д-р. техн. наук, проф., директор Навчально-наукового інституту хімічних технологій та інженерії НТУ «ХПІ»

Черкашина Г. М., канд. техн. наук, доц., зав. кафедрою технології пластичних мас і біологічно активних полімерів НТУ «ХПІ»

#### **Члени комітету:**

Лебедєв В. В., д-р. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»

Андронов В. А., д-р. техн. наук, проф., Г.н.с. науково-дослідної лабораторії службово-бойового застосування, Національна академія національної гвардії України

Данченко Ю. М., д-р. техн. наук, проф., Національна академія національної гвардії України

Мірошниченко Д. В., д-р. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»

Григоров А. Б., д-р. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»

Грубник І. М., канд. фарм. наук, проф., НТУ «ХПІ»

Виноградов В. В., канд. техн. наук, ст. викладач, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Чепурний В. П., Національний юридичний університет імені Ярослава Мудрого

Літвіненко О. О., Національний університет, Сан-Дієго, США

Стаднік В. Ю., д-р. філ., Ernst & Young LLC, США

Петрушенко С. І., канд. фіз.-мат. наук, доц., Технічний університет, Ліберець, Чехія

### Організаційний комітет:

#### **Співголови:**

Карєв А. І., канд. техн. наук, НТУ «ХПІ»

Воронкін А. А. д-р. філ., НТУ «ХПІ»

#### **Члени комітету:**

Близнюк О. В., канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»

Клочко Н. П., канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»

Підгорна Л. П., канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»

Тихомирова Т. С., канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»

Юдіна Ю. В., канд. фарм. наук, доц., НТУ «ХПІ»

Копилов С. О., аспірант НТУ «ХПІ»

Єкимов Є. С., аспірант НТУ «ХПІ»

Саєнко Н. В. канд. техн. наук, доцент, ст. викладач Національного університету цивільного захисту України

Скрипинець А. В. канд. техн. наук, ст. викладач Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

#### **Секретар оргкомітету:**

Карєв А. І., канд. техн. наук, НТУ «ХПІ», Лебедєва К. О., аспірантка НТУ «ХПІ»

Сучасні полімерні матеріали та композити: одержання, переробка та дослідження: тези доповідей II Міжнародної науково-технічної конференції, 09–10 квітня 2026 р. / уклад.

Лебедєв В. В.; прогр. комітет: Гасанов М. І., Труш О. О., Рищенко І. М., Черкашина Г. М. [та ін.]; Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків, НТУ «ХПІ». – 72 с.

ISBN 978-617-05-0556-9

Подано тези доповідей науково-технічної конференції «Сучасні полімерні матеріали та композити: одержання, переробка та дослідження» за теоретичними та практичними результатами наукових досліджень і розробок, які виконані викладачами вищої школи, науковими співробітниками, аспірантами, студентами, фахівцями різних організацій і підприємств.

ISBN 978-617-05-0556-9

© В. В. Лебедєв, 2026

© НТУ «ХПІ», 2026

## ЗМІСТ

### **СЕКЦІЯ І. СИНТЕЗ, СТРУКТУРА, ВЛАСТИВОСТІ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА КОМПОЗИТІВ**

Малиновський В. А., Семенюк Н. Б., Дудок Г. Д., Скорохода В. Й., Лило Н. Н. Модифіковані наночастинками срібла біорозкладні композити на основі полілактиду .....	7
Yekimov Y., Lebediev V. Crystallinity transformation in pulverized polyphthalamide for sustainable polymer engineering .....	8
Рябченко М. О., Лебедев В. В., Литвин А. О., Фошій П. М., Шестопапов О. В., Чефранов Є. В., Кривобок Р. В., Карев А. І., Черкашина Г. М., Близнюк О. В. Історія виникнення та розвитку концепції створення матеріалів для захисту від електромагнітних випромінювань .....	9
Іванух О. О., Мельник Ю. Я., Семенюк І. В., Скорохода В. Й. Біодеградабельні композити на основі полігідроксибутирату, полілактиду та гідроксіапатиту для 3Д-друку .....	10
Miroshnichenko D., Lysenko L., Zharov S., Kvasov O., Kuzin D., Marchenko V., Naboka S. Synergistic mechanisms of corrosion protection in polymer-based primer–enamel coating systems .....	12
Воронкін А. А., Лебедева К. О., Грубнік М. І., Волощук В. В., Кривобок Р. В., Лебедев В. В. Розробка та дослідження установки 3Д-біопринтера для біологічно активних біополімерних гідрогелів .....	14
Поліщук М. Ю., Лебедев В. В. Розробка та дослідження оптимізованих рецептурно-технологічних характеристик поліетерних склопластикових полімерних матеріалів ...	15
Семенюк Н. Б., Дудок Г. Д., Скорохода В. Й., Пакош А. О., Шалата Н. Т. Вплив природи мономера та параметра розчинності на суспензійну полімеризацію метакрилових естерів у присутності полівінілпіролідону .....	16
Пурис В. В., Лебедев В. В. Дослідження особливостей впливу ступеня окиснення гумінових речовин на технологічні властивості агломерату відходів поліаміду-6 .....	17
Fam V. A., Cherkashina G. M., Karev A. I. Hydrophobic coatings based on polymers of unsaturated hydrocarbons .....	18
Derius D. V., Cherkashina G. M., Kariev A. I. New composition of polymer concrete with improved properties .....	19
Kopylov S. O., Cherkashyna G. M. Polymer-composite material based on inorganic waste with latent porosity modifier .....	20
Данченко Ю. М., Андронон В. А., Карев А. І. Дослідження полярної (кислотно-лужної) складової вільної поверхневої енергії наповнених полімерних композитів .....	21
Ломідзе В. Г., Авіна С. І., Худаков О. Г. Механізм олігомеризації та формування макроструктур синильної кислоти .....	24
Lavrova I. O., Grubnik M. I., Vladimihrenko V. V., Grubnik V. I. The structure of coal and the possibility of its depolymerization to produce biologically active substances .....	25

### **СЕКЦІЯ ІІ. АКТУАЛЬНІ ЕФЕКТИВНІ ЕКОЛОГІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ РЕЦИКЛІНГУ ПОЛІМЕРНИХ ТА КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Карев А. І., Мірошніченко М. Д., Данченко Ю. М., Мягкохліб І. П., Шахов Б. С., Шкаєва М. О., Пономарьов Д. О. Пластикова криза війни .....	27
Пономарьов Д. О., Карев А. І., Лебедев В. В., Мірошніченко Д. В. Моделювання суміші побутових відходів для оптимізації продуктів піролізу в умовах України .....	28
Адашевський О. В., Байрачний В. Б. Дослідження причин низького рівня рециклінгу індивідуального полімерного пакування цукристих кондитерських виробів .....	30
Борисенко М. О., Сінкевич І. В. Вторинні поліолефіни як перспективна сировина для виробництва шліфувально- полірувальних паст .....	31
Шевченко К. В., Григоров А. Б. Виробництво автомобільного бензину на базі продуктів каталітичного сопіролізу вторинних полімерів та нафтових залишків .....	33

Цзі Х., Деркачов Н. В., Босюк А. С., Шестопапов О. В. <b>Аналіз та класифікація полімерних флокулянтів для очищення стічних вод</b> .....	35
Кочетов М. С., Тихомирова Т. С., Пітак Р. О. <b>Дослідження перспектив рециклінгу полімерної тари з-під кави для кавоварок</b> .....	36
Марченко В. В., Набока С. А. <b>Регенерація метилацетату з промислових відходів та оцінка його придатності для емалевих систем</b> .....	37
Гадаєва Ю. С. <b>Використання агро- та харчових відходів для виробництва біопластиків в Україні</b> .....	37
Yudina Yu., Hrubnyk I., Baillie L., Hrubnyk M., Lebedev V. <b>Structure–property relationships in beeswax-based coatings: effect of formulation type on mechanical performance</b> .....	3740

### **СЕКЦІЯ III. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В РОЗРОБЦІ І**

#### **ОТРИМАНІ ПОЛІМЕРНИХ ТА КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Sanin Y., Voronkin A., Shchapov P., Sokol Y., Lebedev V. <b>Mechanical performance of FDM-printed mold for creating eco-safety honeycomb wax materials</b> .....	42
Chemerinskiy M., Miroshnichenko D., Bilushchak H., Pyshyev S., Rohovyi Y., Bogoyavlenska O. <b>Physicochemical properties and modeling-based assessment of crude oil as a feedstock for polymer and petrochemical production</b> .....	482
Шмельцер К. О., Мірошніченко Д. В., Кормер М. В., Мукіна Н. В., Коваль В. В., Серкіз К. А., Мироненко А. В. <b>Прогнозування механічної та «гарячої» міцності доменного коксу з трамбованих вугільних шихт</b> .....	474
Альошечкіна Т. М., Барахов К. П., Виноградов В. В., Павлюченков М. В., Яровий Ю. М. <b>Загальний вплив використання додаткового покриття з полісечовини на елементи та конструкції при вибухових навантаженнях</b> .....	47
Альошечкіна Т. М., Барахов К. П., Виноградов В. В., Павлюченков М. В., Яровий Ю. М. <b>Застосування захисних полімерних плівок для підвищення безпеки скляних огорожувальних конструкцій при вибухових навантаженнях</b> .....	48
Kononenko R. G., Lebedev V. V., Voronkin A. A. <b>Effect of process modes on the mechanical-operation performance of FDM-printed building tools</b> .....	489

### **СЕКЦІЯ IV. НОВІТНІ ПОЛІМЕРНІ ТА КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ В**

#### **МЕДИЦИНІ, БУДІВНИЦТВІ, АВІАБУДУВАННІ ТА ЕНЕРГЕТИЦІ**

Бегей Т. С., Мельник Ю. Я., Скорохода В. Й. <b>Гідрогелеві контактні лінзи покращеної комфортності на основі кополімерів полівінілпіролідону з метакриловими естерами</b> .....	52
Kogtin A., Kravchenko S., Miroshnichenko D., Koval V., Shulga I. <b>Optimization of cooling gas composition to improve coke quality during dry quenching</b> .....	52
Parkhomov Y., Miroshnichenko D., Lypko Y., Reivi V., Rohov Y., Shved M., Korchak B., Pyshyev S. <b>Waste-to-fuel conversion of sunflower oil soapstock: an environmentally Efficient recycling approach</b> .....	4854
Гаїпов А. Я., Григоров А. Б. <b>Залучення вторинних полімерів для протикорозійного захисту нафто- та газопроводів</b> .....	56
Скрипинець А. В., Гурина Г. І., Нестеренко С. В., Косогова Є. О. <b>Гідрофобні матеріали для запобігання обледенінню</b> .....	4858
Артищенко Б. К., Григоров А. Б. <b>Особливості підбору полімерної матриці для виробництва хімічностійких композиційних матеріалів</b> .....	48
Макаренко О. В. <b>Композиційні теплоізоляційні матеріали з аерогельними наповнювачами для енергоефективних будівельних систем</b> .....	62
Саєнко Н. В., Березовський А. І., Копил Б. Я. <b>Термічна деструкція компонентів інтумесцентного вогнезахисного покриття для сталевих конструкцій</b> .....	63

Karandashov O. H., Pidhorna L. P. <b>Research on the influence of various fillers on the radio transparency of polymer composite materials</b> .....	48
Pidhorna L. P., Karandashov O. H., <u>Avramenko V. L.</u> , Cyrova H. O., Mishina M. M. <b>Increasing the resistance of polymeric materials to microbiological destruction</b> .....	48
Саєнко Н. В., Скрипинець А. В., Березовський А. І. <b>Дослідження складу та токсикологічних властивостей продуктів горіння епоксидних і епоксиретанових вогнезахисних матеріалів</b> .....	66
Григоренко О. М., Саєнко Н. В. <b>Вплив металовмісних добавок на адгезійно-міцнісні властивості вогнезахисних епоксиолімерних композицій</b> .....	67
Демідов Д. В. <b>Теплоізоляційні покриття на основі стирол-акрилової дисперсії та порожнистих алюмосилікатних мікросфер</b> .....	68
Демідов Д. В. <b>Оцінка впливу силікатних наповнювачів на адгезійні та адгезійно-міцнісні властивості водно-дисперсійних лакофарбових покриттів</b> .....	69

**СЕКЦІЯ І**  
**СИНТЕЗ, СТРУКТУРА, ВЛАСТИВОСТІ ТА ЗАСТОСУВАННЯ**  
**ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА КОМПОЗИТІВ**

## Модифіковані наночастинками срібла біорозкладні композити на основі полілактиду

Малиновський В. А., Семенюк Н. Б., Дудок Г. Д., Скорохода В. Й., Лило Н. Н.

Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

*halyna.d.dudok@lpnu.ua*

Полілактид (ПЛА) — це біорозкладний напівкристалічний полімер, який останніми роками привертає значну увагу як біосумісний та екологічно чистий матеріал. Він схвалений FDA для біомедичного застосування, контакту з живими організмами, а також для пакування харчових продуктів і ліків. Пакування має відповідати суворим технічним і санітарним нормам. Воно повинно захищати продукт від механічних пошкоджень та забезпечувати герметичність, щоб запобігти зневодненню, намоканню або окисненню. Ці властивості базуються на бар'єрних характеристиках матеріалу. Зовнішні фактори (тепло, волога, кисень) сприяють розвитку бактерій та плісняви. Хоча для деяких продуктів (фрукти, овочі) потрібна висока проникність для "дихання", більшість товарів потребують захисту.

Сьогодні плівки на основі ПЛА вже використовують для пакування сухих продуктів або фаст-фуду. Проте їх застосування обмежене для продуктів, чутливих до вологи та кисню, через недостатні газозахисні та антимікробні властивості ПЛА. Хоча ПЛА легко обробляється, його крихкість є недоліком. Проте міцність матеріалу можна підвищити, збільшивши частку кристалічної фракції. Ступінь кристалічності також визначає бар'єрні властивості. Перспективним напрямком є створення нанокompозитів із використанням наночастинок (розміром до 100 нм). Особливе місце посідають наночастинок срібла завдяки їхнім унікальним антимікробним властивостям.

Метою роботи було модифікувати полілактиди наночастинок срібла та іншими додатками, а також дослідити фунгібактерицидні властивості отриманих композитів.

Нами використаний метод синтезу наночастинок срібла відновленням його з солей полівінілпіролідом (ПВП), який є безпечнішим за традиційні методи, що використовують токсичні аміни. Утворення стабільних колоїдів підтверджувалося зміною кольору розчину на коричнево-жовтий та даними ІЧ спектроскопії. Аналіз спектрів засвідчив координацію між Ag та карбонільними групами ПВП.

Важливою характеристикою є поведінка матеріалу у водному середовищі. Дослідження показали, що усі зразки мають низький ступінь набрякання (до 2%), що вказує на добрі бар'єрні властивості.

Випробування на культурах *E. coli*, *S. aureus* та *A. niger* продемонстрували, що композити без срібла не мають антимікробних властивостей, а зразки з наночастинок срібла ефективно блокують ріст бактерій навіть за мінімальних концентрацій. Найвищий ефект спостерігався за концентрації 100 мкг/мл, де ріст мікроорганізмів був практично повністю інгібований.

Метод формування плівок із розчину обґрунтований тим, що він дає змогу вводити нетермостійкі компоненти (антисептики, консерванти) за низьких температур. Розроблено принципову схему установки, що включає фільтеру, транспортерну стрічку та сушильну камеру з системою рекуперації розчинника.

Основні результати досліджень:

- розроблено безпечний спосіб одержання наночастинок срібла в ПЛА-матриці за допомогою ПВП;
- синтезовані матеріали мають виражені фунгібактерицидні властивості;
- низький ступінь набрякання підтверджує придатність плівок для пакування ліків та продуктів;
- запропонована технологія дає змогу створювати екологічне пакування з подовженим терміном зберігання вмістимого.

## Crystallinity transformation in pulverized polyphthalamide for sustainable polymer engineering

*Yekimov Y., Lebediev V.*

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine  
*yekymov@iht.khpi.edu.ua*

High-temperature semi-aromatic polyamides, commonly referred to as polyphthalamides (PPA), occupy a critical niche in engineering applications where thermal stability, chemical resistance, and dimensional integrity at elevated temperatures are required. Typical PPA grades, such as 6T/6I glass filled 35% exhibit melting temperatures above 320 °C and retain stiffness and strength in conditions where conventional aliphatic polyamides (such as PA6 or PA66) begin to soften or lose mechanical performance. This combination of properties has led to widespread use of PPA in automotive under-the-hood components, electrical and electronic connectors, and other high-load, high-temperature environment. However, the same structural features that make PPA attractive in service – semi-aromatic backbones, high crystallinity, and strong intermolecular hydrogen bonding – also make these materials particularly challenging to recycle in a technologically and economically viable way.

Mechanical recycling of high-temperature semi-aromatic polyamides remains a technological challenge due to their high melting temperatures and limited processability. In this study, secondary glass-fiber-reinforced polyphthalamide was subjected to two different mechanical size-reduction routes – conventional crushing and fine pulverization – to evaluate how mechanical treatment affects its structural morphology and potential suitability for sustainable polymer engineering. FTIR analysis confirmed that both treatments preserved the chemical backbone of polyphthalamide, although the pulverized material showed subtle changes in the N–H and C=O absorption regions, indicating a partial reorganization of the hydrogen-bonding network. X-ray diffraction revealed a measurable decrease in apparent crystallinity from approximately 24.2 % (crushed) to 18.4 % (pulverized), accompanied by an increase in crystallite size from 10.3 to 12.8 nm, suggesting lamellar restructuring rather than surface damage.

Differential scanning calorimetry was evaluated using the first heating run as a probe of the as-processed morphology: compared with the crushed reference, the pulverized polyphthalamide exhibits a lower melting enthalpy on first heating ( $\approx 23$  vs  $\approx 17$  J/g) and a distinct cold-crystallization exotherm near 166 °C, while the glass-transition and melting temperatures remain essentially unchanged. The combination of reduced apparent crystallinity, decreased melting enthalpy on first heating, and the emergence of cold crystallization indicates that mechanical pulverization transfers a fraction of the semi-crystalline phase into a more disordered yet recrystallizable state. From an application perspective, this “morphology-activated” polyphthalamide can be considered as a finely divided, thermally stable polymeric phase that is more amenable to reuse in polyamide-based systems and powder-based technologies.

These results show that mechanical pulverization can serve as a simple, solvent-free method for enhancing the recyclability and engineering value of high-performance polyphthalamide within sustainable polymer processing frameworks.

## Історія виникнення та розвитку концепції створення матеріалів для захисту від електромагнітних випромінювань

*Рябченко М. О., Лебедев В. В., Литвин А. О., Фоцій П. М., Шестопапов О. В.,  
Чефранов Є. В., Кривобок Р. В., Карев А. І., Черкашина Г. М., Близнюк О. В.*

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна  
*vladimirlebedev1980@ukr.net*

Стрімкий розвиток електромагнітних технологій і широке застосування електронних пристроїв починаючи з середини ХХ ст. призвели до появи нового типу техногенного забруднення — електромагнітного. Електромагнітні випромінювання (ЕМВ) від природних (блискавки, сонячні спалахи) та штучних джерел (радары, комп'ютери, телекомунікаційне обладнання) порушують нормальну роботу електронних систем і несуть загрозу для здоров'я людини.

Концепцію електромагнітних перешкод (ЕМП) вперше запропонував Міжнародний спеціальний комітет з радіоперешкод у 1933 році в Парижі, що заклало основи сучасної нормативної бази у цій сфері.

У 1970-х роках науковці документально підтвердили шкоду ЕМВ для живих організмів і навколишнього середовища, що спонукало провідні держави до законодавчого регулювання. У 1979 році Федеральна комісія зв'язку США ввела обов'язкові ліміти на ЕМ-випромінювання для всіх електронних пристроїв. Рада Європи розробила директиви щодо захисту уразливих груп населення, вагітних жінок і пацієнтів з медичними імплантатами.

З початку 2000-х років і особливо з 2015 р. — коли стартувало активне розгортання мереж 5G та інтернету — кількість публікацій на тему поглинання ЕМВ зростає експоненційно.

За даними Web of Science, лише у галузі полімерних композитів для захисту від ЕМВ щорічно публікується понад 2000 нових досліджень. Сьогодні ЕМ-забруднення визнане четвертим типом антропогенного забруднення навколишнього середовища поряд з атмосферним, водним та шумовим.

Традиційно для екранування ЕМВ застосовувалися металеві матеріали — мідь, алюміній, нержавіюча сталь. Проте метали мають суттєві обмеження: висока питома маса ( $\rho(\text{Cu}) = 8,96 \text{ г/см}^3$ ), схильність до корозії, складність формоутворення та переважно відбивний (а не поглинаючий) механізм дії, що призводить до вторинного ЕМ-забруднення. Це зумовило активний пошук альтернатив — передусім легких, гнучких і технологічних полімерних нанокompозитів, здатних не лише відбивати, але й ефективно поглинати електромагнітну енергію, перетворюючи її на теплоту.

Ефективність матеріалу для захисту від ЕМВ виражається коефіцієнтом екранування:

$$SE \text{ (дБ): } SET = SE_A + SE_R + SE_M,$$

де  $SE_A$  — поглинання,  $SE_R$  — відбиття,  $SE_M$  — кратне відбиття. Для комерційних застосувань мінімально необхідне значення  $SE \geq 20$  дБ (екранування 99% падаючої потужності), для оборонних та аерокосмічних —  $SE \geq 60\text{--}80$  дБ. Матеріали з домінуючим поглинанням ( $SE_A \gg SE_R$ ) є особливо цінними, оскільки не створюють вторинного ЕМ-фону.

## Біодеградабельні композити на основі полігидроксibuтирату, полілактиду та гідроксіапатиту для 3Д-друку

*Іванух О. О.<sup>1</sup>, Мельник Ю. Я.<sup>1</sup>, Семенюк І. В.<sup>2</sup>, Скорохода В. Й.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

<sup>2</sup>Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії і вуглекімії імені Л. М. Литвиненка НАН України, м. Львів, Україна  
*oleksandr.o.ivanukh@lpnu.ua*

Термопластичні композити на основі полі(3-гідроксибутирату) (ПГБ) і гідроксіапатиту (ГА) є перспективними для адитивного виготовлення біорезорбованих каркасів кісткової тканини. Поєднання біодеградабельного поліестеру з біоактивною кальційфосфатною фазою дозволяє отримати матеріал, який поєднує біосумісність, osteoconдуктивність і забезпечує необхідний рівень механічних властивостей. Проте використання ПГБ у технологіях 3Д друку ускладнюється його високою кристалічністю, швидкою кристалізацією й обмеженим температурним інтервалом перероблення, що знижує стабільність екструзії й якість формування виробів. Тому актуальним є підбір складу та режимів формування композитів на основі ПГБ, а також модифікування полімерної матриці для покращення їх технологічності в умовах FDM-друку.

Бінарні композити ПГБ/ГА формували шляхом введення гідроксіапатиту у полімерну матрицю з подальшим компаундуванням і екструзією філаменту. Вміст ГА у таких системах знаходився у межах 5–30 мас. %. За низьких концентрацій наповнювача композиції зберігали задовільну текучість, однак уже при вмісті 15–20 мас. % ГА спостерігалось відчутне підвищення в'язкості розплаву, що ускладнювало стабільне формування філаменту.

Філаменти ПГБ/ГА одержували компаундуванням з використанням лабораторного двошнекового екструдера NTGD-11 з діаметром шнека 21,7 мм і співвідношенням L/D = 40. Перед переробленням порошкоподібні компоненти: ПГБ, синтезований у Відділенні ФХГК ІнФОВ НАН України ( $T_{пл} = 150–177$  °С;  $ПТР_{(190,2,16)} = 9$  г/10 хв) і гідроксіапатит (Acros Organics®, CAS: 1306-06-5 з розміром частинок 60–80 нм) сушили сумісно у вакуумній шафі ВШ-0,035 за температури 80 °С протягом 2 год для зменшення впливу вологи на термостабільність системи. Температурний профіль компаундування знаходився у межах 150–190 °С, а швидкість обертання шнека становила 60 об./хв. Отримували філамент діаметром 1,75 мм, який після виходу з екструдера охолоджували за допомогою повітряного кулера до температури 50–60 °С для стабілізації геометрії.

З метою покращення технологічності термопластичних систем на основі ПГБ полімерну матрицю модифікували введенням полілактиду (ПЛА) Nature Works® Ingeo™ Biopolymer 4043D ( $T_{пл} = 145–160$  °С;  $ПТР_{(210,2,16)} = 6$  г/10 хв), який характеризується ширшим температурним інтервалом перероблення та нижчою кристалічністю. Для формування композитів ПГБ/ПЛА/ГА використовували суміш полімерів ПГБ:ПЛА = 50:50 мас. % з вмістом гідроксіапатиту 10–30 мас. %. Такий склад дозволив поєднати біодеградабельність ПГБ з кращою технологічністю ПЛА і забезпечити стабільніше формування філаменту. Компаундування композицій проводили на двошнековому екструдері NTGD-11 після попереднього сумісного сушіння матеріалів у вакуумній шафі ВШ-0,035 за температури 80 °С протягом 2 год. Температурний профіль екструзії становив 170–190 °С, а швидкість обертання шнека – 60 об./хв. Після екструзії нитку охолоджували за допомогою повітряного кулера до температури 50–60 °С і калібрували до діаметра 1,75 мм, що забезпечувало рівномірну подачу філаменту під час друку.

Стандартні зразки для досліджень з одержаних композитів ПГБ/ГА і ПГБ/ПЛА/ГА виготовляли методом пошарового наплавлення (FDM) за допомогою 3Д-принтера Prusa i3 MK2, оснащеного латунним соплом діаметром 0,4 мм. Моделі зразків створювали у середовищі AutoCAD, а підготовку до друку здійснювали за допомогою програмних пакетів PrusaSlicer і Slic3r. Враховуючи відмінності у реологічній поведінці досліджуваних систем,

режими друку підбирали індивідуально для кожного типу композиту. Технологічні параметри 3Д-друку одержаних біодеградабельних композитів наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри 3Д-друку одержаних біодеградабельних композитів

Параметри 3Д друку	Значення	
	ПГБ/ГА	ПГБ/ПЛА/ГА
Температура друку, °С	180–205	190–215
Температура платформи, °С	40–60	45–65
Швидкість друку, мм/с	20–40	25–45
Діаметр сопла, мм	0,4	0,4
Товщина шару, мм	0,15–0,25	0,15–0,25
Кількість периметрів	1	1
Щільність заповнення, %	100	100

Встановлено, що під час 3Д-друку композитів ПГБ/ГА, збільшення вмісту ГА позитивно впливає на жорсткість матеріалу та частково зменшує усадку під час охолодження, однак при вмісті наповнювача понад 25–30 мас. % процес екструзії ставав нестабільним. Основними обмежувальними чинниками були зниження текучості розплаву, нерівномірність подачі матеріалу через сопло, а також агломерація частинок наповнювача, що створювала локальні концентрації напружень і підвищувала крихкість надрукованих виробів. Натомість у композитах ПГБ/ПЛА/ГА введення ПЛА розширювало технологічне вікно перероблення, покращувало стабільність екструзії, сприяло формуванню рівномірнішої нитки та підвищувало якість міжшарових з'єднань. У таких системах частинки гідроксіапатиту розподілялися рівномірніше, а мікроструктура надрукованих виробів була одноріднішою порівняно з бінарними композитами ПГБ/ГА. Одержані методом FDM зразки характеризувалися чітко вираженою шаруватою будовою, типовою для адитивного формування термопластичних композитів. За оптимально підібраних режимів друку формувалася пориста структура, що є сприятливим для проростання кісткової тканини та розвитку судинної мережі.

Отже, дослідженнями встановлено, що введення полілактиду до складу композитів на основі полігідроксибутирату та гідроксіапатиту забезпечує покращення їх перероблюваності методом FDM-друку та розширює можливості формування біодеградабельних виробів із регульованою структурою та властивостями. Одержані термопластичні біодеградабельні композити можуть бути перспективними матеріалами для адитивного виготовлення біорезорбованих каркасів кісткової тканини.

## Synergistic mechanisms of corrosion protection in polymer-based primer–enamel coating systems

Miroshnichenko D.<sup>1,2</sup>, Lysenko L.<sup>1,2</sup>, Zharov S.<sup>1</sup>, Kvasov O.<sup>1</sup>, Kuzin D.<sup>1</sup>, Marchenko V.<sup>1</sup>,  
*Naboka S.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup> State Enterprise «Ukrainian State Research Coal Chemistry Institute (UKHIN), Kharkiv, Ukraine  
*dvmir79@gmail.com*

The corrosion resistance of industrial primer–enamel coatings was studied under controlled technological conditions by varying zinc phosphate content, organic inhibitors, and silane adhesion promoters. Eight epoxy–alkyd/acrylic coating variants applied to steel were evaluated using coating quality indicators and comparative corrosion analysis. The results show that optimal protection is achieved through a synergistic combination of barrier, interfacial, and inhibitive mechanisms.

Corrosion protection of carbon steel remains a key technological challenge in industrial applications, as premature coating failure leads to increased maintenance costs, reduced service life of structures, and significant economic losses. Among the available protection strategies, organic primer–enamel coating systems remain the most widely used due to their technological flexibility, cost efficiency, and adaptability to a wide range of service environments. However, their anticorrosion performance depends not only on chemical composition, but also on coating quality indicators formed during technological processing.

Industrial primer–enamel systems provide corrosion protection through a combination of barrier, inhibitive, and interfacial mechanisms. Barrier protection restricts the transport of aggressive species such as moisture, oxygen, and ions through the coating film. Inhibitive protection suppresses electrochemical reactions at the metal–coating interface, while interfacial stabilization controls resistance to underfilm corrosion and coating delamination. The relative contribution of each mechanism is governed by formulation parameters, pigment loading, additive functionality, and application technology.

Despite extensive industrial use, many studies consider anticorrosion coatings either from a purely chemical perspective or focus on individual protective mechanisms in isolation. As a result, formulation–performance relationships are often discussed qualitatively, without systematic comparison of industrially relevant coating systems prepared under controlled technological conditions. This limits the transferability of laboratory-scale findings to real industrial applications.

The present work addresses this limitation by systematically investigating the influence of formulation variables on the corrosion behavior of industrial primer–enamel coating systems applied to carbon steel. Epoxy-based primers and alkyd/acrylic enamels were selected as representative industrial materials. Eight coating variants were prepared under identical technological conditions, differing only in zinc phosphate content, presence of organic corrosion inhibitors, and the use of silane-based adhesion promoters. Binder chemistry, surface preparation, application regime, and curing conditions were kept constant to isolate formulation-driven effects.

Coating quality indicators were used as primary descriptors of film integrity prior to corrosion exposure. These included dry film thickness, adhesion to steel, defect density, film compactness, and functional inhibitor efficiency. Corrosion performance was evaluated using comparative post-exposure metrics, including time to corrosion initiation, corroded surface area, delamination length, and adhesion retention. This comparative approach emphasizes relative trends among formulation variants rather than absolute performance of a single system.

The results demonstrate that zinc phosphate content plays a dual role in anticorrosion protection. Increased phosphate loading enhanced barrier continuity and film compactness while simultaneously promoting passivation at the metal–coating interface. Coatings with higher zinc phosphate levels exhibited delayed corrosion initiation and reduced corrosion propagation compared to baseline formulations.

Silane-based adhesion promoters had a pronounced effect on interfacial stability. Modified coatings showed significantly improved adhesion to carbon steel and reduced susceptibility to underfilm corrosion and delamination. This confirms that strong interfacial bonding is a critical factor governing long-term coating durability, particularly once localized electrolyte ingress occurs.

Organic corrosion inhibitors contributed independently to corrosion suppression by reducing electrochemical activity at the metal–coating interface. Their presence resulted in delayed corrosion initiation and lower corrosion damage, while having minimal influence on bulk film morphology, thickness, or adhesion. The effectiveness of organic inhibitors was most pronounced when combined with dense, well-adhered coating films.

The highest corrosion resistance was observed for coating systems that combined enhanced barrier properties, strong interfacial adhesion, and active inhibitor functionality. These results indicate a clear synergistic interaction between structural (barrier and adhesion-related) and functional (electrochemical inhibition) protection mechanisms. No single formulation parameter alone was sufficient to achieve optimal anticorrosion performance.

A key outcome of the study is the identification of coating quality indicators as reliable predictors of corrosion resistance. Film compactness, adhesion strength, and inhibitor activity showed strong correlation with corrosion performance, whereas dry film thickness alone exhibited only moderate influence. This highlights the importance of evaluating measurable coating properties rather than relying solely on nominal formulation composition.

From a practical standpoint, the established formulation–technology–performance relationships provide a structured basis for optimizing industrial primer–enamel systems without modification of existing application or curing technologies. The proposed approach is directly applicable to formulation tuning, quality control, and performance benchmarking in industrial corrosion protection.

The findings confirm that effective corrosion protection in industrial primer–enamel systems arises from a balanced chemical–technological design integrating barrier densification, interfacial stabilization, and electrochemical inhibition. This integrated framework offers a robust basis for improving durability and reliability of anticorrosion coatings in industrial service conditions.

## Розробка та дослідження установки 3D-біопринтера для біологічно активних біополімерних гідрогелів

*Воронкін А. А., Лебедева К. О., Грубнік М. І., Волощук В. В., Кривобок Р. В., Лебедев В. В.*  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна  
*vladimirlebedev1980@ukr.net*

Сучасним трендом розвитку біологічно активних полімерів та матеріалів на їх основі є введення ліків через шкіру, для місцевої терапевтичної дії на уражену шкіру при системній місцевій доставці ліків. Також вони широко використовуються в напрямі біологічно активних матеріалів у вигляді полімерних гідрогелів різного типу.

Було проведено визначення оптимальних концентрацій основних компонентів біологічно активних біополімерних гідрогелів для технології 3D-біопринтингу за результатами реологічного віскозиметричного аналізу.

Було реалізовані процеси реалізації модифікації 3D-біопринтеру. Основою розробленого біопринтера слугував комерційний FDM 3D-принтер Creality Ender 3 V3 SE. Вибір цієї моделі обґрунтовано низькою вартістю (приблизно 200 доларів США), відкритою конструкцією на основі стандартних алюмінієвих профілів, наявністю підігрівного робочого столу (необхідного для роботи з желатиновмісними гідрогелями) та широким розповсюдженням у середовищі ентузіастів.

Реалізована установка прошивки Klipper на принтер. На карту microSD ємністю 32 ГБ за допомогою офіційної утиліти Raspberry Pi Imager записано образ MainsailOS. Карту встановлено у Raspberry Pi 4B та виконано первинне налаштування мережі через WiFi. Доступ до Raspberry Pi отримано через SSH за адресою mainsailos.local з обліковим записом pi. Після перезапуску Klipper принтер успішно підключився до системи керування у статусі Ready.

Проведено конструювання шприцевого насоса. Механічна частина шприцевого насоса побудована на основі алюмінієвого профілю 2020, що слугує опорною рамою. На одному кінці профілю закріплено кроковий двигун NEMA 17 через 3D-друкований кронштейн. Вал двигуна з'єднано з трапецеїдальним гвинтом T8 (крок 8 мм, довжина 150 мм) за допомогою гнучкої муфти 5×8 мм. На іншому кінці профілю розташовано тримач шприца, який забезпечує жорстку фіксацію циліндра шприца у горизонтальному положенні. Поршень шприца переміщується штовхачем, у який запресовано гайку трапецеїдального гвинта T8. При обертанні гвинта гайка переміщується вздовж його осі, передаючи зусилля на поршень шприца та забезпечуючи дозовану подачу матеріалу. Довжина гвинта 150 мм обрана з урахуванням ходу поршня шприца 105 мм та з технологічним запасом.

Шприцевий насос планується розмістити вертикально на верхній перекладині рами принтера (з використанням стандартного кріплення для котушки філаменту), що забезпечує гравітаційну подачу матеріалу, мінімізує тиск на мотор та виключає накопичення повітряних бульбашок у шприці. Проведена прошивка та інтеграція плати SKR V1.4 Turbo. Для керування кроковим двигуном шприцевого насоса використано окрему контролерну плату BIGTREE TECH SKR V1.4 Turbo на базі процесора LPC1769 (NXP). Драйвер працює у стандартному режимі STEP/DIR без UART зв'язку, що спрощує конфігурацію. Регулювання швидкості подачі здійснюється параметром SPEED, що дозволяє підбирати оптимальну швидкість для матеріалів різної в'язкості (повільніше для більш в'язких чорнил).

Описана методика забезпечує функціонування шприцевого насоса як окремого крокового двигуна.

## Розробка та дослідження оптимізованих рецептурно-технологічних характеристик поліестерних склопластикових полімерних матеріалів

*Полищук М. Ю., Лебедев В. В.*

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна  
*vladimirlebedev1980@ukr.net*

Сучасні тенденції розвитку полімерних матеріалів спрямовані на створення багатофункціональних композитів, які можуть поєднувати високу механічну міцність, хімічну стійкість та розширені експлуатаційні можливості під впливом різних фізико-хімічних факторів.

Об'єктами експериментального дослідження були:

- ПОО марки ES-1060-2 (ESKIM KIMYA, Туреччина) – це ненасичений поліестерний олігомер на основі ортофталевої кислоти, який використовується для лиття. Він є еластичним із середньою реакційною здатністю. Найпоширенішим використанням цієї ПОО є виробництво різних композиційних матеріалів, зокрема склопластиків, кювет, раковин, кухонних стільниць, ніжок столів, гудзиків, прикрас тощо;

- як ініціатор застосовувалися перекис метилетилкетону (ПМЕК) марок LUPEROX K1 S та PROMOX P200TX. LUPEROX® K1 S (Arkema, Франція) – це пероксид метилетилкетону, який використовується для структурування ПОО за кімнатної температури і підвищеної температури в поєднанні з кобальтовим прискорювачем, як альтернатива дибензоїлпероксид/амінного прискорювача. PROMOX P200TX S (Promo, Італія) – це пероксид метилетилкетону, який використовується для структурування ПОО за кімнатної температури і підвищеної температури, флегматизована суміш без перекису фталатів;

- прискорювач структурування марки AKCOBALT 6% (Akra Aluminum, Туреччина) – розчин кобальтових солей органічних кислот у стиролі.

Зразки ПОО досліджуваних марок з різним вмістом ініціаторів та прискорювача отримували шляхом зважування розрахункової кількості компонентів на аналітичних терезах і ретельно перемішували. Далі композицію заливали в змащену форму до певної товщини для подальшого дослідження процесів екзотермії структуривання на авторській установці. Визначали час гелеутворення та значення екзотермічного піку в композиціях.

Установка була зібрана на основі мікроконтролера ESP32. Був використаний терморезистор PT100 платиновий який має наступні характеристики: діапазон вимірюваних температур  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+500^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ ), точність  $\pm 0,3 - 0,8^{\circ}\text{C}$  (в діапазоні  $0-450^{\circ}\text{C}$ ). Модуль перетворювач MAX31865, використовуються для підключення, обробки і передачі даних із терморезистора до мікроконтролера. За допомогою програмного забезпечення був записаний в пам'ять мікроконтролера csv файл з виміряними даними температури і відповідними часовими рамками (timestamp).

Для вивчення густини структурованих ПОО використано гідростатичний метод згідно ISO 1183-1 для вимірювання густини зразка полімеру об'ємом не менше  $1\text{ cm}^3$ .

Оптимізовані рецептури забезпечують контроль екзотермічного піку, стабільність процесу виробництва, підвищення механічних характеристик склопластиків, універсальність застосування (різні технології формування), можливість виготовлення товстостінних і тонкостінних виробів, підвищення якості та повторюваності продукції, зменшення браку, скорочення тривалості виробничого циклу та зниження енерговитрат.

## Вплив природи мономера та параметра розчинності на суспензійну полімеризацію метакрилових естерів у присутності полівінілпіролідону

*Семенюк Н. Б., Дудок Г. Д., Скорохода В. Й., Пакош А. О., Шалата Н. Т.*  
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна  
*nataliia.b.semeniuk@lpnu.ua*

Суспензійна полімеризація є ефективним і перспективним методом отримання сферичних частинок із контрольованими розмірами, структурою та хімічним складом. Такі полімерні суспензії з вузьким розподілом частинок за розмірами є основою для створення сучасних систем доставки лікарських препаратів і біологічно активних речовин. Значний науковий і практичний інтерес викликають сферичні полімерні частинки, які синтезують суспензійною гомополімеризацією метакрилових мономерів, зокрема 2-гідроксіетилметакрилату (ГЕМА) та гліцидилметакрилату (ГМА), або їх прищепленої кополімеризації з полівінілпіролідонем (ПВП) у присутності зшивальних агентів у середовищі інертних розчинників. Однією з ключових проблем процесу полімеризації є вибір інертного органічного розчинника, який повинен одночасно забезпечувати розчинення компонентів мономер-полімерної композиції та обмежувати їх дифузію у водну фазу. Встановлено, що визначальним критерієм ефективності розчинника є параметр розчинності, який характеризує полярність системи, впливає на міжфазні взаємодії, критичну молекулярну масу та кінетику полімеризації.

Дослідження дифузійних процесів показали, що перенесення мономера (зокрема 2-ГЕМА) та ПВП у водну фазу відбувається переважно на початкових стадіях процесу і суттєво залежить від природи розчинника та складу органічної фази. Виявлено, що додавання ПВП до мономерної суміші зменшує швидкість дифузії мономера у водну фазу, що сприяє стабілізації дисперсної системи.

Для системи на основі 2-ГЕМА оптимальними розчинниками є суміші вищих спиртів (зокрема циклогексанолу та деканолу), які забезпечують мінімальну дифузію компонентів і формування сферичних частинок. Для композицій на основі ГМА встановлено, що використання індивідуальних розчинників (діоксан, толуен, циклогексанол) є неефективним через інтенсивну дифузію ПВП або порушення стабільності системи; натомість оптимальними є їх суміші, зокрема толуену з деканолом.

Показано, що природа мономера суттєво впливає на кінетику полімеризації: композиції з гліцидилметакрилатом характеризуються вищою швидкістю реакції порівняно з системами на основі ГЕМА, що пов'язано з меншим параметром розчинності та специфікою міжфазних взаємодій.

Встановлено екстремальний характер залежності розміру полімерних частинок і показника полідисперсності від параметра розчинності: існує оптимальне значення (близько  $42,3 \text{ (МДж/м}^3\text{)}^{1/2}$ ), за якого формуються найменші та найоднорідніші частинки. Відхилення параметра розчинності від оптимального значення призводить до збільшення розміру частинок, їх полідисперсності або навіть до утворення агломератів.

Доведено, що параметр розчинності є ефективним інструментом керування структурою, розміром та однорідністю полімерних частинок у процесі суспензійної полімеризації.

Отримані результати дають змогу обґрунтувати підхід до цілеспрямованого підбору складу реакційного середовища для синтезу полімерних матеріалів із заданими властивостями. Полімерні суспензії, що характеризуються вузьким розподілом частинок за розмірами, а також заданим хімічним складом і структурою, є важливою основою для розроблення систем доставки лікарських засобів і біологічно активних сполук.

## Дослідження особливостей впливу ступеня окиснення гумінових речовин на технологічні властивості агломерату відходів поліаміду-6

*Пурис В. В., Лебедев В. В.*

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна  
*vladimirlebedev1980@ukr.net*

Використання гумінових речовин бурого вугілля як функціональних модифікаторів агломерату поліамідних відходів є перспективним підходом до регулювання його технологічних властивостей при переробці. У роботі показано, що саме ступінь окиснення гумінових речовин визначає характер їх впливу на густину, температуру плавлення та показник плинності розплаву агломерату поліаміду-6 (ПА6). Для досліджень були використані три типи гумінових речовин, отриманих із бурого вугілля без окиснення та після 10 і 20 годин окиснення, що дозволило простежити взаємозв'язок між їх функціональним складом і технологічною поведінкою полімерної системи.

Експериментально встановлено, що введення гумінових речовин у кількості 0,25–0,75 мас. % призводить до помітної модифікації основних технологічних параметрів агломерату ПА6. У порівнянні з немодифікованим агломератом спостерігається зменшення густини композицій, що пояснюється нанодисперсною природою гумінових частинок та їх впливом на надмолекулярну організацію ПА6. При цьому ефект зниження густини є найбільш вираженим для гумінових речовин з вищим ступенем окиснення, що пов'язано зі зростанням кількості кисневмісних функціональних груп та збільшенням міжланцюгових взаємодій у полімерній матриці.

Однією з ключових технологічних характеристик агломерату ПА6 є показник плинності розплаву, який визначає його придатність до подальшої екструзії та формування виробів. Встановлено, що введення гумінових речовин суттєво підвищує значення ППР, причому цей ефект зростає в ряду  $HS1 < HS2 < HS3$  відповідно до ступеня їх окиснення. Підвищення плинності розплаву пояснюється пластифікуючою дією гумінових речовин і формуванням системи водневих зв'язків між карбоксильними, гідроксильними групами гумінових речовин та амідними групами ПА6, що знижує міжланцюгове тертя в розплаві.

Температура плавлення агломерату ПА6 також виявляється чутливою до ступеня окиснення гумінових речовин. Зі збільшенням ступеня окиснення гумінових речовин спостерігається підвищення температури плавлення композицій, що свідчить про зростання впорядкованості та стабільності надмолекулярної структури ПА6. Найбільше підвищення температури плавлення зафіксовано для систем з гуміновими речовинами, отриманими після 20 годин окиснення бурого вугілля, що узгоджується з даними спектроскопічних досліджень щодо зростання концентрації карбоксильних і ароматичних фрагментів.

Встановлено оптимальний вміст гумінових речовин на рівні 0,5 мас. %, за якого досягається найбільш сприятливе поєднання зниження густини, підвищення плинності розплаву та зростання температури плавлення агломерату ПА6. Таким чином, ступінь окиснення гумінових речовин є визначальним фактором керування технологічними властивостями агломерату ПА6, а окиснені гумінові речовини можуть розглядатися як ефективні функціональні модифікатори для вторинних поліамідних матеріалів.

## Hydrophobic coatings based on polymers of unsaturated hydrocarbons

*Fam V. A., Cherkashina G. M., Karev A. I.*

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine  
*annikcherkashina@gmail.com*

Metallic materials are widely used in mechanical engineering, aviation, energy, marine engineering, and construction. However, one of the main factors limiting the durability of metal structures is corrosion, which occurs when metals interact with water, oxygen, and aggressive ions. Corrosion processes lead to metal degradation, reduced mechanical strength, and significant economic losses.

Various methods have traditionally been used to protect metals, including paint coatings, galvanic coatings, anodizing, and corrosion inhibitors. However, these methods have several drawbacks, including limited durability and the need for regular maintenance.

In recent decades, hydrophobic and superhydrophobic coatings, which can significantly reduce water contact with metal surfaces, have been rapidly developing. These coatings create a barrier between the metal and the environment, preventing the penetration of moisture and aggressive ions.

The main types of hydrophobic coatings being developed for metals include polymer hydrophobic coatings, silane coatings, nanocomposite hydrophobic coatings, and metal superhydrophobic coatings. Hydrophobic coatings are polymer systems with low surface energy. Organosilanes are widely used for the hydrophobicization of metal surfaces.

Nanoparticles create a hierarchical micro-nano-structure on the surface, significantly increasing the contact angle.

Metal composite coatings obtained by electrodeposition are also used to improve the corrosion resistance of metals.

The primary protective mechanism of hydrophobic coatings is to reduce the metal surface's contact with water and aggressive ions. On an unprotected metal surface, water forms a thin film in which gases and salts dissolve, leading to the formation of an electrolyte and initiating electrochemical corrosion.

Hydrophobic coatings prevent this process through several mechanisms. The coating prevents the penetration of moisture and oxygen. The micro-nano structure traps air between the liquid and the metal. Water droplets roll off the surface easily.  $\text{Cl}^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  ions cannot easily penetrate the metal surface. Superhydrophobic coatings are particularly promising due to their ability to form an air gap between the metal surface and water, significantly reducing the rate of corrosion. In addition to corrosion protection, hydrophobic coatings can provide additional functional properties, such as surface self-cleaning, anti-icing properties, friction reduction, and improved heat transfer. Thanks to the combination of low surface energy and a hierarchical micro-nanostructure, these coatings can significantly reduce water contact with metal.

Current research is aimed at creating more durable, mechanically stable, and environmentally friendly hydrophobic coatings.

We are developing hydrophobic coatings for metal surfaces containing various peroxides, and the polymerization process occurs on the metal surface.

Analysis of the hydrophobic coatings developed has shown that the coatings have an elastic microstructure and are resistant to mechanical stress. The hydrophobic properties do not deteriorate under exposure to UV radiation and aggressive environments.

## **New composition of polymer concrete with improved properties**

*Derius D. V., Cherkashina G. M., Kariev A. I.*

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine  
*annikcherkashina@gmail.com*

The modern development of building materials is associated with the creation of composite systems with improved physical, mechanical and operational properties. One of the promising areas is the development of polymer concretes, in which organic polymers are used as a binder instead of traditional cement.

Polymer concretes are composite materials consisting of mineral aggregates and a polymer binder, which after hardening forms a spatially stitched structure. In most cases, thermosetting oligomers and thermoplastic polymers are used, capable of forming a three-dimensional mesh structure upon hardening.

Industrial production of polymer concrete products and structures in countries around the world has developed in the direction of producing decorative, finishing and facing materials and products required for the construction of residential and public buildings.

The use of polymer binders provides a number of advantages compared to traditional concretes: high strength, low porosity, increased chemical resistance, high adhesion to various materials and accelerated hardening. Due to these properties, polymer concretes are widely used in industrial construction, the chemical industry, hydraulic structures and in the repair of concrete structures.

We are developing a polymer concrete composition based on thermoplastics with inorganic waste from destroyed industrial and civil buildings.

The polymer matrix in polymer concrete based on a thermoplastic binder gives the construction product the appropriate shape and provides it with deformation and strength properties. compounds with an increased level of elastic modulus (polypropylene, emulsion and suspension polystyrenes, impact-resistant polystyrenes, etc.), which allows to obtain a complex of high, technological, strength and operational properties of thermoplastic polymer concretes.

The content of high-molecular binders in thermoplastic polymer concrete is up to 30 wt. %. The inorganic phase in this type of polymer concrete reaches 70 wt. %. The optimal maximum size of the filler with inorganic waste from demolished industrial and civil buildings for thermoplastic polymer concrete, as a rule, does not exceed 3 - 4 mm. As a polymer matrix, recycled thermoplastic polymers (polyethylene, polypropylene, ordinary and impact-resistant polystyrene, etc.) and a filler with inorganic waste from demolished industrial and civil buildings were used, which significantly improves the state of the environment.

Studies of the resulting polymer concrete compositions showed that the city's environmental problem is being solved, and the strength and performance properties of polymer concrete can be increased through the use of various additives and fillers.

Compared to traditional concretes based on mineral binders, polymer concretes have the following advantages: a relatively short production cycle, higher ultimate strength in bending and tension, increased crack resistance, resistance to the effects of most industrial aggressive media and the environment, resistance to abrasion, and good adhesion to many building materials.

## Polymer-composite material based on inorganic waste with latent porosity modifier

*Kopylov S. O., Cherkashyna G. M.*

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

*Serhii.Kopylov@iht.khpi.edu.ua*

Modern life cannot imagine life without building materials. They have both organic and inorganic nature. Military operations, natural anomalies and other types of disasters lead to the destruction of these materials. Costly or complex technology of utilization leads to the accumulation of construction waste that is difficult to recycle. Therefore, questions constantly arise and the demand for the use of organic and inorganic construction waste in the manufacture of composite materials is growing.

Modern scientific experience indicates the problems and imperfect study of the use of organic and inorganic waste in composite materials. The use of inorganic building powders as fillers in composite materials is accompanied by the formation of a developed pore structure, which significantly affects the physical, mechanical and operational characteristics of the material. Porosity in such systems is due to both intergranular voids and internal porosity of the filler particles themselves, especially in the case of the use of secondary or technogenic materials (fly ash, crushed concrete, slag, porous minerals). The presence of open capillary porosity leads to increased water absorption, a decrease in compressive and bending strength, as well as to a deterioration in the durability of the material under conditions of cyclic moistening and freezing.

It is proposed to introduce a latent porosity modifier into the composition of the PCM to achieve increased operational characteristics. A composition of the PCM based on inorganic waste has been developed. For comparison with the proposed samples, industrial samples were selected, namely chipboard and OSB boards. The comparative characteristics of the products are given in table. 1.

Table 1- Comparative table of indicators of physical and mechanical characteristics of the proposed PCM samples and industrial plates

Sample number	Impact strength, kJ/m <sup>2</sup>	Static yield, MPa	Compressive strength, MPa	Modulus of elasticity
1	3,9	13,6	20,79	16,0
2	2,8	8,7	10,1	11,1
3	3,2	12,7	18,24	14,9
4	3,5	12,9	18,86	15,2
5	1,9	7,8	9,57	10,8
Gypsum board	1-3	4-7	5-12	7-10
Fiber cement board, non-laminated	3-6	12-20	18-25	8-15

The data in Table 1 indicate that the developed composition of PCM based on inorganic waste with a latent porosity modifier has better properties than industrial samples.

Thus, controlling the porosity of composite materials with inorganic fillers by introducing cement requires a systematic approach that takes into account both the physicochemical mechanisms of hydration and the structural features of powder systems. This determines the relevance of further research aimed at quantitatively assessing the influence of cement on the pore structure and the related performance properties of materials.

## Дослідження полярної (кисотно-лужної) складової вільної поверхневої енергії наповнених полімерних композитів

Данченко Ю. М.<sup>1</sup>, Андронов В. А.<sup>1</sup>, Карєв А. І.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національна академія національної гвардії України, Харків, Україна

<sup>2</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

yuliyadanchenko7@gmail.com

Енергетичні характеристики поверхні є відображенням і наслідком внутрішніх хімічних і фізико-хімічних процесів, які формують будь-які матеріали, в тому числі наповнені полімерні композити. При формуванні енергетичних характеристик поверхні наповнених полімерних композитів велику роль відіграють не тільки процеси утворення полімерного дисперсійного середовища (зв'язуючого), а й процеси, які відбуваються на межі поділу фаз «полімер (дисперсійне середовище) – наповнювач (дисперсна фаза)».

Енергія твердої поверхні характеризується величиною вільної поверхневої енергії (ВПЕ), яка може бути критерієм оцінки багатьох властивостей наповнених полімерних композитів. Величина ВПЕ включає неполярну (дисперсійну) та полярну (кисотно-лужну) складові, які відображають природу взаємодій при формуванні твердого тіла. Отже, можливість прогнозування величин складових ВПЕ наповнених полімерних композитів є важливою теоретичною та практичною задачею. В задачу цього дослідження входить дослідження полярної (кисотно-лужної) складової ВПЕ наповнених дисперсними наповнювачами полімерних композитів. Для цього була створена прогнозна модель, яка дозволила розрахувати полярну складову ВПЕ, а для верифікації отриманих результатів проведені експериментальні дослідження.

Отже, як відомо, вільна поверхнева енергія (ВПЕ) твердої поверхні характеризується некомпенсованою поверхневою енергією на межі поділу фаз «тверде тіло – газ». Відповідно теорії Фоукса, ВПЕ ( $\gamma_s$ ) будь-якої твердої поверхні виражається сумою складових, кожна з яких відображає природу взаємодій у твердому тілі:

$$\gamma_s = \gamma_s^d + \gamma_s^p + \gamma_s^h + \gamma_s^i + \gamma_s^{ab} + \gamma_s^o, \quad (1)$$

де  $\gamma_s^d$ ,  $\gamma_s^p$ ,  $\gamma_s^h$ ,  $\gamma_s^i$ ,  $\gamma_s^{ab}$  – складові ВПЕ, які характеризують дисперсійні, полярні, водневі (зв'язки), індукційні і полярні (кисотно-лужні) взаємодії відповідно;  $\gamma_s^o$  – відноситься до усіх взаємодій, які не враховані попередніми складовими.

Полярна (кисотно-лужна) складова ВПЕ твердої поверхні ( $\gamma_s^{ab}$ ) складається з двох складових:

$$\gamma_s^{ab} = 2 (\gamma_s^a)^{1/2} \cdot (\gamma_s^b)^{1/2}, \quad (2)$$

де  $\gamma_s^a$  і  $\gamma_s^b$  неадитивні частини ВПЕ твердого тіла, які відповідають за електроноакцепторні (кислотні) та електродонорні (лужні) взаємодії. Відповідно,  $\gamma_s^a$  – кислотний або протодонорний (електроноакцепторний) параметр,  $\gamma_s^b$  – основний або протонакцепторний (електродонорний) параметр. Для моно полярної поверхні  $\gamma_s^a=0$  або  $\gamma_s^b=0$  і тоді  $\gamma_s^{ab}=0$ .

Кисотно-основна складова адгезійної взаємодії на межі поділу фаз ( $\gamma_s^{ab}$ ) розраховується з комбінаційного правила:

$$\gamma_s^{ab} = 2[(\gamma_c^a)^{1/2} - (\gamma_n^a)^{1/2}] \cdot [(\gamma_c^b)^{1/2} - (\gamma_n^b)^{1/2}], \quad (3)$$

де  $\gamma_c^a$ ,  $\gamma_n^a$  – кислотні та  $\gamma_c^b$ ,  $\gamma_n^b$  – лужні компоненти кисотно-основної складової ВПЕ зв'язуючого та наповнювача відповідно.

Полярна (кисотно-лужна) складова ВПЕ композиту залежить від кисотно-основних складових зв'язуючого і наповнювача  $\gamma_c^a$ ,  $\gamma_n^a$ ,  $\gamma_c^b$ ,  $\gamma_n^b$  та об'ємної частки наповнювача  $\omega$ .

Для врахування кисотно-лужних властивостей поверхні наповнювача пропонується розраховувати величину кисотно-лужного співвідношення Q:

$$Q = (\gamma_n^a)^{1/2} / (\gamma_n^b)^{1/2}. \quad (4)$$

У випадку  $Q > 1$  поверхня наповнювача має переважно кислотний характер, при  $Q < 1$  переважно лужний, а при  $Q \approx 1$  загальний характер поверхні можна характеризувати як нейтральний.

При врахуванні кислотно-лужних властивостей поверхні наповнювача ( $Q$ ), об'ємної частки наповнювача  $\omega$  та об'ємної частки зв'язуючого ( $1-\omega$ ) рівняння 4 перетворюється на наступне:

$$\gamma^{ab}_s = 2(\gamma^a_c)^{1/2} \cdot (\gamma^b_c)^{1/2} - 2\omega [2(\gamma^a_c)^{1/2} \cdot (\gamma^b_c)^{1/2} + (\gamma^a_c)^{1/2} \cdot (\gamma^b_n)^{1/2} + Q \cdot (\gamma^b_c)^{1/2} \cdot (\gamma^b_n)^{1/2}] + 2\omega^2 [(\gamma^a_c)^{1/2} \cdot (\gamma^b_n)^{1/2} + (\gamma^a_c)^{1/2} \cdot (\gamma^b_c)^{1/2} + Q \cdot (\gamma^b_c)^{1/2} \cdot (\gamma^b_n)^{1/2} + Q \cdot \gamma^b_n] \quad (5)$$

Отримане рівняння дозволяє оцінити вплив параметрів  $Q$  та  $\omega$  на кислотно-лужну складову композитів  $\gamma^{ab}_s$ . Виходячи з відомих значень енергетичних параметрів зв'язуючого (полімерів) та дисперсних наповнювачів різної хімічної природи (табл. 1) були прийняті наступні граничні умови для розрахунків:  $\gamma^a_c = 1-7$  МДж/м<sup>2</sup>;  $\gamma^b_c = 1-25$  МДж/м<sup>2</sup>;  $\gamma^b_n = 50-1000$  МДж/м<sup>2</sup>;  $\omega = 0-1$ ,  $Q = 0-5$ .

Таблиця 1 - Кислотні та лужні складові ВПЕ зв'язуючих та наповнювачів

Матеріал	$\gamma^a$ , МДж/м <sup>2</sup>	$\gamma^b$ , МДж/м <sup>2</sup>
Зв'язуюче (полімер)	0-7,5	0-27
Наповнювачі		
Мінерали	0,02-22	30-3800
Деревина	0-8	1,5-60
Вуглецеві матеріали (зола)	0,001	67,4
Нанотрубки	1,5-2	18-20

Для верифікації запропонованої моделі та дослідження впливу поверхневих характеристик мінеральних наповнювачів на величини компонентів ВПЕ композитів, були досліджені енергетичні характеристики поверхонь епоксидних полімерів з мінеральними наповнювачами різної хімічної природи. Для цього виміряні крайові кути змочування поверхонь композитів тестовими рідинами та розраховані компоненти ВПЕ. В якості наповнених композитів використовувались епоксидні полімери на основі епоксидіанового олігомеру з діетилетриаміном (ЕД-20+ДЕТА (ЕП)) та мінеральних наповнювачів різної хімічної природи – рутилу (РТ) та бентоніту (БТ). Кислотно-лужні властивості мінеральних наповнювачів представлені у табл. 2.

Таблиця 2 - Кислотні та лужні складові ВПЕ наповнювачів

Наповнювач	$\gamma^a_n$ , МДж/м <sup>2</sup>	$\gamma^b_n$ , МДж/м <sup>2</sup>	Q
РТ	21,9	24,6	0,94
БТ	23,1	16,4	1,19

Як видно з представлених даних табл. 2, кислотно-лужне співвідношення  $Q$  в обох випадках має невелике відхилення від 1, тобто наближене до нейтрального значення. Але, різниця полягає в тому, що для рутилу це значення  $Q < 1$ , тобто поверхня має слабколужний характер, а для бентоніту  $Q > 1$ , тобто поверхня характеризується слабкокислотним характером.

Досліджувались композити, що наповнені рутилом (ЕП+РТ) та бентонітом (ЕП+БТ). Наповнювачі додавались у полімер у кількості 10 об.%. Композиції тверділи на повітрі (293–298 К) не менше 72 годин та при температурі 373 К близько 4 годин. Наповнені композиції готувались у наступній послідовності. Смола ЕД-20 змішувалась з твердником діетилетриаміном (ДЕТА) до однорідної суміші, при цьому в'язкість смоли зменшувалась. Потім додавався наповнювач і перемішувався до однорідної суміші. У якості тестових рідин використовувались дистильована вода (ДВ), формамід (ФА) і  $\alpha$ -бромнафталін (БН). Результати вимірювань та розрахунків представлені в табл. 3.

Таблиця 3 - Крайовий кут змочування поверхонь епоксидних композитів тестовими рідинами

Поверхня	Крайовий кут змочування поверхонь тестовими рідинами, град		
	ДВ	ФА	БН
ЕП	78,4±1,6	63,1±2,3	41,1±2,6
ЕП+РТ	70,6±3,0	50,9±1,2	37,5±2,2
ЕП+БТ	71,5±1,4	51,1±3,4	33,3±3,0

Як видно з результатів табл. 3 загальною тенденцією є зменшення крайових кутів змочування полімерних композитів тестовими рідинами при наповненні мінеральними наповнювачами. Це свідчить про збільшення ВПЕ композитів при наповненні неорганічними наповнювачами. Збільшення крайових кутів змочування полярними рідинами – дистильованою водою та формамідом, зумовлено зростанням гідрофільності поверхонь композитів, тобто збільшенням кислотно-лужної (полярної) складової ВПЕ ( $\gamma_s^{ab}$ ). Збільшення крайових кутів змочування  $\alpha$ -бромнафталіном, очевидно, пов'язано з зростанням дисперсійної складової ВПЕ ( $\gamma_s^d$ ) поверхонь композитів.

На основі отриманих експериментальних даних, а також з використанням запропонованої моделі були розраховані компоненти ВПЕ полімерних композитів. Результати розрахунків наведені у табл. 4.

Таблиця 4 - Компоненти складових ВПЕ епоксидних композитів (мДж/м<sup>2</sup>)

Композит	$\gamma_s^d$ *	$\gamma_s^{ab}$ *	$\gamma_s^a$	$\gamma_s^b$	$\gamma_s^*$
ЕП	34.3	0.8	0.02	9.7	35.0
ЕП+РТ	<u>35.9</u> 27.9	<u>4.9</u> 1.6	0.4	10.5	<u>41.3</u> 29.5
ЕП+БТ	<u>37.6</u> 28.2	<u>4.1</u> 0.01	0.4	10.1	<u>41.7</u> 28.2

\* Вище лінії — експериментальне значення, під лінією — значення, розраховане за допомогою математичної моделі.

З отриманих результатів можна зробити наступні висновки. Результати експерименту показують, що додавання мінеральних наповнювачів збільшує величину ВПЕ композиту та всіх її складових. Очевидно, що суттєве збільшення кислотно-лужної (полярної) складової ВПЕ композитів  $\gamma_s^{ab}$  пов'язано з великими значеннями  $\gamma_n^a$  та  $\gamma_n^b$  досліджуваних наповнювачів. Розрахунки за допомогою моделі показують аналогічну тенденцію тільки при додаванні ругилу. При додаванні бентоніту за розрахунками відповідно моделі значення  $\gamma_s^{ab}$  навпаки, зменшується, прагне до нульового значення та переходу у від'ємну область. В цілому, як видно з результатів, модель надає можливість отримати значення величин компонентів ВПЕ нижче експериментальних на 25-30%. Отже, можна зробити висновок, що значення ВПЕ здебільшого (на 70-75%) визначаються процесами на межі поділу фаз «полімер-наповнювач», а решта – за рахунок хімічних, фізико-хімічних, міжмолекулярних та інших взаємодій між функціональними групами полімеру та твердника.

## Механізм олігомеризації та формування макроstruktur синильної кислоти

*Ломідзе В. Г., Авіна С. І., Худаков О. Г.*

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
Харків, Україна  
*svitlana.avina@kpi.edu.ua*

Дослідження полімеризації синильної кислоти становить одну з найбільш фундаментальних та водночас складних задач сучасної хімічної технології та теоретичної хімії. Будучи однією з найпростіших органічних молекул, синильна кислота демонструє виключну здатність до самоорганізації в складні макромолекулярні структури, які відіграють ключову роль як у моделях виникнення життя, так і у розробці новітніх багатофункціональних матеріалів.

Синильна кислота є унікальним мономеру завдяки своїй високій полярності та здатності до формування розгалужених водневих зв'язків. У рідкому стані діелектрична проникність HCN становить приблизно 144,8 при 278 К, що майже вдвічі перевищує аналогічний показник для води (85,8 при тій же температурі). Ця характеристика обумовлює специфіку кінетики полімеризації в рідкій фазі, де дипольні взаємодії та ефекти сольватації критично впливають на енергетичні бар'єри початкових стадій олігомеризації.

Реакційна здатність HCN визначається наявністю потрійного зв'язку  $C\equiv N$  та кислого протона, що дозволяє молекулі вступати в реакції нуклеофільного приєднання та циклізації.

Полімеризація зазвичай ініціюється в присутності основ (аміак, триетиламін) або під дією іонізуючого випромінювання, що призводить до утворення широкого спектру продуктів від легких димерів до нерозчинних високомолекулярних твердих тіл.

Процес перетворення мономерної синильної кислоти (HCN) в полімерні структури проходить через кілька чітко визначених стадій олігомеризації. Розуміння цих стадій є критичним для якісного контролю властивостей кінцевого продукту.

Початковою стадією є димеризація HCN з утворенням іміноацетонітрилу ( $HN=CH-CN$ ). У газовій фазі цей процес характеризується високими активаційними бар'єрами (близько 200 – 300 кДж/моль), що практично унеможливорює реакцію в розріджених середовищах без зовнішніх факторів. Однак у конденсованій фазі або на поверхні мінеральних каталізаторів бар'єри значно знижуються.

Після формування димеру починається утворення тримеру – аміномалонітрилу (AMN) та тетрамеру – діаміномалеонітрилу (DAMN) (див. табл. 1). Саме DAMN вважається ключовим проміжним продуктом, оскільки він є термодинамічно вигідним і часто виділяється як основний олігомер у лабораторних експериментах.

Таблиця 1 - Характеристика мономерів синильної кислоти

Стадія олігомеризації	Хімічна формула	Назва продукту	Значення в синтезі
Мономер	HCN	Синильна кислота	Вихідна сировина
Димер	$C_2H_2N_2$	Іміноацетонітрил (IAN)	Нестабільний інтермедіат
Тример	$C_3H_3N_3$	Аміномалонітрил (AMN)	Прекурсор пуринів
Тетрамер	$C_4H_4N_4$	Діаміномалеонітрил (DAMN),	Стабільний інтермедіат
Пентамер	$C_5H_5N_5$	Аденін,	Нуклеїнова основа

Завдяки своїй хімічній природі HCN-полімери демонструють властивості, що роблять їх перспективними для технологічного використання, зокрема полімери розглядаються як моделі для багатофункціональних матеріалів з напівпровідниковими та сегнетоелектричними властивостями.

## The structure of coal and the possibility of its depolymerization to produce biologically active substances

*Lavrova I. O.*, Grubnik M. I., Vladimihrenko V. V., Grubnik V. I.  
National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”  
*Inna.Lavrova@khpj.edu.ua*

The organic matter in coal consists of a range of valuable chemical compounds, many of which exhibit significant biological activity and are of interest to the pharmaceutical and chemical industries. Despite the changes occurring in the organic matter of coals during the coalification process, a significant portion of the structural units of coals retain the characteristics of the source materials, which have been detected to varying degrees as a result of studies conducted under mild processing conditions.

The nature of the chemical structure of humic coal substances (both bituminous and lignite) is a subject of debate within the scientific community. However, the domestic school of coal chemistry adheres to the hypothesis of the high-molecular nature of coal. In our view, three models of the structure of coal's organic matter are of the greatest interest.

1. The concept of the supramolecular structure of fossil coals—the concept of a self-associated multimer—has been further corroborated by studies of the structure of coal's organic matter using physicochemical methods.

2. This concept holds that coal is an aggregate supramolecular structure containing a mixture of substances with relatively low molecular weights. Its polymer-like properties are attributed to intermolecular interactions. It is believed that most of these bonds are resistant to solvents.

3. OA generalized concept of the average structural unit of organic coal matter, reflecting its main characteristics without specifying its chemical structure. It is analogous to an elementary fragment in polymers with a regular structure and is used to establish the relationship between the structure and physicochemical properties of coals. This model contains 5 structural fragments: AR – aromatic fused rings ranging from 1 to 5; CA – cycloalkane fragments; X – functional groups (–OH, –COOH, –NH–, –SH); R – alkyl substituents (C<sub>1</sub>-C<sub>n</sub>); M – “bridge groups” (–(CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>–, –O–, –O–CH<sub>2</sub>–, –NH–, –S–, –CA–).

The composition of structural fragments changes quite significantly throughout the metamorphic sequence.

Having examined these models of coal structure, we can conclude that the presence of a large number of intermolecular bonds largely determines the strength of coal as a solid. The addition of surfactants, which increase the yield of bitumen from coal, significantly helps to overcome this phenomenon. The use of polar solvents allows for the depolymerization of coal by 60–80% even in the absence of high temperatures and pressure. In this regard, the chemical action of organic substances aimed at destroying the coal structure should target the system of hydrogen bonds, functional oxygen-containing groups, and polyconjugated unsaturated bonds.

**СЕКЦІЯ II. АКТУАЛЬНІ ЕФЕКТИВНІ ЕКОЛОГІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
РЕЦИКЛІНГУ ПОЛІМЕРНИХ ТА КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

## Пластикова криза війни

*Карєв А. І.<sup>1</sup>, Мірошніченко М. Д.<sup>1</sup>, Данченко Ю. М.<sup>2</sup>, Мягкохліб І. П.<sup>1</sup>, Шахов Б. С.<sup>1</sup>,  
Шкаєва М. О.<sup>1</sup>, Пономарьов Д. О.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків,  
Україна

<sup>2</sup>Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна  
*armkarev@gmail.com*

Сучасна війна — це війна ресурсів, де швидкість та логістика вирішують усе. В умовах високої інтенсивності бойових дій кожен зайвий грам ваги спорядження або затримка у постачанні можуть вартувати життя. Величезні масштаби споживання вимагають матеріалів, які виготовляються тиражами в найкоротші терміни без втрати міцності. На заміну традиційним матеріалам (метали, деревина) вже давно прийшли синтетичні. Полімери стали незамінними через свою легкість, дешевизну та функціональність. Однак те, що є перевагою під час війни, стає вироком для довкілля у післявоєнний стан. Побутове забезпечення війська - це мільйони одиниць одноразового пластикового посуду, ПЕТ-пляшок для води та іншої тари, індивідуальних пакувань РХ (сухпайки). Логістичне пакування: Стретч-плівка, бандажні стрічки та захисні кейси для боєприпасів, які в польових умовах рідко утилізуються належним чином.

Окремим викликом є масове використання БПЛА. Більшість сучасних FPV-дронів та розвідувальних апаратів виготовлені з термопластів, склотекстоліту та вуглеволокна. При детонації або падінні ці матеріали не просто перетворюються на сміття, а розпадаються на тисячі частинок, які засмічують землі і не розкладаються сотні років. На відміну від металевих уламків, які з часом окислюються, пластикові корпуси дронів та їх зруйновані частини стають постійним елементом ландшафту, повільно отруюючи ґрунти.

Забруднення територій пластиком під час війни має кумулятивний ефект, оскільки синтетичні відходи накопичуються без можливості їхньої вчасної утилізації в зоні бойових дій. Поєднання розірваних вибухами полімерів із залишками паливно-мастильних матеріалів та важкими металами створює стійкі токсичні конгломерати, що роками отруюють родючі шари ґрунту. З часом увесь цей пластик подрібнюється на мікрочастинки, які легко потрапляють у водні системи, роблячи ресурси непридатними або шкідливими для вживання на десятиліття вперед. Відсутність системного збору відходів на фронті призводить до того, що стихійні звалища стають осередками хімічної деградації екосистем, блокуючи природне самовідновлення флори.

Запропонований нами шлях вирішення проблеми засмічення синтетичними відходами довкілля, заміна останніх біодеградабельними полімерними композитами. В контексті питання, біодеградабельні полімери стають стратегічною необхідністю. Заміна синтетичних пластиків на біодеградабельні аналоги — це вже не питання «еко-моди», а елемент безпеки та майбутнього відновлення.

Еко-пакування, одноразовий біопосуд, продовольчі матеріали, елементи дронів – все це на основі біодеградабельних композитів. Впровадження ПЛА (полілактиду) та інших біополімерів для тари під воду та сухпайки. Такі матеріали за певних умов перетворюються на компост, не залишаючи токсичного сліду. Перехід на такі альтернативи мінімізує накопичення синтетичного мікропластику в ґрунтах та стічних водах. У підсумку, екологічна безпека інтегрується безпосередньо у повсякденний та промисловий вжиток.

Пластикова криза війни — це недооцінена загроза, яка залишиться з нами на десятиліття після останнього пострілу. Сьогоднішні інвестиції в розробку біодеградабельних військових матеріалів — це інвестиція в придатність наших земель для життя майбутніх поколінь. Екологічна свідомість армії має стати невід’ємною частиною військової підготовки нашої держави.

## Моделювання суміші побутових відходів для оптимізації продуктів піролізу в умовах України

*Пономарьов Д. О., Карєв А. І., Лебедєв В. В., Мірошніченко Д. В.*

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків,  
Україна

*armkarev@gmail.com*

Сучасний стан глобальної екосистеми характеризується критичним рівнем накопичення твердих побутових та промислових відходів. Традиційні методи поводження зі сміттям, такі як захоронення на полігонах, вичерпали свій ресурс і створюють довгострокові ризики для підземних вод та повітря через виділення небезпечних речовин та парникових газів.

Наука дедалі частіше звертає увагу на термічні методи переробки як найбільш ефективний спосіб мінімізації об'ємів сміття. У світовій практиці спостерігається тенденція до відмови від прямого спалювання на користь технологій, що дозволяють зберігати енергетичний потенціал сировини. Актуальність теми зумовлена пошуком рішень, які б поєднували екологічну безпеку з економічною рентабельністю в умовах енергетичної кризи нашого часу.

Термічна переробка органічних відходів у безкисневому середовищі, вважається одним з актуальних та прагматичних методів утилізації. Цей метод дозволяє не просто знищувати сміття, а перетворювати органічні відходи на цінні енергоносії, такі як піролізна олива, газ та вуглець. Таким чином, розробка та впровадження ефективних установок термічного розкладу стає дедалі цікавішим завданням для промислового сектору.

Висока ефективність піролізу зумовлена насамперед переробкою полімерних відходів, оскільки саме їхній термічний розпад дає основний обсяг енергії у вигляді висококалорійних вуглеводнів, що за енергоємністю значно перевершують інші види відходів. Для енергетичних розрахунків та прогнозування продуктів, що можуть утворитися в процесі піролізу необхідно змоделювати суміш відходів які будуть перероблятися.

Для отримання моделі відходів, попередньо було проаналізовано та досліджено ринок споживання полімерів в Україні. Аналіз показав, що основну частину займають пакувальні матеріали і тара. Далі наведено дані за типами пластику та їх споживанням в Україні:

- ПЕ (HDPE/LDPE) 35–40% (плівки, пакети, труби, каністри)
- ПЕТ (PET) 20–25% (пляшки для напоїв, контейнери для їжі)
- ПП (PP) 15–20% (упаковка для продуктів, мішки для цукру/борошна)
- ПВХ (PVC) 10–12% (віконні профілі, кабельна ізоляція, лінолеум)
- ПС (PS/EPS) 5–7% (одноразовий посуд, пінопласт (утеплення))
- Інші (ABS, PA і т.д.) 3–5% (автомобільні деталі, побутова техніка)

На сміттєзвалищах окрім полімерного сміття значну частку займають папір, скло, деревина та текстиль. Кожен компонент по-різному впливає на процес переробки. Якщо деревина та папір додають біомасу для отримання вуглецевого залишку, то скло є інертним матеріалом, який не бере участі в енергоутворенні, а тканини, залежно від складу, можуть бути додатковим джерелом синтетичних волокон.

Проаналізувавши загальну частку відходів на полігонах, та на підставі цих даних, можна представити теоретичну модель відходів (Рис. 1) для тестового дослідження на піролізній установці:

- Поліолефіни (ПЕ/ПП) 45%
- Гофрокартон/Папір 15%
- ПЕТ (пластикові пляшки) 15%
- ПВХ (шматочки кабелю/профілю) 2,5%
- Скло (біле/зелене) 10%

Органічна імітація (тирса, лушпайки) 10%

Текстиль (бавовна/синтетика) 2,5%

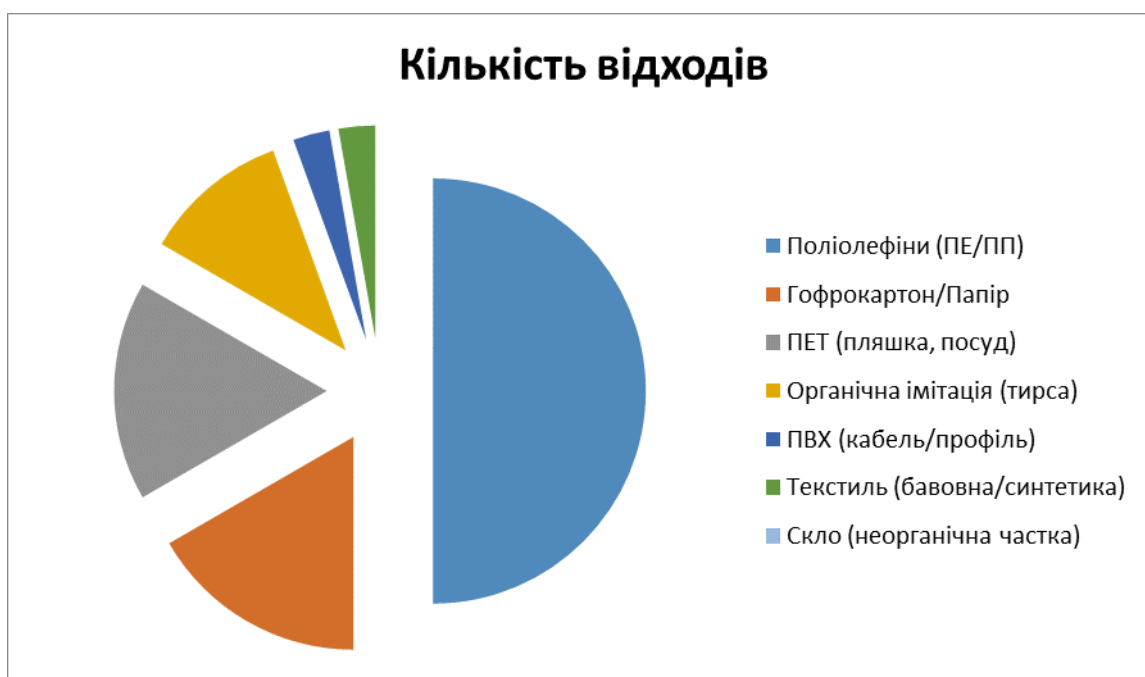


Рис. 1 – Графічне зображення теоритичної моделі відходів для піролізної утилізації

Представлена теоретична модель відходів, де практично 65% складають високоенергетичні полімерні відходи, дозволить максимально ефективно реалізувати потенціал піролізної установки для отримання якісних енергоносіїв.

#### Список використаних джерел

1. Д. Дамаянти, Д. Р. Сапутрі, Д. С. Марпаунг, Ф. Юсупанді, А. Санджая, Ю. М. Сімболон, В. Асмарані, М. Ульфа та Х. С. Ву «Сучасні перспективи переробки пластикових відходів», *Polymers*, т. 14, № 15, с. 3133, липень 2022 р.
2. Д. Мірошніченко, І. Малік, В. Лебедєв, Л. Соловей, К. Горбунов та Н. Дьякова, «Вплив температури та тиску піролізу відновлюваної енергії на властивості деревного вугілля», Серія конференцій ІОР «Науки про Землю та навколишнє середовище», т. 1376, № 1, с. 012030, липень 2024 р.
3. Данченко Ю. М., Карєв А. І., Лебедєв В. В., Завінський С. І., Трошин О. Г. Створення екологічно безпечних матеріалів на основі вторинних поліолефінів та органічних дисперсних наповнювачів. Інтегровані технології та енергозбереження. 2017. № 4. С. 94–97.
4. С. Пишев, Б. Корчак, Д. Мірошніченко, В. Лебедєв, А. Ясінська та Ю. Липко, «Отримання нових матеріалів з рідких продуктів піролізу використаних шин для утилізації відходів», *Сталий розвиток*, т. 17, № 9, с. 3919, квітень 2025 р.

## Дослідження причин низького рівня рециклінгу індивідуального полімерного пакування цукристих кондитерських виробів

*Адашевський О. В., Байрачний В. Б.*

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків,  
Україна

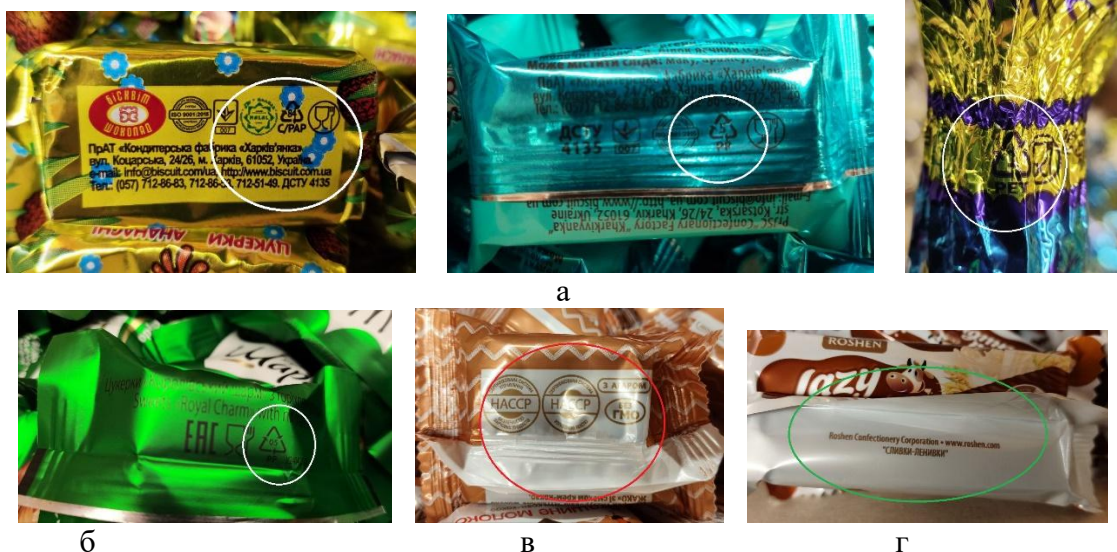
*Oleh.Adashevskiy@mit.khpi.edu.ua*

Частка цукристих кондитерських виробів, до яких у загальному випадку відноситься різноманітні карамелі, іриски, шоколадні цукерки, пастила, зефіри тощо, становить на вітчизняному ринку до 55 %. Індивідуальне пакування кожного виробу є вимогою санітарно-гігієнічних норм, але також виконує інші функції, серед яких бар'єрні, захисні, маркетингові є основними. Бар'єрні функції, а саме захист від окиснення компонентів цукристих кондитерських виробів – наприклад, жирів, які містяться у начинках шоколадних цукерок, захист від надмірного потрапляння вологи – наприклад, до поверхні льодяників та карамелей, шоколаду, а також захист від надмірного випаровування вологи, наприклад, з поверхні зефірних виробів, виконують полімерні матеріали. Відповідно, високі бар'єрні функції полімерного пакування забезпечують також подовження терміну зберігання та захист від втрати виробів внаслідок злипання та механічного пошкодження. Маркетингові функції, а саме інформування про назву та вид виробів, їх склад, виробника тощо з однаковим успіхом виконує як полімерні, так й паперові ламіновані матеріали.

Для забезпечення високого рівня рециклінгу індивідуального полімерного пакування цукристих кондитерських виробів необхідно, що виконувались 3 основні умови:

- 1 – запровадження системи роздільного збору твердого побутового сміття;
- 2 – високий рівень екологічної культури та екологічної свідомості населення;
- 3 – наявність чіткого та зрозумілого маркування на індивідуальному пакуванні

У даній роботі було проаналізовано наявність маркування на індивідуальному пакуванні цукристих кондитерських виробів, представлених у торгівельній мережі м. Харків найвідоміших виробників. В результаті було встановлено, що абсолютно на усіх типах цукристих кондитерських виробів ТМ «ХБФ» та на цукерках «Шарм» АВК наявне маркування на індивідуальному пакуванні, яке вказує на тип матеріалу (рис.1а,б). Інші представлені у мережі виробники не наносять маркування (рис.1в,г). Наявність чи відсутність маркування не залежить від ціни чи типу виробу, а залежить від виробника, а також його представництву на закордонному ринку, де так маркування є обов'язковим.



а - ТМ «ХБФ», б – ТМ АВК, в – ТМ «Жако», г – ТМ Roshen

Рис.1 – Маркування індивідуального пакування цукристих кондитерських виробів різних виробників

## Вторинні поліолефіни як перспективна сировина для виробництва шліфувально-полірувальних паст

*Борисенко М. О., Сінкевич І. В.*

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна  
*ivsaam@gmail.com*

Однією з актуальних проблем сучасної промисловості є утилізація полімерних відходів та створення матеріалів із високою доданою вартістю на їх основі. Поліетилен (PE) і поліпропілен (PP) належать до найбільш поширених полімерів у світі та становлять значну частину твердих побутових і промислових відходів. Їх повторне використання є ключовим елементом зменшення антропогенного навантаження на довкілля [1].

Для України розвиток технологій переробки вторинних полімерів, зокрема поліолефінів, має важливе економічне та екологічне значення, що проявляється в такому: зменшенні обсягів полімерних відходів; створенні нових матеріалів, які користуються значним попитом у промисловості; зниженні залежності від імпортової полірувальної продукції; розвитку внутрішнього ринку вторинної сировини. Крім того, використання вторинних поліолефінів відповідає принципам циркулярної економіки та сталого розвитку, які активно впроваджуються у промисловості Європи [1].

Переробка вторинних поліолефінів із застосуванням механічних та термічних методів дозволяє отримувати матеріали з прийнятними фізико-механічними властивостями, хоча при багаторазовій переробці можливе зниження в'язкості та часткова деградація макромолекул [2]. Проте навіть після кількох циклів такої переробки PE та PP зберігають значну частину механічних і реологічних характеристик, що відкриває можливість їх використання у складі композиційних матеріалів [3].

Одним із перспективних напрямів утилізації вторинних полімерів є їх застосування як зв'язуючої матриці у шліфувально-полірувальних пастах (ШПП), які досить широко використовуються під час проведення планових або аварійних відновлювальних робіт на нафтопереробних та коксохімічних виробництвах.

Фізико-хімічні характеристики вторинних полімерів істотно впливають на структуру та експлуатаційні властивості шліфувально-полірувальних композицій. Цей вплив проявляється через такі фактори: молекулярну масу полімеру (зменшення молекулярної маси при рециклінгу знижує в'язкість розплаву, що покращує диспергування абразивних частинок у полімерній матриці [2]); кристалічність поліолефінів (висока кристалічність PE і PP (для HDPE  $\approx 60\text{--}80\%$ , для PP  $\approx 50\text{--}70\%$ ) підвищує твердість та зносостійкість полірувальної пасти); реологічні властивості (зниження в'язкості переробленого поліпропілену після повторної переробки полегшує процес екструзії та змішування композицій [3]); полярність поверхні полімеру (введення функціональних груп (наприклад, малеїнового ангідриду) підвищує адгезію між полімерною матрицею та мінеральними абразивами).

Використання вторинних поліолефінів дозволяє формувати композиції з оптимальним поєднанням пластичності, абразивної активності та стабільності структури. Зважаючи на це та враховуючи особливості полімерної сировини, схема виробництва ШПП (див. рис. 1) включає такі основні стадії: підготовку вторинної полімерної сировини (сортування полімерних відходів PE і PP; подрібнення до фракції 3–10 мм; миття та сушіння; гранулювання); модифікацію полімерної матриці (для підвищення сумісності компонентів застосовують малеїнові ангідридні компатибілізатори, пластифікатори та поверхнево-активні речовини); введення абразивного наповнювача; гомогенізацію композиції (здійснюється у змішувачах або двошнекових екструдерах при температурі 150–200 °C); формування пасти (після змішування композицію охолоджують і формують у вигляді брусків або пастоподібної маси).

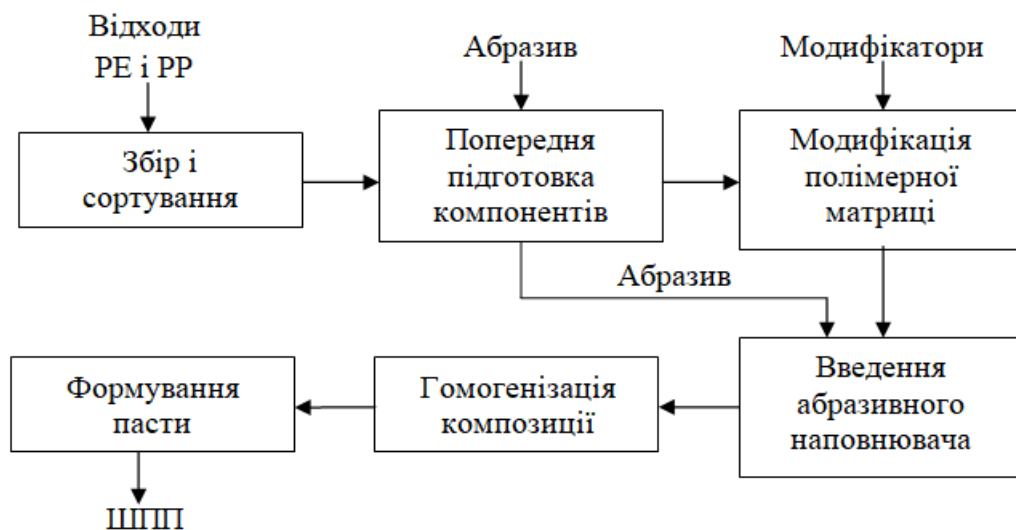


Рис. 1 – Схема виробництва ШПП з вторинної поліолефінової сировини

Вплив кожної стадії виробництва на ключові експлуатаційні властивості ШПП проявляється в такому: збір, сортування та попередня підготовка сировини забезпечують формування чистоти полімерної матриці (забруднення, домішки інших полімерів або волога можуть погіршувати адгезію абразиву, викликати дефекти структури та знижувати механічну міцність композиції), а також дисперсність абразиву (дисперсність абразиву безпосередньо визначає якість полірування та шорсткість обробленої поверхні); модифікація полімерної матриці підвищує адгезію між полімером і абразивом та загальну стабільність композиції, сприяє рівномірному розподілу частинок абразиву; на стадії введення абразивного наповнювача необхідно забезпечити певне співвідношення полімер : абразив, що визначає твердість ШПП, інтенсивність зняття матеріалу та швидкість зношування; гомогенізація композиції вважається найважливішою стадією процесу, оскільки саме вона визначає рівномірність розподілу абразиву, структуру полімер-абразивної системи та стабільність ШПП; на стадії формування важливо здійснювати контроль температури охолодження, від якої залежить кристалічність полімерної матриці, твердість та зносостійкість ШПП.

Запропонований підхід дозволяє отримувати ефективні полірувальні композиції на основі вторинної сировини з використанням як традиційних (оксид алюмінію ( $Al_2O_3$ ), карбід кремнію (SiC), оксид хрому ( $Cr_2O_3$ ), алмазний порошок), так і альтернативних (коксівий пил, скляна пудра, подрібнене будівельне сміття) абразивних матеріалів. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на оптимізацію складу полімер-абразивних систем, використання нанодисперсних абразивів та розроблення модифікованих полімерних матриць із покращеними експлуатаційними характеристиками для виробництва паст, призначених для полірування оптичних і прецизійних поверхонь.

#### Список використаних джерел

1. Spina R., Gurrado N. Green Recycling for Polypropylene Components by Material Extrusion. *Polymers*. 2024. 16. 3502.
2. Akhras M.H., Langwieser J., Czaker S., Alexander Felgel-Farnholz, Joerg Fischer. Cascadic degradation of selected polyolefin grades in a simulated closed-loop recycling process. *Clean Techn Environ Policy*. 2024. 26. 3507–3526.
3. Eliezer Velásquez, Carol López de Dicastillo, Adrián Rojas, Luan Garrido, C.J. Pérez, Marcia Lira, Abel Guarda, María José Galotto. Multiple mechanical recycling of a post-industrial flexible polypropylene and its nanocomposite with clay: Impact on properties for food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*. 2024. 43. 101272.

## Виробництво автомобільного бензину на базі продуктів каталітичного сопіролізу вторинних полімерів та нафтових залишків

*Шевченко К. В., Григоров А. Б.*

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна  
*grigorovandrey@ukr.net*

Зростання обсягів полімерних відходів та виснаження традиційних нафтових ресурсів стимулюють розвиток технологій хімічної переробки вторинної сировини. Постійна потреба України в автомобільному бензині, зумовлена відсутністю достатньої кількості якісної сировини та скороченням обсягів виробництва, сприяє розвитку технологій переробки полімерних відходів саме у компоненти автомобільних бензинів – базові фракції або присадки.

Одним із перспективних напрямів такої переробки слід вважати каталітичний сопіроліз полімерних відходів (PE, PP) з нафтовими залишками (мазутами, гудронами або вуглеводневою частиною нафтового шламу), що дозволяє отримувати рідкі вуглеводневі фракції, придатні для виробництва автомобільного бензину. Піроліз полімерів призводить до утворення суміші вуглеводнів (алканів, олефінів, дієнів та ароматичних сполук), які в подальшому на активних центрах каталізаторів перетворюються на бензинову фракцію C<sub>5</sub>–C<sub>12</sub> [1].

Поєднання полімерних відходів з важкими нафтовими залишками створює синергетичний ефект, оскільки поліолефіни (PE, PP) характеризуються високим співвідношенням Н/С, тоді як важкі нафтові залишки містять значну кількість ароматичних структур і дефіцит водню. Під час сопіролізу відбувається перенесення водню, що стабілізує радикали та зменшує утворення коксу.

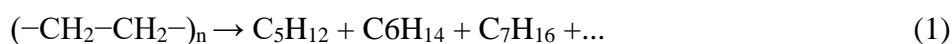
Каталітичний сопіроліз є різновидом термохімічної конверсії, у якому органічна сировина нагрівається без доступу кисню при температурі 450–600 °С у присутності кислотних каталізаторів. Найбільш поширеними каталізаторами для реалізації цього процесу є цеоліти [2] та комплексні каталізатори на їх основі: HZSM-5, H<sub>Y</sub>, Ni/HZSM-5, Co/HZSM-5, що мають розвинену мікропористу структуру та достатньо активні кислотні центри. Саме наявність у їх складі перехідних металів (Ni, Co, Fe) підвищує активність каталізаторів і сприяє глибшому крекінгу вуглеводнів.

Основні особливості процесу каталітичного сопіролізу вторинних полімерів та нафтових залишків полягають у наступному: водень, що виділяється під час термічного розкладу поліолефінів, стабілізує радикали нафтових залишків, що сприяє утворенню більшої кількості рідких продуктів, зокрема 50–55 % бензинової фракції; використання цеолітних каталізаторів сприяє утворенню ароматичних вуглеводнів та ізопарафінів, що входять до складу високооктанового бензину, і забезпечує підвищений вихід бензинових фракцій; оптимальний склад сировини дозволяє зменшити полімеризацію та конденсацію важких радикалів, що сприяє зниженню коксоутворення.

Однією з ключових переваг каталітичного сопіролізу вторинних полімерів з нафтовими залишками є можливість формування рідких продуктів із груповим хімічним складом (співвідношення основних класів вуглеводнів: парафінів, ізопарафінів, олефінів, нафтенів та ароматичних сполук), близьким до складу автомобільного бензину.

У процесі сопіролізу ці компоненти утворюються внаслідок складних радикально-каталітичних перетворень полімерних ланцюгів і важких нафтових фракцій.

*Формування парафінових вуглеводнів.* Поліолефіни, зокрема PE і PP, мають лінійну структуру насичених вуглеводнів. Під час термічної деструкції відбувається розрив C–C зв'язків, що призводить до утворення алканів різної молекулярної маси:



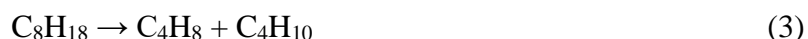
При цьому формуються нормальні парафіни (n-алкани) з числом атомів карбону C<sub>5</sub>–C<sub>10</sub>, які входять до складу бензинової фракції. Наявність нафтових залишків у суміші сприяє стабілізації радикалів та підвищує вихід рідких продуктів.

*Формування ізопарафінових вуглеводнів.* На кислотних центрах цеолітних катализаторів відбувається ізомеризація парафінів нормальної будови. У результаті утворюються розгалужені ізомери, які є важливими компонентами високооктанового бензину:



Ізопарафіни мають значно вище октанове число (у середньому RON 92–100), ніж парафіни нормальної будови, тому їх формування є важливим фактором покращення паливних характеристик продукту.

*Формування олефінових вуглеводнів.* Під час сопіролізу полімерів утворюється значна кількість ненасичених вуглеводнів (олефінів):



Причому олефіни характеризуються підвищеним октановим числом (у середньому RON 95–105) і можуть як залишатися у складі бензинової фракції, так і вступати у подальші реакції олігомеризації або циклізації.

*Формування нафтенів вуглеводнів.* Циклізація аліфатичних вуглеводнів у присутності кислотних катализаторів призводить до утворення нафтенів:



Нафтени підвищують стабільність палива та входять до складу бензинів, отриманих у процесах каталітичного крекінгу.

*Формування ароматичних вуглеводнів.* На катализаторах типу HZSM-5 відбувається ароматизація олефінів і парафінів, що призводить до утворення ароматичних вуглеводнів:



або



У результаті формуються ароматичні компоненти бензину: бензол, толуол, ксилоли. Ці сполуки підвищують октанове число (у середньому RON 106–120) та є типовими компонентами бензинів, отриманих у процесах каталітичного крекінгу.

Таким чином, каталітичний сопіроліз полімерних відходів з нафтовими залишками має значний потенціал для нафтопереробної промисловості, оскільки ця технологія може бути інтегрована з процесами каталітичного крекінгу та гідрокрекінгу. Переробка полімерних відходів дозволяє частково замінити нафтову сировину та зменшити накопичення пластикових відходів.

#### Список використаних джерел

1. Vollmer I., Jenks M.J.F., Mayorga González R., Meirer F., Weckhuysen B.M. Plastic Waste Conversion over a Refinery Waste Catalyst. *Angew Chem Int Ed Engl.* 2021. 60(29). pp. 16101-16108.

2. Leilei Dai, Nan Zhou, Yuancai Lv, Kirk Cobb, Paul Chen a, Yunpu Wang, Yuhuan Liu, Rongge Zou, Hanwu Lei, Badr A. Mohamed, Roger Ruan, Yanling Cheng. Catalytic reforming of polyethylene pyrolysis vapors to naphtha range hydrocarbons with low aromatic content over a high silica ZSM-5 zeolite. *Science of The Total Environment.* 2022. 847. 157658.

## Аналіз та класифікація полімерних флокулянтів для очищення стічних вод

*Цзі Х., Деркачов Н. В., Босюк А. С., Шестопапов О. В.*

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

*Alona.Bosiuk@mit.khpi.edu.ua*

Полімерні флокулянти – це високомолекулярні сполуки, які використовуються для агрегації дрібних частинок у водних системах, полегшуючи їх видалення під час очищення води та стічних вод. Вони класифікуються за кількома критеріями на основі їхніх хімічних властивостей, походження та структури. Їх розрізняють за:

1. За типом заряду (іоногенністю):

– Катіонні флокулянти, які мають позитивний заряд. Вони ефективні для нейтралізації негативно заряджених частинок, таких як органічні речовини чи глинисті мінерали.

– Аніонні флокулянти, які мають негативний заряд. Застосовуються для позитивно заряджених частинок, часто в комбінації з коагулянтами.

– Неіонні флокулянти, що не мають заряду та діють через механізм мосткового з'єднання, незалежно від заряду частинок.

– Амфотерні флокулянти – мають як позитивні, так і негативні заряди, що дозволяє адаптуватися до різних рН та типів забруднень.

2. За походженням:

– Синтетичні флокулянти – виготовлені хімічним шляхом (наприклад, похідні акриламід). Вони домінують завдяки своїй високій ефективності.

– Натуральні (біополімерні) флокулянти – отримані з природних джерел, таких як полісахариди (хітозан, крохмаль, целюлоза, агар, танін). Вони екологічніші, біорозкладні, але часто менш ефективні без модифікацій.

– Графтовані або гібридні флокулянти – комбінація натуральних і синтетичних (наприклад, крохмаль, графтований поліакриламідом). Покращують ефективність натуральних полімерів за рахунок додавання синтетичних ланцюгів.

3. За молекулярною масою:

– Низькомолекулярні ( $<10^5$  г/моль) – використовуються для нейтралізації заряду, утворюють компактні флоки.

– Середньомолекулярні ( $10^5$ – $10^6$  г/моль) – балансують між нейтралізацією та мостковим з'єднанням.

– Високомолекулярні ( $>10^6$  г/моль) – використовують переважно для мосткового з'єднання, утворюючи більш великі та міцні флокули.

### Література:

1. Abbasi Moud A. Polymer based flocculants: Review of water purification applications. *Journal of Water Process Engineering*. 2022. Vol. 48. 102938. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102938>

2. Vajihinejad V., Gumfekar S. P., Bazoubandi B., Rostami Najafabadi Z., Soares J. B. P. Water Soluble Polymer Flocculants: Synthesis, Characterization, and Performance Assessment. *Macromolecular Materials and Engineering*. 2018. 304(2). Portico. <https://doi.org/10.1002/mame.201800526>

3. Kolya H., Kang C.-W. Bio-Based Polymeric Flocculants and Adsorbents for Wastewater Treatment. *Sustainability*. 2023. Vol. 15(12). 9844. <https://doi.org/10.3390/su15129844>

## Дослідження перспектив рециклінгу полімерної тари з-під кави для кавоварок

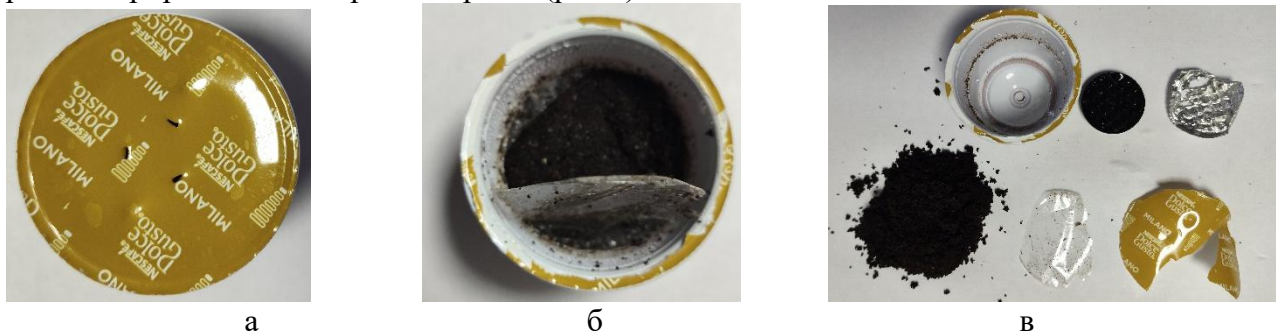
*Кочетов М. С.<sup>1</sup>, Тихомирова Т. С.<sup>1</sup>, Пітак Р. О.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

*tetiana.tykhomyrova@khpі.edu.ua*

Ринок споживання кави та напоїв з кави постійно зростає, в тому числі за рахунок зниження ціни на побутові кавоварки. Серед усіх моделей, представлених на сучасному ринку, останні 5 років в Україні набирають популярності т.з. капсульні кавоварки. Падіння цін на дані вироби та зручність використання, а також високі смакові якості отриманого напою сприяють зростанню їх популярності. Для споживача головним фактором є зручність використання капсули, яку необхідно тільки помістити у кавоварку, а після отримання кавового напою просто утилізувати. Відсутність необхідності миття елементів кавоварки від кавової гущі є перевагою капсульних кавоварок для споживачів. Ринок капсульної кави в Україні оцінюється в кілька десятків мільйонів капсул на рік, які у підсумку потрапляють на полігони для твердого побутового сміття.

На ринку представлено два основних типи капсул – Nespresso та Dolce Gusto, відповідно й кавоварки можуть бути ексклюзивними під один тип капсула, а можуть мати насадки для різних типів. Головна різниця між капсулами – це ціна та матеріали, з яких вони виготовлені. Капсули типу Nespresso зазвичай вдвічі дорожче, але складаються з мономатеріалу – алюмінієвої фольги. З точки зору їх подальшого рециклінгу це є перевагою, такі використані капсули без кавової гущі збираються у пунктах продажу капсул, наприклад в США. Капсули типу Dolce Gusto мають у своєму складі кілька матеріалів, серед яких є різні за природою полімерні матеріали (рис.1).



а – зовнішній вигляд капсули Dolce Gusto; б – початок процесу розборки капсули;  
в – компоненти капсули Dolce Gusto

Рис.1 –Внутрішні компоненти капсули Dolce Gusto

Чотири з п'яти елементів капсули Dolce Gusto виготовлені з полімерних матеріалів, й тільки один - з алюмінію (срібляста перфорована вставка на рис.1в). Маркування на компонентах самих капсул відсутнє, що продиктовано невеликими розмірам самих капсул та поетапним їх виготовленням. На картонному пакуванні для капсул вказано лише один тип полімерного матеріалу – поліпропілен. Проте принаймні один з ізоляційних шарів виконаний не з поліпропілену, а, ймовірно, з EVOH (етиленвініловий спирт) для абсолютного захисту кави від контакту з киснем повітря. Такий підхід дозволяє максимально зберегти смакові та ароматичні властивості змеленої кави у капсулі тривалий період.

Найбільш перспективним для рециклінгу компонентом кавових капсул є темно-коричнева шайба, яка легко виймається з капсули та має рельєфну поверхню. До неї майже не налипає кавова гуща, вона має розмір до 35 мм в діаметрі та до 1 мм у висоту, візуально легко відокремлюється від інших компонентів та компактна у зберіганні. Проте рециклінг будь-якого компоненту кавової капсули може бути впроваджено виключно за умови налагодження системи роздільного збору побутового сміття.

## Регенерація метилацетату з промислових відходів та оцінка його придатності для емалевих систем

*Марченко В. В., Набока С. А.*

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна  
*0997727@gmail.com*

Проаналізовано технічну доцільність повторного використання регенованого метилацетату для промислової емалі та вплив рівнів забруднення (MXL0–MXL4) на ефективність регенерації і властивості плівок. Регенерацію на установці ECO PLUS 122 проведено за контрольованих умов, що забезпечило високий ступінь очищення та збереження фізико-хімічних і функціональних характеристик розчинника й емалевих плівок, підтверджуючи технологічну та екологічну доцільність повторного використання.

Метилацетат є ефіром, широко застосовуваним у виробництві промислових емалей завдяки високій леткості, сумісності з традиційними сполучними і меншому впливу на навколишнє середовище у порівнянні з ароматичними вуглеводнями. У коксохімічному виробництві розчинники, такі як ефіри, кетони та спирти, використовуються для очищення, екстракції та приготування захисних покриттів. Проте промислове застосування метилацетату супроводжується ерозією розчинника через гідроліз під впливом вологи та каталітичних домішок.

Висока гігроскопічність метилацетату сприяє поглинанню води, що посилює гідроліз та дестабілізацію пігментів, а також розчинення полімерних фрагментів. Накопичення деградованих розчинників збільшує експлуатаційні витрати та навантаження на навколишнє середовище через леткі органічні сполуки та кисневмісні речовини.

Для зменшення промислових відходів актуальними є технології регенерації розчинників, здатні відновити їх фізико-хімічні властивості до рівня, придатного для повторного використання. Література присвячена переважно кінетиці гідролізу естерів та дистиляції, а даних саме по регенерації метилацетату недостатньо.

Метою цього дослідження є визначення ефективності регенерації метилацетату з промислових відходів при різних рівнях забруднення та оцінка придатності регенованого розчинника для повторного використання в емалевих системах.

Складні ефіри, такі як метилацетат, швидко випаровуються та сумісні з алкідними та акриловими сполучними. Гідроліз естерів у присутності вологи та каталізаторів призводить до зменшення вмісту ефіру, підвищення кислотності та утворення летких побічних продуктів. Багаторазовий контакт розчинника зі смолами та пігментами спричиняє накопичення як органічних, так і неорганічних забруднювачів, що погіршує фізико-хімічні характеристики.

Регенерація розчинників через термічну дистиляцію показала високу ефективність у відновленні леткості та розчинності, особливо при контролі температурного профілю та залишків. Для низькокиплячих ефірів, таких як метилацетат, важливим є суворий контроль температури та ефективність конденсатора, щоб уникнути втрат розчинника.

Попри наявність багатьох досліджень з регенерації розчинників, мало даних про застосування метилацетату та його вплив на характеристики емалевих плівок.

Робочий процес включає:

1. Збір промислових відходів метилацетату.
2. Класифікацію сировини за рівнем забруднення.
3. Регенерацію на установці ECO PLUS 122.
4. Фізико-хімічну характеристику регенованого розчинника.
5. Підготовку емалевих плівок і лабораторні випробування .

Забруднений метилацетат витримували 12 годин для осадження смол, після чого проводили фільтрацію через 25-мікронну сітку. Сушильні агенти не застосовувалися.

Таблиця 1 - Кількісні показники для класифікації забрудненого метилацетату (MXL0-MXL4).

Показник	MXL0 (Низький)	MXL1 (Помірний)	MXL2 (Помірно- високий)	MXL3 (Високий)	MXL4 (Дуже високий)
Колір (Pt-Co)	10-12	12-16	16-20	20-24	24-30
Кислотне число (мг КОН/г)	0,04-0,05	0,05-0,07	0,07-0,09	0,09-0,11	0,11-0,13
Вміст етерів (%)	99,0-99,3	98,7-99,1	98,3-98,9	97,8-98,5	97,2-98,0
Волога (ppm)	180-250	250-350	350-500	500-800	800-1200
Нелеткий залишок (%)	0,04-0,06	0,06-0,08	0,08-0,12	0,12-0,18	0,18-0,26
Густина (г/см <sup>3</sup> )	0,932-0,933	0,933-0,934	0,934-0,935	0,935-0,936	0,936-0,937

Ці показники відображають систематичне погіршення якості метилацетату зі збільшенням рівня забруднення.

Регенерацію проводили на термодистиляційній установці ECO PLUS 122, яка включає випарну посудину з термоізоляцією, лінію пари, конденсатор і герметичний збірний барабан. Робочі параметри:

Температура масла: 70–95 °С

Температура парів: 55–60 °С

Температура конденсації: 10–18 °С

Об'єм випарної ємності: 150 л

Тривалість циклу: 160 хв.

Режим циркуляції термомасла: замкнутий

Ці параметри забезпечують стабільне випаровування метилацетату та утримання нелетких залишків.

Фізико-хімічні характеристики регенованого метилацетату (RMXL0–RMXL4) залишаються близькими до стандартного розчинника:

Вміст ефіру 98,4–99,3%

Вологість і кислотність у межах допустимих значень

Густина та колір відновлюються до рівня стандартного метилацетату

Емалеві плівки, виготовлені на регенованому розчиннику, демонструють стабільні показники блиску, твердості та часу висихання, що підтверджує придатність розчинника для повторного використання у виробництві.

Високий вихід регенерації та ефективно відновлення фізико-хімічних властивостей дозволяють впроваджувати замкнені цикли використання метилацетату, що знижує витрати і обсяг промислових відходів.

## Використання агро- та харчових відходів для виробництва біопластиків в Україні

*Гадаєва Ю. С.*

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків  
*Yuliia.Hadaieva@mit.khpi.edu.ua*

Україна належить до країн із розвиненим сільським господарством, де щорічно утворюються надзвичайно великі обсяги побічних продуктів рослинництва. Одним із перспективних напрямів є застосування агровідходів як наповнювачів у виробництві біопластиків, що дозволяє знизити вартість кінцевої продукції, покращити її механічні властивості та водночас вирішити проблему рециклінгу відходів [1, 2].

Найбільш доступними видами відходів агропромислового комплексу в Україні є лушпиння соняшника, стебла та качани кукурудзи, солома зернових культур, а також лушпиння горіхів. Ці матеріали мають високий вміст целюлози та лігніну, що робить їх ефективними армуючими наповнювачами для біополімерних матриць, які не лише підвищують міцність і довговічність матеріалів, а й сприяють їхньому біологічному розкладанню після завершення життєвого циклу [1]. Крім того, застосування агровідходів дає змогу зменшити потребу в первинних матеріалах, які широко використовуються у виробництві біополімерів, зокрема кукурудзяному крохмалі, та знизити навантаження на сільськогосподарські угіддя [2].

Особливо перспективним може стати використання відходів соняшника, в першу чергу, лушпиння, волокна якого містить велику кількість лігніну, а також таких залишків соняшника, як кошики чи стебла – жерел целюлози. В Україні посівні площі під соняшником традиційно великі і складають не менше 5 млн га, що свідчить про необмежені ресурси для задоволення потреб переробників. Водночас для поліпшення характеристик композитів з використанням агровідходів доцільно додавати у їх склад харчові відходи окремих овочів та фруктів. Так, картопля, морква, буряк мають високий вміст крохмалю, а шкірка цитрусових, банану – пектин та целюлозу.

Наразі в Україні харчові відходи разом з побутовими переважно направляються на полігони, і тільки незначна їх частка переробляється. Перспективи рециклінгу харчових відходів закладів харчування, в основному, пов'язуються з компостуванням та виробництвом біогазу чи електроенергії. Поряд з цим багатонадійним може стати і використання вторинного ресурсного потенціалу даних відходів у виробництві біодеградабельних полімерів. Звичайно, для реалізації сумісного використання агро- та органічних відходів закладів харчування необхідне встановлення співпраці між представниками обох напрямків бізнесу та створення відповідних логістичних і виробничих потужностей. Також для поширення рециклінгу даних відходів потрібно продовжувати наукові дослідження щодо створення нових композитів із застосуванням натуральних наповнювачів (армуючих агентів) з агро- та харчових вторинних ресурсів. Такий підхід відкриває нові можливості, які дозволяють ефективно переробляти побічні продукти аграрного сектору та відходи харчової сфери, сприяють зменшенню забруднення навколишнього середовища та створенню екологічно безпечних матеріалів.

### Література

1. Козар М. Ю., Корнелюк О. А. Reinforcing Starch Bioplastics with Agricultural Waste. *Biotechnologia Acta*. 2025. Т. 18, № 4. С. 60–67. DOI: <https://doi.org/10.15407/biotech18.04.060>
2. Susetyo B., Abdul Khalil H. P. S., Bairwan R. D., Wibowo R., Sam'un M., Mohammad Rawi N. F. Harnessing agro-food organic residues for biodegradable materials: Toward circular and sustainable solutions. *Bioresource Technology Reports*. 2025. Т. 30, № 102396. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2589014X25003792>

## Structure–property relationships in beeswax-based coatings: effect of formulation type on mechanical performance

Yudina Yu.<sup>1</sup>, Hrubnyk I.<sup>1</sup>, Baillie L.,<sup>2</sup> Hrubnuk M.<sup>1</sup>, Lebedev V.<sup>1</sup>  
 National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Ukraine, Kharkiv  
 Cardiff University, United Kingdom, Cardiff  
*eco3557@gmail.com*

The study is devoted to the development and analysis of multicomponent beeswax-based coating systems with different structural and mechanical performance.

Four types of coatings were designed: permeable (F-P), balanced (F-B), barrier (F-S) and natural (F-N), differing in composition and internal matrix structure. The systems were formulated using beeswax as the main structural component, combined with carnauba wax, oils, emulsifiers and structuring agents to control the packing density and continuity of the matrix (table 1.).

Table 1 - Composition of wax-based coating formulations

Component (g per 100 g formulation)	F-P Permeable coat	F-S Strong barrier coat	F-B Balanced coat	F-N Natural coat
Beeswax	50.0	47.0	62.0	80.0
Carnauba wax	4.0	18.0	8.0	9.0
Sunflower oil	8.0	4.0	6.0	10.0
Cetyl alcohol	2.0	3.0	4.0	–
Lecithin (sunflower)	1.0	–	1.0	–
Glycerin	1.5	–	1.0	–
Gum arabic	1.0	–	–	–
Xanthan gum	–	–	0.5	–
Ethylcellulose	–	3.0	–	–
Glyceryl monostearate (GMS)	–	2.0	1.0	–
Stearic acid	1.0	–	0.5	–
Polysorbate 20	0.5	–	–	–
Polysorbate 60	–	1.5	–	–
Vitamin E (tocopherol)	0.5	0.5	0.5	0.5

It was established that the structural parameters of the matrix is the key factor determining mechanical properties. Mechanical testing showed that tensile strength varies in the following order: **F-S > F-B > F-N > F-P**, which correlates with the increase in structural density and content of rigid components such as carnauba wax and ethylcellulose.

Barrier-type coatings (F-S) demonstrated the highest strength due to the formation of a dense and highly packed structure, while permeable systems (F-P) exhibited lower strength as a result of increased matrix mobility and reduced crystallinity caused by plasticizers and emulsifiers. In contrast, elongation at break showed an opposite trend: **F-P > F-N > F-B > F-S**, indicating that less dense and more flexible structures provide higher deformability, whereas rigid systems exhibit limited elasticity.

Intermediate behaviour was observed for balanced coatings (F-B), which combine sufficient mechanical strength with moderate flexibility, reflecting their optimized structural composition.

The obtained results demonstrate that mechanical performance of wax-based coatings is governed by the relationship between structural density, phase composition and matrix organization. Variation of formulation parameters enables targeted tuning of strength and flexibility, providing a basis for rational design of functional coating systems.

**СЕКЦІЯ ІІ. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В РОЗРОБЦІ І  
ОТРИМАННІ ПОЛІМЕРНИХ ТА КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

## **Mechanical performance of FDM-printed mold for creating eco-safety honeycomb wax materials**

Sanin Y., *Voronkin A.*, Shchapov P., Sokol Y., Lebedev V.  
National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Ukraine, Kharkiv  
*vladimirlebedev1980@ukr.net*

Modern eco-safety materials industry is developing at a rapid pace, integrating new technologies and materials. One of the promising directions in the construction industry is the use of additive technologies (3D printing), based on the layer-by-layer deposition of material to create an object. Models obtained in this way can be used both for the production of experimental prototypes and for ready-to-use products.

A distinctive feature of this technology is its ability to address challenges related to high energy consumption, low production efficiency, resource intensity, and safety on the construction site. The main potential of additive technologies lies in achieving enhanced performance characteristics of finished products, significant raw material savings, the possibility of manufacturing structures with complex geometries without complicating the production process, production mobility, and accelerated construction timelines. Additive technologies encompass several printing methods, which differ in terms of the raw material used and the principle of its deposition.

The main printing methods include: Fused Deposition Modeling (FDM), Stereolithography (SLA), Digital Light Processing (DLP), Selective Laser Sintering (SLS), Three-Dimensional Printing (3DP), Laminated Object Manufacturing (LOM), and PolyJet technology. Each printing method has its own application specifics, advantages, and limitations that must be taken into account during the manufacturing process. FDM 3D-printing remains an affordable technology for manufacturing small-scale tooling and molds for low-temperature polymers, silicones, and waxes. Along with the advantages of speed, cost, and geometric freedom, it is characterized by limitations in the form of strength anisotropy, low heat resistance, roughness, and wear of the working surface. Therefore, the correct selection of 3D printing modes mold for creating eco-safety honeycomb wax materials is critical for the performance of molds that come into contact with beeswax melt with a melting point of 62–65°C and operate near its softening region.

The aim of the article is to investigate the influence of process modes on the mechanical performance of FDM-printed mold for creating eco-safety honeycomb wax materials. The article investigates the influence of process modes on the mechanical characteristics of an FDM mold for creating eco-safety honeycomb wax materials. 3D printing was carried out using a 3D printer Anycubic Kobra 2 Pro using a filament based on polylactide filament.

The maximum impact strength and breaking stress during bending values were achieved in mold samples with two-layer walls and hexagonal infill with a 30-40% infill degree—12 kJ/m<sup>2</sup> for impact and 50.0 MPa for bending. Among the tested samples, the optimal results were found with a perimeter of two layers and a 20% infill degree using the hexagonal model. The obtained results allowed to optimize the configuration of the mold for creating eco-safety honeycomb wax materials.

## Physicochemical properties and modeling-based assessment of crude oil as a feedstock for polymer and petrochemical production

*Chemerinskiy M.*<sup>2</sup>, Miroshnichenko D.<sup>1</sup>, Bilushchak H.<sup>3</sup>, Pyshyev S.<sup>3</sup>,  
Rohovyi Y.<sup>1</sup>, Bogoyavlenska O.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *National Technical University Kharkiv Polytechnic Institute, Kharkiv, Ukraine*

<sup>2</sup> *Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine*

<sup>3</sup> *Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine*  
*chemerinskyi.m.s@nmu.one*

Despite the global energy transition and increasing attention to renewable energy sources, crude oil remains a strategically important raw material for Ukraine, especially for transport, aviation, and industrial applications where alternatives are still limited. Domestic oil production plays a key role in reducing import dependence and strengthening energy security. In this context, the development and evaluation of small and previously underexplored oil and gas condensate fields are of particular importance.

Ukrainian crude oils demonstrate significant variability in physicochemical properties depending on their geological origin. Many domestic crudes are characterized by relatively low sulfur content and favorable density, making them technologically attractive compared to heavier and higher-sulfur reference grades such as Urals. Therefore, detailed studies of crude oil quality are essential for selecting optimal refining strategies and improving the economic efficiency of field development.

The Druzhelyubivske oil and gas condensate field, located in the eastern oil and gas region of Ukraine, represents a promising but insufficiently studied object. Available literature data on its development are limited and outdated. Consequently, systematic investigation of the oil properties from this field is necessary to assess its refining potential and define rational processing routes.

The aim of this study was to investigate the physicochemical properties of crude oil from the Druzhelyubivske oil and gas condensate field and to evaluate its suitability for refining and its potential as a feedstock for petrochemical and polymer production.

Oil samples were collected from seven production wells of the Druzhelyubivske field. Standardized methods were applied to determine density, kinematic viscosity, water and mechanical impurities, salt content, sulfur concentration, pour point, paraffin melting point, and fractional composition. Asphaltenes, resins, and paraffins were quantified using precipitation and extraction techniques. Fractional distillation was carried out under atmospheric pressure up to 400 °C.

To assess the possibility of predicting the content of paraffins, resins, and asphaltenes, linear regression models were developed using density, viscosity index, initial boiling point, and the yield of fractions boiling above 300 °C as independent variables. The adequacy of the models was evaluated using coefficients of determination, Fisher's criterion, and average relative approximation errors.

The investigated crude oil is characterized by low density (approximately 733 kg/m<sup>3</sup> at 15 °C) and low kinematic viscosity, confirming its classification as light crude oil. The viscosity decreases significantly with increasing temperature, which facilitates transportation and primary processing. No water was detected in the samples, while the contents of mechanical impurities and salts were low, indicating good raw material quality.

The sulfur content ranged from 150 to 165 mg/kg, allowing the oil to be classified as low-sulfur. Although hydrotreating is required to meet modern environmental standards, the low sulfur level reduces processing complexity compared to high-sulfur crudes. The contents of asphaltenes (0.18–0.28 %), resins (0.94–1.63 %), and paraffins (0.94–1.98 %) indicate a balanced composition typical of light oils with favorable refining behavior. Paraffin melting points (51–64 °C) suggest the need for temperature control during transportation and processing to avoid wax deposition.

Fractional distillation demonstrated a high yield of light fractions. The proportion of fractions boiling below 200 °C reached 77–82 %, which is comparable to light benchmark crudes

such as Brent. At the same time, the presence of moderate amounts of heavy fractions (>300 °C) and a residue of up to 15 % indicates the feasibility of using secondary processes, such as catalytic cracking, to increase the yield of valuable light products.

Regression analysis showed that paraffin content can be predicted with high accuracy based on selected physicochemical parameters, while predictions for resins and asphaltenes demonstrated acceptable accuracy for preliminary assessments. The absence of multicollinearity confirms the applicability of the proposed models for practical use.

The investigated oil is classified as low-sulfur oil. However, with a sulfur content of 150-165 mg/kg, the oil will require hydrotreating to meet environmental standards and ensure the production of high-quality end products. Hydrotreating will help reduce the sulfur content of petroleum products such as gasoline and diesel.

The presented data show that oil is predominantly composed of light fractions. The distillation fraction ranges from 85 to 91%, indicating that the oil samples studied are predominantly composed of light hydrocarbons that boil at relatively low temperatures (up to 200°C). This means the oil contains various fractions, including gasoline, kerosene, and diesel fuel.

The distillation fraction (fractions that boil up to 200 °C) is 76.92-82.35 %, confirming the oil's high content of light fractions.

Table 1- Fractional composition of crude oil from the Druzhelyubivske field

Indicators	Well number						
	54	57	58	61	67	69	70
Boiling point at °C	31	30	32	29	34	32	34
End of boiling at °C	310	360	305	307	360	313	322
Reflux fraction, %	87	91	87	85	89	87	88
Percentage of balance, %	13	9	13	15	11	13	12
Share of losses, %	0	0	0	0	0	0	0
Reflux fraction boiling point <200 °C, %	80,45	76,92	79,31	82,35	78,65	81,6	79,54
Reflux fraction 200-300 °C, %	18,39	9,89	19,54	16,47	19,10	17,24	19,31
Reflux fraction >300 °C, %	1,16	13,19	1,15	1,18	2,25	1,16	1,15

Crude oil from the Druzhelyubivske oil and gas condensate field is classified as light, low-sulfur oil with a high content of light fractions and favorable physicochemical properties [4,5]. These characteristics ensure good transportability and technological attractiveness for refining. Primary distillation combined with hydrotreating is recommended as a base processing scheme, while catalytic cracking can be applied to maximize the yield of light and middle distillates.

The proposed approach to predicting the structural and group composition of oil based on regulatory quality indicators simplifies decision-making when choosing a refining strategy. The results confirm the prospects for further development of this place of origin and can be used in the assessment of other low-yield oil facilities in Ukraine.

The high content of light fractions makes the studied crude oil a promising feedstock for the production of petrochemical intermediates used in polymer synthesis.

## Прогнозування механічної та «гарячої» міцності доменного коксу з трамбованих вугільних шихт

*Шмельцер К. О.*<sup>1</sup>, Мірошниченко Д. В.<sup>2</sup>, Кормер М. В.<sup>1</sup>, Мукіна Н. В.<sup>3</sup>, Коваль В. В.<sup>4</sup>,  
Серкіз К. А.<sup>2</sup>, Мироненко А. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

<sup>2</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків,  
Україна

<sup>3</sup>КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», Кривий Ріг, Україна

<sup>4</sup>Державне підприємство «Український державний науково-дослідний вуглехімічний  
інститут (УХІН)», Харків, Україна  
*shmeltser@duet.edu.ua*

Забезпечення доменного виробництва високоякісним коксом залишається однією з ключових задач сучасної металургії. Якість коксу безпосередньо впливає на стабільність роботи доменної печі, інтенсивність процесів відновлення та техніко-економічні показники виробництва чавуну. Водночас кокс є найдорожчим компонентом доменної шихти, що зумовлює необхідність оптимізації його якості та зниження питомої витрати шляхом удосконалення складу вугільних шихт і технології їх підготовки.

Властивості доменного коксу визначаються характеристиками вихідної вугільної сировини, складом шихти та умовами процесу коксування. В умовах обмеженої сировинної бази коксівного вугілля в Україні особливої актуальності набуває використання газового та слабоспікливого вугілля, що потребує застосування сучасних технологій підготовки шихти для забезпечення необхідних показників якості коксу.

Однією з перспективних технологій є трамбування вугільної шихти, яке дозволяє підвищити насипну густину, зменшити міжзернову пористість та покращити умови спікання. У результаті формується більш щільна структура коксу, що сприяє підвищенню його механічної міцності. Підвищення густини вугільного завантаження також впливає на умови видалення летких продуктів піролізу, що призводить до інтенсифікації вторинних процесів у пластичному стані вугілля та покращення формування коксової структури.

Метою роботи є дослідження властивостей вугільних концентратів, що входять до сировинної бази підприємства, та розробка математичних і графічних залежностей для прогнозування показників механічної міцності (M25, M10) та «гарячої» міцності (CRI, CSR) доменного коксу, отриманого з трамбованих вугільних шихт.

У ході дослідження були відібрані проби вугільних концентратів різних марок. Для них виконано комплекс лабораторних досліджень, що включав технічний аналіз (зольність, вміст сірки, вихід летких речовин), петрографічний аналіз, визначення гранулометричного складу, показників розмолостатності за Хардгровим, тиску розпирання та хімічного складу золи. Отримані результати свідчать про значну варіативність властивостей вугільної сировини, що необхідно враховувати при формуванні шихт.

На основі експериментальних даних сформовано п'ять варіантів вугільних шихт, які відрізняються складом і співвідношенням компонентів. Основні показники шихт включають зольність у межах 8,2–9,5 %, вміст загальної сірки 0,48–0,57 %, товщину пластичного шару 13–16 мм, показник відбиття вітриніту 0,96–1,02 %. Шихти підготовлено відповідно до технології трамбування з подрібненням до вмісту близько 92 % класу менше 3 мм та ущільненням до густини 1,15 кг/дм<sup>3</sup>.

Коксування проводили у лабораторній печі (5 кг) при температурі до 1100 °С. Після завершення процесу визначали вихід коксу та його якісні характеристики, зокрема механічну міцність (M25, M10), реакційну здатність (CRI) та післяреакційну міцність (CSR).

Аналіз отриманих результатів показав, що склад шихти та її петрографічні характеристики суттєво впливають на якість коксу. Вміст вітринітової складової, товщина пластичного шару та ступінь метаморфізму визначають здатність шихти до спікання та

формування міцної коксової структури. Підвищений вміст фюзенізованих компонентів та несприятливий хімічний склад золи можуть негативно впливати на реакційну здатність і післяреакційну міцність коксу.

На основі отриманих експериментальних даних розроблено математичні моделі, які описують залежності між характеристиками вугільної шихти та показниками якості коксу. Встановлено, що механічна міцність коксу (M25, M10) та показники гарячої міцності (CSR) можуть бути прогнозовані з достатньою точністю на основі таких параметрів, як зольність, вміст летких речовин, товщина пластичного шару, петрографічний склад та показники мінеральної частини.

Розроблені графічні та математичні залежності дозволяють оцінювати вплив окремих факторів на якість коксу та використовувати їх для оптимізації складу вугільних шихт. Отримані результати підтверджують, що при введенні у шихту вугілля з менш сприятливими характеристиками необхідно коригувати її склад шляхом збільшення частки спікливих компонентів, зокрема вугілля жирної групи.

Таким чином, проведене дослідження підтверджує ефективність застосування технології трамбування для розширення сировинної бази коксування та підвищення якості доменного коксу. Розроблені математичні моделі можуть бути використані як інструмент прогнозування показників коксу та оптимізації технологічних параметрів підготовки шихти в умовах змінного складу сировини.

## **Загальний вплив використання додаткового покриття з полісечовини на елементи та конструкції при вибухових навантаженнях**

*Альошечкіна Т. М.*, Барахов К. П., Виноградов В. В., Павлюченков М. В., Яровий Ю. М.  
Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, Харків,  
Україна

*Vitalii.Vynogradov@kname.edu.ua*

Полісечовина виготовляється шляхом полімеризації діамінів та ізоціанатів. Склад твердих та м'яких ланок у полісечовині забезпечує переваги високої міцності та одночасної стійкості до значних пошкоджень. Крім того, властивості полісечовини, такі як гнучкість для нанесення на різні поверхні, водостійкість та термостійкість, роблять її чудовим рішенням для зміцнення/модернізації методом вибухоструминного очищення, що застосовується під екстремальними навантаженнями. Використання додаткового покриття з полісечовини є ефективним засобом, тому що завдяки своїм передовим властивостям покращуються експлуатаційні характеристики бетону, алюмінієвих та сталевих панелей під впливом вибухових та ударних навантажень.

На сьогодні є незначна кількість досліджень, в яких представлено ефективність використання полісечовини у конструкціях з скловолокна під вибуховим навантаженням. Відомо про значне зниження реакції на вибух сендвіч-панелі з вуглецевим матеріалом та пінопластовою серцевиною H100 divinycell внаслідок застосування полісечовини між лицьовим шаром та піною. Також має місце покращена вибухонебезпечність композитних панелей з вуглецевим матеріалом завдяки полісечовині, нанесеній між шарами ламінату. Аналогічно, для композитних шоломів Kevlar з волокнисто-армованих полімерів додаткова полісечовина-підкладка допомогла пом'якшити вплив вибуху на шоломи, що використовуються армією. Більше того, переваги полісечовини над звичайною етиленвінілацетатною піною підкреслюються за різних тисків вибуху. Також, у випадку підводних вибухів, додавання полісечовини призводить до підвищення вибухостійкості балона, обгорнутого вуглецевим волокном.

Розташування полісечовини на конструкції та її товщина також відіграють значну роль у пом'якшенні реакції конструкції на вибух. Деякі дослідники досліджували вплив розташування полісечовини, тобто нанесення на поверхню, що піддається вибухоструминному впливу, та/або задню поверхню, на стійкість до вибухонебезпечних матеріалів полімеру, армованого вуглецевим волокном, та вуглецевий матеріал з сендвіч-панелями з пінопласту divinycell відповідно. Полісечовина на задній поверхні панелі призводить до більшого зменшення деформації (виміряної на протилежній поверхні до вибуху), ніж коли полісечовина наносилася на відкриту поверхню сендвіч-панелей.

Через підвищені вимоги до важливих конструкцій, тобто безпеку, легкість, стійкість до екстремальних навантажень та погодних умов, транспортування у складних/важких географічних умовах та ізоляцію, волокнисто-армовані полімерні панелі з пінополімерними сендвіч-композитами привертають все більше уваги як рекомендовані будівельні елементи. Відомо про вибухобезпечні властивості сендвіч-панелей, армованих скловолокном, та пінопластових панелей. Також є відомості про ефективне зменшення вибухового навантаження за допомогою сендвіч-панелей з вуглецевим матеріалом та стирол-акрилонітрилової піни з різними граничними умовами. Спостерігалася ефективність алюмінієвих листів та серцевини з екструдованого полістиролу з різною щільністю з точки зору значного поглинання енергії під вибуховим навантаженням. Однак, необхідно досліджувати різні стратегії зменшення вибухових наслідків для подальшого покращення вибухостійкості сендвіч-конструкцій. Дослідники рекомендують різні методи для підвищення вибухостійкості сендвіч-конструкцій, наприклад, використання високоміцних матеріалів, ребер жорсткості, та надання додаткового захисного покриття таким конструкціям, наприклад, полісечовини.

## Застосування захисних полімерних плівок для підвищення безпеки скляних огорожувальних конструкцій при вибухових навантаженнях

*Альошечкіна Т. М., Барахов К. П., Виноградов В. В., Павлюченков М. В., Яровий Ю. М.*  
Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, Харків,  
Україна  
*Vitalii.Vynohradov@kname.edu.ua*

Скляні огорожувальні конструкції широко застосовуються в сучасному будівництві завдяки їх високим естетичним характеристикам, здатності забезпечувати природне освітлення приміщень, а також відповідності сучасним архітектурним тенденціям. Крім того, використання скла дозволяє зменшити вагу конструкцій та забезпечити візуальну відкритість простору. Водночас, незважаючи на зазначені переваги, скло є крихким матеріалом із відносно низькою ударною в'язкістю, що обумовлює його підвищену вразливість до динамічних навантажень, зокрема вибухових.

При дії вибухових навантажень руйнування скла відбувається вже при відносно невеликих значеннях надлишкового тиску. Такий процес супроводжується інтенсивним утворенням великої кількості уламків різного розміру, які набувають значних швидкостей та становлять серйозну загрозу для людини. Уламки скла можуть спричинити як поверхневі, так і глибокі проникаючі поранення. За результатами експериментальних та аналітичних досліджень встановлено, що до 30 – 40% усіх травм при вибухах пов'язані саме з ураженням уламками скла, що підкреслює важливість вирішення даної проблеми.

У зв'язку з цим особливо актуальним є пошук ефективних технічних рішень, спрямованих на підвищення рівня безпеки скляних конструкцій без необхідності їх повної заміни, що є економічно витратним та технічно складним процесом. Одним із найбільш доступних, технологічно простих і водночас ефективних способів підвищення безпеки є застосування захисних полімерних плівок, які можуть бути інтегровані в існуючі конструкції без суттєвого втручання в їхню структуру.

Захисні плівки являють собою багатошарові полімерні матеріали, як правило виготовлені на основі поліестеру (PET), які наносяться на поверхню скла з внутрішнього боку приміщення. Конструктивно такі плівки складаються з кількох шарів, включаючи основу, клейовий шар та захисне покриття, що забезпечує їх довговічність та стійкість до зовнішніх впливів. Основними функціями захисних плівок є утримання уламків після руйнування скла, зменшення швидкості їх руху, локалізація зони пошкодження та запобігання проникненню уламків у внутрішній простір будівлі.

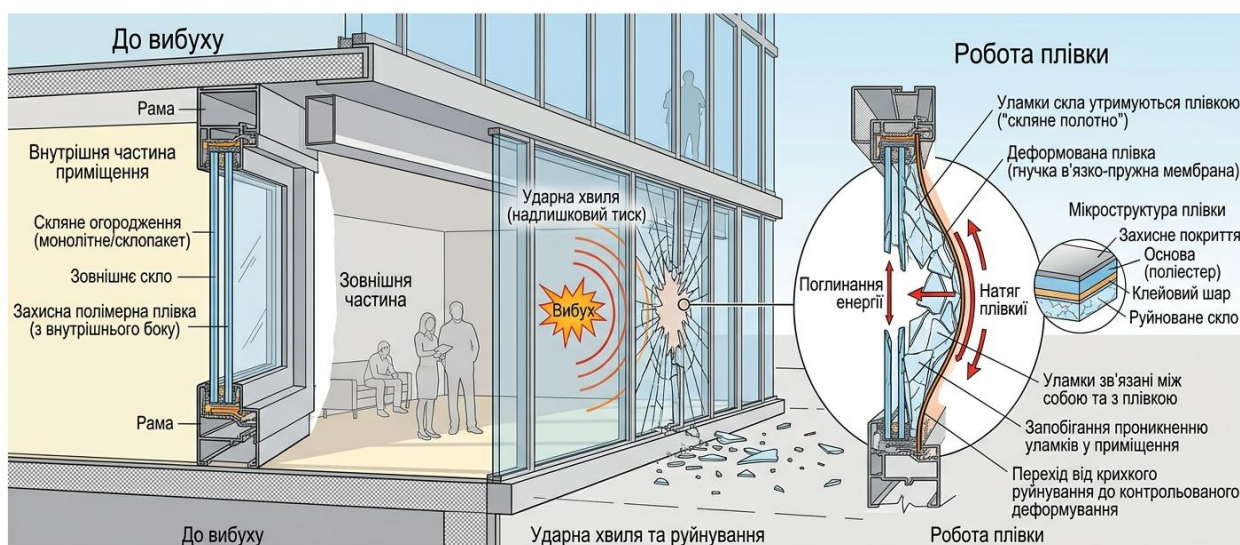


Рис.1 – Схема роботи захисної полімерної плівки при вибуховому навантаженні

Механізм роботи захисних плівок полягає у зміні характеру руйнування скляної системи. Під дією вибухового навантаження скло руйнується, утворюючи тріщини та окремі фрагменти. Після цього плівка починає працювати як гнучка в'язко-пружна мембрана, яка сприймає навантаження та утримує уламки. Уламки залишаються зв'язаними між собою та з плівкою, утворюючи єдину деформовану систему (рис. 1). Такий ефект часто описується як утворення «скляного полотна» (glass blanket). У результаті відбувається перехід від небезпечного крихкого руйнування до контрольованого деформування системи, що суттєво знижує ризик травмування людей та пошкодження обладнання.

Залежно від способу монтажу та конструктивного виконання розрізняють кілька типів захисних плівок. Найпростішими є плівки без механічного кріплення, які наносяться безпосередньо на поверхню скла та не мають зв'язку з рамою. Їх перевагами є простота встановлення, відносно низька вартість та можливість швидкого впровадження. Однак такі системи мають обмежену ефективність, оскільки при значних навантаженнях можливе випадіння скла разом із плівкою з рами.

Більш ефективними є плівки з герметичним кріпленням, які передбачають приклеювання плівки до рами за допомогою спеціальних герметиків. Це дозволяє забезпечити часткову передачу навантаження на раму та підвищити загальну стійкість системи. Водночас ефективність таких рішень значною мірою залежить від якості виконання монтажних робіт, властивостей герметика та умов експлуатації.

Найвищий рівень захисту забезпечують системи з механічним кріпленням плівок, у яких використовуються притискні планки або профілі. Такі системи дозволяють надійно закріпити плівку по периметру скла, забезпечуючи ефективне утримання уламків навіть при значних деформаціях. Проте їх застосування супроводжується збільшенням навантаження на раму, що вимагає проведення додаткових інженерних розрахунків та перевірки несучої здатності конструкції.

Основними параметрами, що характеризують захисні плівки, є їх товщина (зазвичай у межах 0,2–0,4 мм), межа міцності на розтяг, відносне подовження при розриві та в'язко-пружні властивості. Завдяки цим характеристикам плівки здатні працювати в умовах великих деформацій, поглинаючи частину енергії вибуху та зменшуючи імпульс, який передається уламкам скла.

Результати досліджень свідчать, що застосування захисних плівок дозволяє істотно підвищити безпеку експлуатації будівель. Зокрема, спостерігається значне зменшення кількості небезпечних уламків, обмеження радіусу їх розльоту та суттєве зниження рівня травматизму серед людей.

Разом з тим, слід враховувати низку обмежень, притаманних даним системам. Захисні плівки не запобігають самому факту руйнування скла, а лише змінюють його наслідки. Вони також не забезпечують повної стійкості віконної системи в цілому та можуть бути малоєфективними при дії високих вибухових навантажень без додаткового підсилення рамних елементів. Крім того, ефективність плівок залежить від характеристик рами, типу кріплення та якості монтажу. З часом можливе зниження експлуатаційних властивостей плівок унаслідок старіння матеріалів та деградації клейового шару.

При проектуванні систем із застосуванням захисних плівок доцільно використовувати принцип збалансованого проектування, відповідно до якого всі елементи системи «скло – плівка – рама» повинні працювати узгоджено. Скло повинно руйнуватись контрольовано, плівка – ефективно утримувати уламки, а рама – сприймати додаткові навантаження без втрати несучої здатності.

Отже, захисні полімерні плівки є ефективним, економічно обґрунтованим та технологічно доступним засобом підвищення безпеки скляних конструкцій. Їх застосування дозволяє значно зменшити негативні наслідки вибухових впливів, однак максимальний ефект досягається лише за умови їх використання у складі комплексних інженерних рішень.

## **Effect of process modes on the mechanical-operation performance of FDM-printed building tools**

*Kononenko R. G., Lebediev V. V., Voronkin A. A.*

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

*Roman.Kononenko@iht.khpi.edu.ua*

Modern construction is developing at a rapid pace, integrating new technologies and materials. One of the promising directions in the construction industry is the use of additive technologies (3D printing), based on the layer-by-layer deposition of material to create an object. Models obtained in this way can be used both for the production of experimental prototypes and for ready-to-use products.

A distinctive feature of this technology is its ability to address challenges related to high energy consumption, low production efficiency, resource intensity, and safety on the construction site. The main potential of additive technologies lies in achieving enhanced performance characteristics of finished products, significant raw material savings, the possibility of manufacturing structures with complex geometries without complicating the production process, production mobility, and accelerated construction timelines.

Modern requirements for ergonomics and durability of tools in the construction industry necessitate the introduction of innovative technologies. One of these technologies is 3D printing, which opens up wide opportunities for designing a device for installing wedges in a tile leveling system. From the point of view of ergonomics, 3D printing allows you to create designs with complex geometry, which ensures ease of grip, optimal arrangement of working elements and minimization of physical effort of the user. Individual adjustment of the shape to the anatomical features of the hand increases comfort and reduces the risk of injuries during prolonged use. In terms of durability, modern polymer materials for 3D printing have high mechanical strength and wear resistance.

This allows you to manufacture parts that can withstand significant loads during tile installation, while maintaining the accuracy and reliability of the design. In addition, the possibility of rapid prototyping makes it possible to test different design options and choose the optimal one in terms of balance between weight, durability and convenience.

This article considers the issue of effective design of building tools using the 3D printing method when creating a prototype of materials of various configurations. 3D printing was carried out using a 3D printer Anycubic Kobra 2 Pro using a filament based on PETG plastic (polyethylene terephthalate, modified with glycol).

The maximum impact strength and breaking stress during bending values were achieved in samples with two-layer walls and hexagonal infill with 80% infill degree – 10.1 kJ/m<sup>2</sup> for impact strength and 85.0 MPa for breaking stress during bending. Among the tested samples, the optimal results were found with a perimeter of two layers and 80% infill degree using the hexagonal model. The obtained results allowed to optimize the configuration of the building product in the form of a tool for clamping the tile leveling system.

**СЕКЦІЯ ІV. НОВІТНІ ПОЛІМЕРНІ ТА КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ В  
МЕДИЦИНІ, БУДІВНИЦТВІ, АВІАБУДУВАННІ ТА ЕНЕРГЕТИЦІ**

## Гідрогелеві контактні лінзи покращеної комфортності на основі кополімерів полівінілпіролідону з метакриловими естерами

*Бегей Т. С., Мельник Ю. Я., Скорохода В. Й.*

Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна  
*taras.s.behei@lpnu.ua*

Гідрогелі завдяки високій біосумісності і здатності утримувати велику кількість води та забезпечувати високу проникність для кисню стали ключовим матеріалом для м'яких контактних лінз. Гідрогелі створюють тривимірну полімерну сітку, яка здатна утримувати воду, що сприяє зволоженню ока та підвищує комфорт носіння лінз.

Незважаючи на численні переваги гідрогелевих матеріалів, вони мають певні обмеження, які впливають на їх тривале використання. Однією з головних проблем є недостатня проникність для кисню і слюзи, що пов'язано з погіршенням обміну речовин в рогівці ока. Збільшити проникність лінз можна двома шляхами – підвищити їх водовміст до 70% (водовміст рогівки ока) або зменшити товщину по осі. Збільшення водовмісту до таких значень дає змогу довести тривалість безперервного ношення до декількох тижнів, однак в цьому випадку погіршуються механічні властивості лінз. Крім того, зі збільшенням водовмісту зростає товщина лінзи, а також збільшується адсорбційна ємність, внаслідок чого поверхня лінзи покривається білками та солями, які важко видаляються під час стерилізації.

Сучасний розвиток технологій у сфері гідрогелевих матеріалів для контактних лінз спрямований на подолання існуючих обмежень і вдосконалення характеристик лінз для тривалого використання. Перспективним є шлях зменшення товщини лінз, що сприяє збільшенню їх кисневої проникності та підвищенню комфорту при тривалому носінні. Проте сучасні технології виготовлення м'яких контактних лінз не дають змоги виготовляти лінзи товщиною менше 0,1 мм, оскільки це призводить до втрати їх геометричних і оптичних властивостей.

У роботі здійснено модифікування раніше розробленого на кафедрі хімічної технології переробки пластмас Львівської політехніки гідрофільного матеріалу “Акрилан-ЛПП” на основі кополімерів 2-гідроксіетилметакрилату (ГЕМА) з полівінілпіролідонем (ПВП) із метою надання йому підвищених пружних властивостей у гідратованому стані.

Встановлено, що заміна частини ГЕМА на гідрофобний гліцидилметакрилат (ГМА) значно підвищує пружність одержаних гідрогелів, а міцність під час розриву зростає за екстремальною залежністю з максимальним значенням для композиції зі співвідношенням ГЕМА:ГМА = 50:50 % мас. Зі заміною частини ГЕМА на ГМА зростає число пружності з 25% до 86%, внаслідок чого лінзи з малою товщиною зберігають свою форму та деформуються лише за значних напружень. Встановлено, що синтезований гідрогель ГЕМА:ПВП:ГМА = 40:20:40 % мас. товщиною 0,04 мм має проникність для води –  $75 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ , для натрію хлориду –  $260 \text{ моль}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ , що перевищує показники відомого матеріалу для контактних лінз “Акрилан-ЛПП” з мінімально можливою товщиною 0,1 мм. Висока проникність у поєднанні з кращими пружно-деформаційними властивостями дає змогу передбачити надійнішу та тривалу комфортну експлуатацію ультратонких лінз. Запропонована композиція є оптимальною з погляду синтезу та властивостей полімерних заготовок і рекомендована для виготовлення заготовок контактних лінз, які за експлуатаційними показниками перевищують відомі контактні лінзи на основі полі-ГЕМА.

Отримані результати дали змогу обґрунтувати основи технології одержання блокових кополімерів ГЕМА/ГМА/ПВП із високою оптичною прозорістю, без внутрішніх напружень і підвищеними фізико-механічними характеристиками, які придатні для виготовлення точінням ультратонких м'яких контактних лінз підвищеної комфортності із мінімальною товщиною у центрі 0,04 мм.

## Optimization of cooling gas composition to improve coke quality during dry quenching

Kogtin A.<sup>1</sup>, Kravchenko S.<sup>2</sup>, Miroshnichenko D.<sup>1,3</sup>, Koval V.<sup>3</sup>, Shulga I.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Technical University Kharkiv Polytechnic Institute, Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup>State Enterprise "State Institute for Designing Enterprises of coke oven and by-product plants" (SE "GIPROKOKS"), Kharkiv, Ukraine

<sup>3</sup>Ukrainian State Research Institute for Carbochemistry, Kharkiv, Ukraine  
*kogtin.giprokoks@gmail.com*

The study examines coke dry quenching, focusing on how cooling gas composition—especially CO and CO<sub>2</sub>—affects coke quality. Laboratory modeling using a pilot unit simulated industrial conditions. A methodology was developed to assess gas composition effects through controlled experiments and standardized testing. Results showed that increasing CO (0→9.6%) and decreasing CO<sub>2</sub> (17.43→9.43%) improved coke quality, with lower CRI and higher CSR. Comparison with CDQ industrial data confirmed these trends, highlighting potential for optimizing gas composition in practice.

The cooling stage is an essential part of the coking process, as it ensures the production of transportable coke with the required physical and mechanical properties. In modern coke production, coke dry quenching (CDQ) is widely applied as an efficient and environmentally friendly technology [1,2].

In this process, hot coke is cooled using a circulating gas composed mainly of nitrogen, carbon oxides, and hydrogen.

The successful industrial implementation of CDQ systems has led to their widespread use in new coke oven batteries as well as in modernization projects. In addition to reducing environmental emissions, CDQ technology allows recovery of thermal energy from hot coke and its conversion into steam that can be used for power generation.

During the dry quenching process, the composition of the circulating gas can significantly influence physicochemical interactions between coke carbon and reactive gas components. These interactions may lead to partial gasification of coke and changes in its structure and mechanical properties.

The most important indicators of metallurgical coke quality are the Coke Reactivity Index (CRI) and the Coke Strength after Reaction (CSR), which characterize coke behavior under blast furnace conditions. Previous studies indicate that the ratio between carbon monoxide and carbon dioxide in the circulating gas can influence these parameters. Increasing CO<sub>2</sub> content intensifies gasification reactions and increases coke reactivity, whereas a higher CO content contributes to improved coke strength.

Therefore, investigation of the influence of cooling gas composition on coke quality remains an important scientific and practical task.

The aim of this work is to study the influence of the cooling gas composition used in the dry quenching process on the quality indicators of metallurgical coke under laboratory conditions.

For the experimental studies, a coal blend corresponding to the composition used in coke oven batteries of a Ukrainian coke plant was prepared, consisting of DG (16%), G (23%), GZhP (7%), and K (54%) grades.

The coal concentrates were analyzed using standard methods including technical, plastometric, petrographic, and granulometric analyses.

Laboratory coking was performed in an electrically heated oven with a single charge of ~3 kg, carbonized without air to 950–1000 °C for about 2.5 h.

The obtained coke was transferred to a laboratory dry quenching chamber, cooled using gas mixtures simulating industrial CDQ systems at 30–40 L min<sup>-1</sup> for ~60 min.

Gas samples were periodically analyzed to determine their composition.

After quenching, coke mass loss, technical properties, mechanical strength, reactivity (CRI), and strength after reaction (CSR) were determined.

The experimental studies showed that the composition of the cooling gas significantly affects the quality indicators of the obtained coke.

An increase in the proportion of carbon monoxide in the cooling gas with a simultaneous decrease in the concentration of carbon dioxide resulted in improved coke quality characteristics. In particular, higher CO content contributed to an increase in coke strength indicators and a decrease in coke reactivity.

The increase in the CO fraction in the cooling gas from 0 % to about 9.6 %, together with a reduction of CO<sub>2</sub> content from about 17.4 % to 9.4 %, resulted in a decrease in the CRI index and an increase in the CSR index. At the same time, an increase in the resistance to crushing force (Mc40) was also observed.

These results can be explained by the influence of the CO/CO<sub>2</sub> ratio on the gasification reactions occurring during coke cooling. A higher concentration of carbon monoxide shifts the equilibrium of carbon gasification reactions, reducing the interaction between coke carbon and carbon dioxide. As a result, the extent of coke gasification decreases, which leads to lower mass loss and preservation of the coke structure.

The obtained experimental results are consistent with data reported in other studies. Similar trends have been observed in industrial CDQ systems, where higher CO content in the circulating gas contributes to improved coke strength and lower coke reactivity.

At the same time, the indicators of abrasion resistance and certain mechanical characteristics remain relatively unchanged. This indicates that the main influence of the cooling gas composition is associated with surface reactions affecting the microstructure of coke rather than with large-scale structural destruction.

The composition of the cooling gas during dry quenching has a significant influence on the quality indicators of metallurgical coke.

Increasing the carbon monoxide content and decreasing the carbon dioxide concentration in the cooling gas contributes to improved coke quality.

Under the investigated conditions, an increase in CO concentration from 0 % to about 9.6 % led to a decrease in coke reactivity (CRI) and an increase in coke strength after reaction (CSR).

Higher CO content also contributed to an increase in the resistance of coke to crushing forces.

The obtained results confirm that optimization of the circulating gas composition in CDQ systems is an important factor for improving coke quality and reducing coke losses.

## Waste-to-fuel conversion of sunflower oil soapstock: an environmentally Efficient recycling approach

*Parkhomov Y.*<sup>1</sup>, *Miroshnichenko D.*<sup>1,2</sup>, *Lypko Y.*<sup>3</sup>, *Reivi V.*<sup>1</sup>, *Rohov Y.*<sup>1</sup>, *Shved M.*<sup>4</sup>, *Korchak B.*<sup>5</sup>,  
*Pyshyev S.*<sup>3</sup>

<sup>1</sup>The Department of Oil, Gas and Solid Fuel Refining Technologies, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup>Ukrainian State Research Institute for Carbochemistry, Kharkiv, Ukraine

<sup>3</sup>The Department of Chemical Technology of Oil and Gas Processing, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine;

<sup>4</sup>The Department of Information Security, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

<sup>5</sup>The Department of Civil Safety, Lviv Polytechnic National University, 79013 Lviv, Ukraine  
*Yurii.Parkhomov@iht.khpi.edu.ua*

The development of environmentally efficient recycling technologies for industrial waste is an important component of the circular economy. Among organic waste streams, by-products of vegetable oil refining represent a significant and underutilized resource with high potential for energy recovery. Soapstock, formed during alkaline neutralization of oils, constitutes up to 70–90 wt% of total refining waste and contains a considerable amount of organic compounds suitable for fuel production.

This study investigates the conversion of sunflower oil soapstock into a liquid boiler fuel component via acidulation followed by sequential aqueous washing. The approach is based on the transformation of a multicomponent organic system into a stable fuel through controlled modification of its composition and physicochemical properties.

The raw soapstock used in the study is a heterogeneous mixture containing sodium soaps of fatty acids, triglycerides, phosphatides, water, and inorganic salts. Its average composition is presented in Table 1.

Table 1 - Average composition of sunflower oil soapstock

Component	Content, wt%
Sodium soaps of fatty acids	29,65
Phosphatides	2,40
Triglycerides	15,78
Non-fatty additives	1,00
Salt	7,67
Water	43,50
Total:	100,00

The технологічний process included acidulation with sulfuric acid at 90–95 °C, phase separation, and subsequent washing of the organic phase. Three variants were analyzed: untreated soapstock, single washing, and double washing. The effect of purification on fuel quality parameters was evaluated. The results of physicochemical analysis are summarized in Table 2.

Table 2 - Effect of washing stages on fuel quality parameters

Parameter	Untreated soapstock	Single wash	Double wash
Sulfur, wt%	0,48	0,21	0,12
Ash, wt%	1,6	0,8	0,3
Water, wt%	12,5	4,2	1,1
Phase stability	Unstable	Moderate	Stable

The results show that untreated soapstock is unsuitable for direct fuel use due to high sulfur, ash, and water content. The first washing stage significantly improves these parameters; however, optimal fuel characteristics are achieved after double washing.

The obtained fuel component (acid oil) is characterized by low sulfur content (0.12 wt%), improved stability, and relatively high calorific value due to its high content of organic compounds and low oxygen fraction. Compared to conventional heavy fuel oils, the product has a lower sulfur content, which reduces sulfur oxide emissions during combustion.

From a technological standpoint, the proposed method is simple and does not require complex equipment or catalysts. The process includes standard operations such as heating, mixing, acid treatment, and phase separation, which ensures its practical applicability in industrial conditions.

From a materials-oriented perspective, soapstock can be considered a complex multicomponent organic system, and its processing represents controlled modification of composition and functional properties. This aligns with modern approaches in materials science, where processing conditions are used to tailor material performance.

From an environmental perspective, the conversion of soapstock into fuel contributes to waste minimization and resource efficiency. The proposed approach enables the valorization of industrial waste into a useful energy product, supporting circular economy principles and reducing dependence on fossil fuels.

Thus, the developed method represents an environmentally efficient recycling technology for organic industrial waste and demonstrates the feasibility of producing alternative boiler fuel from sunflower oil refining by-products. Further studies should focus on combustion characteristics, emission analysis, and pilot-scale validation.

## Залучення вторинних полімерів для протикорозійного захисту нафто- та газопроводів

*Gainov A. Ya.*, Григоров А. Б.

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків,  
Україна  
*grigorovandrey@ukr.net*

Корозія металевих трубопроводів є однією з основних причин аварій, витоків нафти і газу та зниження надійності трубопровідних систем. Для запобігання корозійному руйнуванню широко застосовують полімерні антикорозійні покриття, які створюють бар'єр між металевою поверхнею та агресивним середовищем.

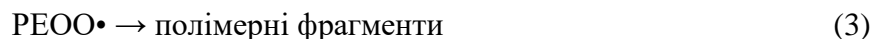
У загальному розумінні полімерні покриття виконують декілька важливих функцій: захист металу від електрохімічної корозії; ізоляція трубопроводу від вологи та агресивних ґрунтових середовищ; підвищення механічної стійкості поверхні; зменшення тертя та гідравлічного опору внутрішніх поверхонь труб; продовження терміну експлуатації трубопроводів.

Сучасна стратегія розвитку промисловості України, спрямована на раціональне природокористування, сприяє збільшенню частки вторинної сировини при виробництві товарної продукції. У цьому контексті перспективним напрямом при створенні покриттів для протикорозійного захисту нафто- та газопроводів є використання вторинних полімерів – поліетилену (PE) та поліпропілену (PP), представлених твердими відходами виробництва та споживання.

Вторинні полімери після збору, сортування, підготовки та переробки зберігають значну частину експлуатаційних властивостей первинних полімерів. Ступінь збереження властивостей зазвичай залежить від умов експлуатації матеріалу до переробки, технології рециклінгу та наявності стабілізуючих добавок.

У процесі повторної (механічної та термічної) переробки полімери можуть частково зазнавати термоокиснювальної деструкції, що призводить до деякого зниження молекулярної маси [1]. Це відбувається за рахунок часткового руйнування макромолекул, що є одним із основних факторів погіршення властивостей вторинних полімерів.

У загальному вигляді механізм деструкції на прикладі PE можна представити наступним чином:



У результаті деструкції утворюються низькомолекулярні фрагменти, що знижує середню молекулярну масу полімеру. Особливо чутливим до деструкції є поліпропілен, оскільки в його макромолекулі присутні третинні атоми вуглецю, які легше піддаються окисненню.

Проте за сучасних технологій переробки вторинні PE і PP зберігають значну частину механічних характеристик: міцність на розтяг – приблизно 70–90 % від властивостей первинного полімеру; модуль пружності – знижується незначно; ударна в'язкість – може зменшуватися до 10–30 % [2]. Ці показники залишаються достатніми для використання матеріалу у виробництві технічних виробів, зокрема захисних покриттів та оболонок трубопроводів.

Хімічна інертність PE і PP зумовлена їхньою молекулярною структурою (насичені вуглеводневі ланцюги). Навіть після переробки ця структура майже не змінюється, тому вторинні полімери зберігають: високу стійкість до води та розчинів солей; інертність до

більшості кислот і лугів; стійкість до вуглеводнів та нафтопродуктів. Це дозволяє використовувати вторинні PE і PP у корозійно-агресивних середовищах.

Вторинні полімери також зберігають низьку проникність для води, газів і електролітів. Хоча після багаторазової переробки можливе незначне збільшення дифузійної проникності, у більшості випадків бар'єрні властивості залишаються достатніми для антикорозійного захисту металу.

Також слід зазначити, що у деяких випадках можливо зберегти або навіть покращити характеристики вторинних полімерів за рахунок: введення антиоксидантів та стабілізаторів; використання композиційних наповнювачів; змішування вторинної сировини з певною часткою первинного полімеру. Такі підходи дозволяють компенсувати часткову деградацію полімерної структури та забезпечити стабільність експлуатаційних характеристик.

Структурна схема залучення вторинних полімерів для протикорозійного захисту нафто- та газопроводів представлена на рис. 1.

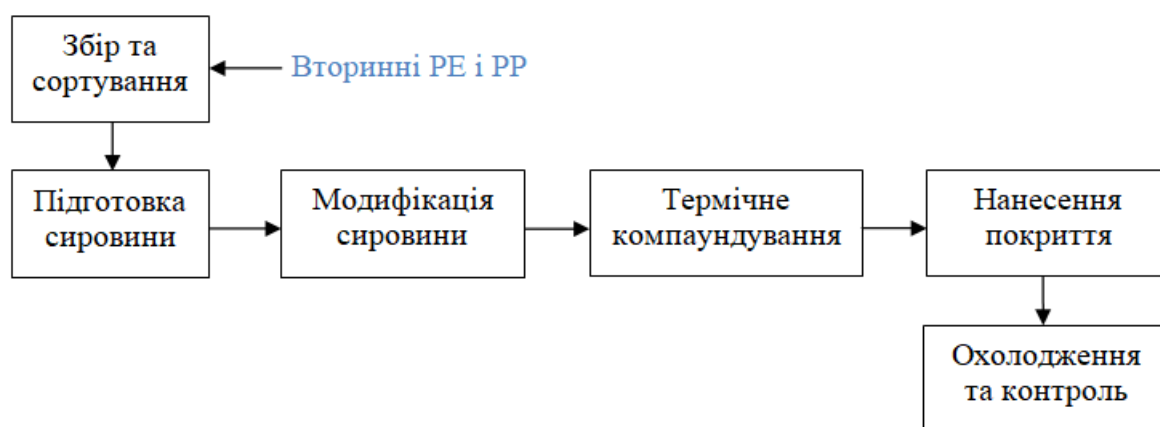


Рис. 1 – Структурна схема залучення вторинних полімерів для протикорозійного захисту нафто- та газопроводів

Представлена схема реалізується за рахунок наступних технологічних стадій: збір та сортування вторинних PE і PP (збір плівки, тари, відходів виробництва та сортування за типом полімеру); підготовка вторинної сировини (подрібнення до фракції 2–10 мм, миття та сушіння); модифікація полімеру (малеїново-ангідридне змішування для покращення адгезії, введення антиоксидантів та стабілізаторів переробки); термічне компаундування (змішування в екструдері розплаву полімеру з іншими компонентами: наповнювачами та функціональними добавками); нанесення покриття (гаряче нанесення (розплавом), екструзія або напилення (порошкове чи розплавлене); формування багатошарового покриття: адгезійний шар, полімерна матриця (вторинний PE/PP) та зовнішній бар'єрний шар; охолодження та контроль (охолодження шару до кімнатної температури, контроль товщини та однорідності покриття).

Таким чином, покриття, що містять вторинні полімери, є досить перспективними у контексті захисту трубопроводів, резервуарів та металоконструкцій від корозії, дозволяють зменшити витрати на ремонт і продовжити експлуатаційний термін обладнання.

#### Список використаних джерел

1. Zhiltsova T., Oliveira M.S.A. Sustainable Polypropylene Blends: Balancing Recycled Content with Processability and Performance. *Polymers*. 2025. 17. 1556.
2. Zhang W., Shen J., Guo X., Wang K., Jia J.; Zhao J., Zhang J. Comprehensive Investigation into the Impact of Degradation of Recycled Polyethylene and Recycled Polypropylene on the Thermo-Mechanical Characteristics and Thermal Stability of Blends. *Molecules*. 2024. 29. 4499.

## Гідрофобні матеріали для запобігання обледенінню

*Скрипинець А. В.,* Гуріна Г. І., Нестеренко С. В., Косогова Є. О.

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

*anna.skrypynets@kname.edu.ua*

Обледеніння зовнішніх поверхонь є серйозною проблемою для авіації, будівництва, транспорту, енергетики та судноплавства. Утворення льоду на конструкціях і обладнанні погіршує їх функціональні властивості, підвищує ризик аварій і збільшує експлуатаційні витрати. Хоча матеріалів, що повністю усувають обледеніння, наразі немає, перспективним рішенням є застосування антикригових покриттів, які зменшують адгезію льоду, підвищують безпеку та ефективність. Однак існуючі матеріали часто обмежені технологічними вимогами, низькою зносостійкістю або недостатньою гідрофобністю.

Дане дослідження зосереджене на розробці гідрофобних покриттів із оптимальними технологічними та фізико-механічними властивостями для запобігання утворенню та накопиченню льоду на конструктивних елементах у низькотемпературних умовах, забезпечуючи простоту нанесення, швидке отвердіння та довговічність.

У роботі представлено розробку гідрофобних покриттів, призначених для зменшення утворення льоду та його адгезії на поверхнях, що піддаються низьким температурам та несприятливим кліматичним умовам. Розроблено покриття на основі органорозчинних лакофарбових матеріалів та воднодисперсних матеріалів із використанням гідрофобних добавок (поліметилсилоксан, силіконові смоли, розчини метилсилоксанових смол) та наповнювачів (гідрофобний аеросил, технічний вуглець, мікросфери).

Визначено контактний кут води ( $\theta$ ) при  $+20^{\circ}\text{C}$  та  $-10^{\circ}\text{C}$ , що свідчить про гідрофобність покриттів у межах  $90^{\circ}$ – $147,6^{\circ}$ , залежно від складу. Адгезія льоду до покриттів розраховувалась за рівнянням Юнга-Дюпре і показала зниження в 2-3,8 рази порівняно з поверхнями без покриття. Комбінації мікросфер і силіконових смол забезпечують синергійний ефект, підвищуючи водовідштовхувальні властивості та знижуючи адгезію льоду.

Покриття додатково оцінювались за технологічними та фізико-механічними характеристиками: час висихання, адгезія, еластичність плівки, твердість і ударостійкість. Результати підтвердили, що оптимальні склади забезпечують швидке нанесення та полімеризацію, високу механічну стійкість та довговічність у умовах низьких температур і підвищеної вологості.

Розроблені гідрофобні покриття відповідають екологічним та технічним вимогам України та ЄС щодо вмісту ЛОС і шкідливих речовин. Матеріали мають високий потенціал для застосування в авіації, будівництві, транспорті та енергетиці, де обледеніння створює ризики експлуатації.

### Список використаних джерел

1. A. Skripinets, G. Gurina, S. Nesterenko, E. Druzhynin. Hydrophobic coatings with predicted anti-icing properties. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2025. Vol. 1499(1). 012020. doi:10.1088/1755-1315/1499/1/012020
2. N. Saienko, R. Bikov, A. Skripinets, D. Demidov, S. Dukarov. Effectiveness evaluation of silicate fillers for the creation of thin-layer thermal insulation coatings. *AIP Conference Proceedings*. 2023. Vol. 2490. 050021. doi:10.1063/5.0123332
3. G. Gurina, P. Kozub, S. Kozub, N. Saienko, A. Skripinets. Detonation nanodiamonds as part of smart composite paintwork materials. *International Conference on Smart Technologies in Urban Engineering*. 2023. pp. 393–402. doi:10.1007/978-3-031-20141-7\_36

## Особливості підбору полімерної матриці для виробництва хімічностійких композиційних матеріалів

*Артищенко Б. К., Григоров А. Б.*

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна  
*grigorovandrey@ukr.net*

Виробництво хімічностійких композиційних матеріалів є важливим напрямом розвитку сучасної хімічної технології та матеріалознавства. Такі матеріали широко застосовуються у хімічній, нафтопереробній, коксохімічній, металургійній та енергетичній промисловості, де обладнання та конструкції працюють в агресивних середовищах.

Однією з основних причин використання хімічностійких композиційних матеріалів є необхідність підвищення довговічності технологічного обладнання. У процесах переробки нафти, виробництва кислот, лугів та інших хімічних речовин металеві конструкції зазнають інтенсивної корозії. Застосування композиційних матеріалів, стійких до дії кислот, лугів та органічних розчинників, дозволяє значно зменшити швидкість корозійного руйнування та продовжити термін експлуатації обладнання.

Правильний вибір та поєднання компонентів (полімерної матриці, наповнювача та добавок) хімічностійких композиційних матеріалів (ХСКМ) визначають їх відповідність технічним вимогам чинних нормативно-технічних документів, технологічність, довговічність та економічну доцільність. Визначення основних компонентів можна вважати одним із ключових етапів інженерного проектування сучасних матеріалів, який здійснюється ще до початку виробництва ХСКМ у межах: інженерно-технологічного проектування, експериментальних досліджень та випробування дослідних зразків.

При цьому необхідно дослідити та врахувати критерії підбору основних сировинних компонентів. Такими критеріями (див. табл. 1) можуть бути: умови експлуатації, необхідні властивості, технологія виробництва, сумісність компонентів та економічні обмеження.

Таблиця 1 - Основні критерії, які враховують при визначенні основних компонентів для виробництва ХСКМ

Критерій	Параметри, що враховуються
Умови експлуатації	Хімічна агресивність середовища, температура, волога, механічне навантаження
Необхідні властивості	Міцність, термостійкість, хімічна стійкість
Технологія виробництва	Лиття, пресування, екструзія, ротаційне формування, обмотування волокном
Сумісність компонентів	Адгезія, в'язкість, фізико-хімічна взаємодія
Економічні обмеження	Вартість, доступність сировини, масштаб виробництва

Полімерна матриця є одним з основних компонентів композиційного матеріалу, оскільки вона виконує функцію зв'язувальної фази, яка об'єднує наповнювачі в єдину структуру та забезпечує цілісність матеріалу. Саме матриця формує безперервну фазу композиції, передає навантаження між частинками наповнювача та значною мірою визначає фізико-механічні, хімічні та експлуатаційні властивості матеріалу.

Однією з найважливіших функцій полімерної матриці є забезпечення хімічної стійкості композиційного матеріалу. Вона захищає наповнювач від дії агресивних середовищ і водночас визначає стійкість матеріалу до кислот, лугів, солей та органічних розчинників. Крім того, матриця впливає на водопоглинання, термостійкість, адгезію до поверхні основи та довговічність композиції.

Зважаючи на низьку вартість, доступність (у морфологічному складі вторинних полімерів становить 62 % [1]) та хімічну стійкість (див. табл. 2), як полімерну матрицю у складі ХСКМ доцільно використовувати вторинні полімери – тверді побутові відходи, представлені PET (поліетилентерефталатом), PP (поліпропіленом) та HDPE (поліетиленом високої густини).

Таблиця 2 - Хімічна стійкість полімерів

Агресивне середовище	Тип полімеру		
	PET	PP	HDPE
Кислоти (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ): - концентрація до 50 % - концентрація понад 50 %	Висока Середня	Висока Висока	Висока Висока
Луги (NaOH, KOH)	Низька	Висока	Висока
Феноли, крезолі	Низька	Помірна	Помірна
Нафтопродукти (бензин, дизель, оливи, мастила)	Висока		

Аналізуючи дані, представлені в табл. 2, слід зазначити, що середня стійкість PET до дії концентрованої сірчаної кислоти, особливо при температурах понад 100–160 °С, зумовлена протіканням реакцій гідролізу ефірних зв'язків у полімерному ланцюзі [2], деполімеризації з утворенням мономерів або продуктів розщеплення, а також сульфурвання ароматичного ядра при тривалому контакті та нагріванні.

Разом з тим низька стійкість PET до дії лугів (NaOH, KOH) зумовлена його руйнуванням унаслідок гідролізу ефірних зв'язків. Цей процес є основою лужної деполімеризації PET. Також PET при температурах 150–200 °С проявляє низьку стійкість до дії ароматичних сполук – таких як фенол та крезол, особливо при підвищених температурах або тривалому контакті. Це, насамперед, пов'язано з такими процесами: розчиненням PET у розігрітих фенолах або крезолах; розривом ефірних зв'язків (деполімеризацією); утворенням реакційних продуктів унаслідок нуклеофільної атаки фенольного гідроксилу на естерні групи в ланцюзі PET.

Натомість HDPE у своєму складі не має полярних груп, здатних до хімічної взаємодії з фенолами чи крезолами, що пояснює його високу стійкість до їх дії при температурах до 100 °С. В екстремальних умовах (200–250 °С, тривалий контакт) можливе поверхневе набухання або часткове розчинення HDPE.

Таким чином, ХСКМ на основі PET та HDPE проявлятимуть високу хімічну стійкість до тривалої дії розбавлених кислот і лугів, нафтопродуктів та нафтових залишків, а також промислових стічних вод при робочих температурах до 100 °С. Причому ХСКМ, отримані на основі HDPE, здатні витримувати тривалий вплив фенольних середовищ, що робить їх цінною сировиною для виробництва елементів систем очищення стічних вод коксохімічних підприємств.

#### Список використаних джерел

1. Сафранов Т.А., Приходько В.Ю., Михайленко В.І. Відходи пластикових матеріалів: оцінка утворення та поводження в регіонах північно-західного Причорномор'я. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2023. № 31. С. 122-130.
2. Luqman Umdagas, Rafael Orozco, Kieran Heeley, William Thom, Bushra Al-Duri. Advances in chemical recycling of polyethylene terephthalate (PET) via hydrolysis: A comprehensive review. *Polymer Degradation and Stability*. 2025 234, 111246.

## Композиційні теплоізоляційні матеріали з аерогельними наповнювачами для енергоефективних будівельних систем

*Макаренко О. В.*

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова  
Харків, Україна  
*olha.makarenko@kname.edu.ua*

Підвищення енергоефективності будівель є одним із ключових напрямів розвитку сучасної будівельної галузі, що зумовлено як економічними чинниками, пов'язаними зі зростанням вартості енергоресурсів, так і екологічними вимогами щодо зниження викидів парникових газів. Значна частина енергоспоживання житлових і громадських будівель пов'язана з підтриманням комфортного мікроклімату приміщень, зокрема з витратами енергії на опалення та кондиціювання. У зв'язку з цим одним із найефективніших шляхів зменшення енергоспоживання є підвищення теплоізоляційних характеристик огорожувальних конструкцій.

Традиційні теплоізоляційні матеріали, такі як мінеральна вата, пінополістирол або пінополіуретан, широко застосовуються у будівництві, однак їх теплофізичні характеристики наближаються до технологічної межі вдосконалення. Тому сучасні дослідження спрямовані на створення інноваційних композиційних матеріалів з покращеними теплоізоляційними властивостями, меншою товщиною теплоізоляційного шару та підвищеною довговічністю. Особливу увагу приділяють матеріалам наноструктурованого типу, зокрема аерогелям.

Аерогелі являють собою високопористі синтетичні матеріали, структура яких більш ніж на 90 % складається з газоподібної фази, розміщеної в системі нанорозмірних пор. Завдяки цьому вони характеризуються дуже низьким коефіцієнтом теплопровідності ( $\lambda \approx 0,013\text{--}0,018 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ), що значно перевищує теплоізоляційні властивості традиційних утеплювачів ( $\lambda \approx 0,030\text{--}0,040 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ). Основним механізмом, який забезпечує настільки низьку теплопровідність, є ефект Кнудсена, коли розмір пор стає меншим за довжину вільного пробігу молекул газу, що знижує газову складову теплопередачі.

Застосування аерогелів у складі будівельних композиційних матеріалів дозволяє зменшити товщину теплоізоляційного шару. Зокрема, шар аерогельної ізоляції товщиною близько 5 см може забезпечити такий самий опір теплопередачі, як 10–12 см мінеральної вати. Це створює додаткові можливості для їх використання у реконструкції будівель, конструкціях складної геометрії та вузлах, де виникають теплові містки.

Важливою перевагою аерогелів є також їх експлуатаційні характеристики. Такі матеріали є негорючими, гідрофобними, хімічно стійкими та екологічно безпечними. Вони зберігають теплоізоляційні властивості навіть за умов підвищеної вологості або значних температурних коливань, що сприяє підвищенню довговічності будівельних конструкцій.

Незважаючи на відносно високу вартість, ефективність аерогелів доцільно оцінювати з урахуванням повного життєвого циклу будівлі. Зменшення тепловтрат під час експлуатації дозволяє компенсувати початкові витрати, а менша товщина огорожувальних конструкцій сприяє збільшенню корисної площі приміщень. Таким чином, застосування аерогелів у складі сучасних композиційних теплоізоляційних матеріалів є перспективним напрямом розвитку енергоефективного будівництва.

## Термічна деструкція компонентів інтумесцентного вогнезахисного покриття для сталевих конструкцій

*Саєнко Н. В., Березовський А. І., Копил Б. Я.*

Національний університет цивільного захисту України, м. Черкаси, Україна  
*saienko\_natalia@nuczu.edu.ua*

Підвищення рівня пожежної безпеки будівельних конструкцій є одним із пріоритетних завдань сучасної інженерії та урбаністики. Під час пожежі сталеві конструкції швидко нагріваються внаслідок високої теплопровідності металу, що призводить до зниження їх несучої здатності. За температур 550–600 °С сталь може втратити до 50 % своєї міцності, тому ефективний вогнезахист металевих конструкцій є необхідною умовою забезпечення надійності будівель і споруд. Одним із найбільш перспективних способів пасивного вогнезахисту є використання інтумесцентних покриттів, які під дією високих температур інтенсивно спучуються та утворюють пористий теплоізоляційний шар. Такий шар знижує тепловий потік до металевої поверхні та подовжує час досягнення критичної температури конструкції.

Метою роботи є експериментальне дослідження термічної стабільності та механізмів деструкції основних компонентів інтумесцентного покриття на основі стирол-акрилової дисперсії: поліфосфату амонію (APP), пентаеритриту (PE) та гідроксиду алюмінію  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Дослідження виконано із застосуванням термогравіметричного (TGA) та диференційно-термогравіметричного (DTG) аналізу в температурному діапазоні 25–800 °С.

Встановлено, що всі досліджені компоненти характеризуються багатостадійною термічною деструкцією. Для поліфосфату амонію основний інтервал інтенсивної втрати маси становить 300–400 °С із максимумом близько 375 °С. У цьому температурному діапазоні відбувається утворення поліфосфорних кислот, які каталізують дегідратацію та карбонізацію органічних компонентів.

Пентаеритрит характеризується нижчою термічною стабільністю та розкладається при температурах близько 286–300 °С. У присутності поліфосфорних кислот відбувається реакція естерифікації, що сприяє формуванню фосфор-вуглецевого каркасу майбутнього коксового шару.

Гідроксид алюмінію проявляє ендотермічний характер розкладання у температурному інтервалі 360–382 °С із виділенням водяної пари та утворенням оксиду алюмінію. Цей процес сприяє охолодженню системи та формуванню механічно стабільного мінерального каркасу.

Результати термогравіметричного аналізу показали, що індивідуальні компоненти утворюють обмежений коксовий залишок: для APP – близько 8 %, для PE – 6 %. Натомість  $\text{Al}(\text{OH})_3$  демонструє значно більшу термічну стабільність із залишком близько 24 %. Найбільш ефективною є комбінована система, що містить APP, PE та  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Для такої композиції при температурі 800 °С зафіксовано коксовий залишок близько 23 %, що свідчить про синергічний ефект взаємодії компонентів. Поєднання кислотного каталізатора, джерела вуглецю та мінерального наповнювача забезпечує узгоджені процеси дегідратації, карбонізації та газоутворення, що сприяє формуванню стабільного пористого теплоізоляційного шару.

Отримані результати створюють наукове підґрунтя для оптимізації складу інтумесцентних вогнезахисних покриттів та підвищення ефективності вогнезахисту сталевих конструкцій. Практична реалізація таких систем сприятиме підвищенню пожежної безпеки будівель, інфраструктурних об'єктів та елементів міського середовища.

## Research on the influence of various fillers on the radio transparency of polymer composite materials

*Karandashov O. H., Pidhorna L. P.*

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine  
*nokturn@gmail.com*

Polymer composite materials (PCM) have now become widely used as protective shells for various structures, where radio waves of different frequencies and lengths are used. The main criterion for the quality of the shell, along with high physical and mechanical indicators, is its radio transparency, which is characterized by the signal loss indicator.

The work investigated the influence of such fillers as glass fiber of various grades (FG), unidirectional carbon tape (CT), non-woven reinforcing polyester material Soric® XF (PE), both individually in several layers and in combination with each other in the form of a sandwich structure, on the process of obtaining PCM based on epoxy oligomers LR-285, LR-287, hardeners LH-285, LH-287, which are further proposed for the manufacture of protective shells of special structures. It was assumed that the use of carbon filler would increase the strength of structural elements, and with the help of fiberglass and non-woven reinforcing polyester material, it is possible to regulate the radio transparency index.

The same indicators of the physical and mechanical properties of fiberglass were studied, such as the breaking load (N), the breaking tensile stress (MPa), as well as the radio transparency index - the signal loss index (dB). The determination of the breaking tensile stress in the longitudinal direction was carried out on a universal testing machine model BISS Bi-00-701. To determine the signal loss index, a centimeter wave generator, an antenna unit and a receiver were used.

From the results of the studies provided in Table. 1, it follows that to achieve better results in the radio transparency of structures while optimally preserving the strength properties, it is better to use a sandwich structure of fillers made of glass fiber and non-woven reinforcing polyester material.

Table 1 – Properties of PCM based on LR-285 and LH-285 depending on the nature and type of filler placement

Number of filler layers	Thickness of PCM, mm	Breaking load, N	Tensile strength, MPa	Signal loss indicator, dB
9 FG	3,5	6250	450	2,5-3,0
3FG+1PE+3FG	3,2	6250	195,3	1,7
3CT+1PE+3CT	3,0	16700	556,7	> 5
1CT+1PE+1CT	2,1	4300	205,7	> 5

If a design with less thickness and weight is required, where signal loss is not critical, but high strength is required, it is advisable to use unidirectional carbon tape as part of the filler sandwich structure.

## Increasing the resistance of polymeric materials to microbiological destruction

*Pidhorna L. P.*<sup>1</sup>, Karandashov O. H.<sup>1</sup>, Avramenko V. L.<sup>1</sup>., Cyrova H. O.<sup>2</sup>, Mishina M. M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup>Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine

*nokturn@gmail.com*

The most common cause of biological degradation of polymers and rubbers are microorganisms, mainly mold, which deteriorate the hygienic properties of products made of plastic materials and rubber. Pigments formed by microorganisms very often color plastic masses, leaving colored spots on their surface. Mold contributes to the condensation of water vapor and the deterioration of the mechanical and electrical properties of materials. Metabolites, including enzymes, can cause the destruction of the polymer itself.

To date, the resistance of polymer materials to the corresponding type of microorganisms has not been established. Therefore, the study of this effect, the development of methods for protecting polymer materials from biological damage, is an urgent task.

In connection with the use of plastic products in conditions that involve the active influence of microorganisms, the problem of protecting polymer materials is quite acute.

The effect of antimicrobial additives from the group of isothiazolinone and its derivatives, as well as kemabene, triclosan, bronopol, which have a wide spectrum of antimicrobial and antifungal activity, destroy mold and yeast, on the performance properties of sealants based on butyl rubber (copolymer of isobutylene and isoprene) and butadiene-nitrile rubber, as well as the effect of copper nanoparticles on the microbiological stability of high-pressure polyethylene products (urological catheters), and products made of non-woven fiber based on wool and polyethylene terephthalate (insoles for medical shoes) was studied.

The effect of additives on the rolling ball tack (in mm) of sealants was studied using the "Rolling Tester Tack" device, which complies with the standards (PSTC-6) and ASTM (ASTM D3121), as well as the resistance to peeling of the adhesive layer from a metal plate or concrete (adhesive strength in MPa) and their melting point.

The antimicrobial activity of polymers was determined by the agar diffusion method, which is based on the study of the intensity of the direct action of the test preparation on living bacterial cells in an agar medium. All test cultures of microorganisms were grown on dense nutrient media for 24 hours at 37°C, and test strains of fungi at 22°C.

The sensitivity to polymer samples of such reference strains as: *Escherichia coli* ATCC 25922, *Klebsiella pneumoniae* NCTC 5055, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 was determined. The antibacterial effect of the PCM was taken into account by the diameter of 30 mm of growth inhibition of test microbes around the well.

It was established that the introduction of the specified additives into the composition of the compositions in an amount of 4 - 5 wt. % does not have a negative effect on the complex of operational properties of sealants (adhesion to concrete and steel, stickiness), does not reduce, and in some cases increases the thermal characteristics of sealants, in particular the temperature of the onset of their decomposition.

It was shown that a small content of copper nanoparticles dramatically increases the microbiological stability of the studied materials and products made of them, which contributes to increasing their durability and preventing the spread of infections.

## Дослідження складу та токсикологічних властивостей продуктів горіння епоксидних і епоксиретанових вогнезахисних матеріалів

Саєнко Н. В.<sup>1</sup>, Скрипинець А. В.<sup>2</sup>, Березовський А. І.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний університет цивільного захисту України, Черкаси, Україна

<sup>2</sup>Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Харків, Україна

*saienko\_natalia@nuczu.edu.ua*

Пожежна безпека полімерних матеріалів залишається важливою науковою і практичною проблемою, оскільки під час їх горіння утворюється складна суміш токсичних газоподібних продуктів, небезпечних для людини та довкілля. Епоксидні та епоксиретанові вогнезахисні композиції широко застосовуються у будівництві, транспорті, енергетиці та інших галузях завдяки високим адгезійним, механічним і захисним властивостям. Разом з тим їх термічний розклад супроводжується утворенням оксидів вуглецю, ціаністого водню, оксидів азоту, фенолу, формальдегіду та інших токсичних речовин, що суттєво впливають на уражальні чинники пожежі.

Метою роботи було проведення порівняльного аналізу складу та токсичності продуктів горіння і термоокиснювальної деструкції епоксидних та епоксиретанових вогнезахисних композицій, модифікованих різними антипіренами. Експериментальні дослідження виконували у двох термічних режимах, що моделюють характерні умови пожежі: термоокиснювальна деструкція при 450 °С та полуменеве горіння при 750 °С. Аналіз летких продуктів здійснювали за санітарно-хімічними показниками, а токсичність оцінювали за показником  $HC_{L50}$  і вмістом карбоксигемоглобіну (HbCO) у крові лабораторних тварин після експозиції.

У результаті досліджень встановлено, що якісний склад продуктів горіння епоксидних і епоксиретанових систем загалом є подібним, однак кількісні співвідношення окремих компонентів істотно відрізняються. Основними продуктами газової фази в усіх випадках є CO і CO<sub>2</sub>, тоді як у менших кількостях утворюються HCN, NO<sub>x</sub>, фенол, формальдегід та інші токсичні сполуки. Виявлено, що в режимі термоокиснювальної деструкції при 450 °С утворюється більша кількість токсичних речовин, ніж у режимі полуменевого горіння при 750 °С, що підкреслює високу небезпеку початкових стадій пожежі.

Показано, що введення фосфорвмісних антипіренів, зокрема моно- та поліфосфату амонію, сприяє зниженню концентрацій найбільш небезпечних продуктів горіння, насамперед ціаністого водню та фенолу. Для епоксиретанових композицій з поліфосфатом амонію зафіксовано суттєве зменшення вмісту HCN, оксидів азоту та формальдегіду, хоча одночасно спостерігалось певне зростання виходу монооксиду вуглецю. За показником  $HC_{L50}$  усі досліджувані композиції належать до класу помірнебезпечних матеріалів. Рівень HbCO у крові тварин становив 58,4–65,6 %, що підтверджує провідну роль оксидів вуглецю у формуванні токсичного ефекту продуктів горіння.

Отже, використання фосфорвмісних антипіренів є ефективним напрямом зниження токсичності продуктів горіння епоксидних та епоксиретанових вогнезахисних матеріалів. Отримані результати мають практичне значення для розроблення нових поколінь інтумесцентних покривів із підвищеним рівнем пожежної безпеки та зменшеним токсикологічним впливом на людину і довкілля.

## **Вплив металовмісних добавок на адгезійно-міцнісні властивості вогнезахисних епоксиполімерних композицій**

*Григоренко О. М., Саєнко Н. В.*

Національний університет цивільного захисту України, Черкаси, Україна  
*saienko\_natalia@nuczu.edu.ua*

Композиційні матеріали на основі епоксидних олігомерів завдяки високій адгезійній здатності, механічній міцності, хімічній стійкості та технологічності широко застосовуються у різних галузях промисловості, зокрема у будівництві, машинобудуванні, енергетиці та транспортній інфраструктурі. Епоксидні полімери використовуються як зв'язувальні компоненти у захисних і конструкційних покриттях, а також у композиційних матеріалах спеціального призначення. Водночас одним із суттєвих недоліків епоксидних композицій є їхня горючість, що обмежує можливості застосування таких матеріалів у конструкціях із підвищеними вимогами до пожежної безпеки.

Для підвищення вогнестійкості полімерних матеріалів до їх складу вводять антипірени, мінеральні наповнювачі та модифікуючі добавки. Епоксидні смоли здатні до карбонізації під дією температури, що дозволяє створювати на їх основі інтумесцентні вогнезахисні покриття. Під час нагрівання такі покриття утворюють спінений теплоізоляційний шар, який обмежує теплопередачу до захищеної конструкції. Водночас введення наповнювачів може змінювати фізико-механічні та експлуатаційні властивості полімерних систем. Важливим показником при розробленні композицій для захисту будівельних конструкцій є адгезійна міцність покриття до підкладки, оскільки саме вона забезпечує надійність і довговічність захисного шару. Тому актуальним є дослідження впливу металовмісних добавок на адгезійно-міцнісні характеристики вогнезахисних епоксиамінних композицій.

Метою роботи є дослідження впливу металовмісних оксидних добавок на адгезійну міцність, ударну в'язкість та руйнівне напруження при згині вогнезахисних епоксиполімерних композицій. Як модифікуючі компоненти використовували міді оксид (II), цинку оксид (II) та ванадію оксид (V). Адгезійну міцність визначали експериментально методом рівномірного відриву двох металевих шайб діаметром 25 мм, виготовлених зі сталі Ст3. Результати експериментальних досліджень показали, що металовмісні добавки порізно впливають на адгезійно-міцнісні характеристики досліджуваних епоксиполімерів. Встановлено, що при введенні оксидів металів у кількості до 5 мас. ч. спостерігається зростання адгезійної міцності покриттів. Найбільш помітний ефект відзначено при використанні цинку оксиду та міді оксиду.

Дослідження впливу металовмісних добавок на ударну в'язкість показали можливість регулювання цього показника в широкому діапазоні. Найкращі результати отримано при введенні 10 мас. ч. цинку оксиду, що забезпечило підвищення ударної в'язкості композиції приблизно у 1,8 раза порівняно з ненаповненим зразком. Водночас встановлено, що збільшення вмісту металовмісних добавок у складі композиції супроводжується поступовим зниженням показника руйнівного напруження при згині, що зумовлено зміною структури полімерної матриці та характеру міжфазної взаємодії компонентів.

Таким чином, регулювання компонентного складу епоксиполімерних композицій дозволяє цілеспрямовано змінювати їх адгезійно-міцнісні характеристики. Отримані результати доцільно враховувати при розробленні епоксиамінних покриттів інтумесцентного типу для вогнезахисту будівельних конструкцій, технологічного обладнання та інженерних комунікацій.

## Теплоізоляційні покриття на основі стирол-акрилової дисперсії та порожнистих алюмосилікатних мікросфер

*Демідов Д. В.*

Харківський автотранспортний фаховий коледж, Харків, Україна  
*dmutro.demidov@khdak-xatt.edu.ua*

Проблема енергозбереження у будівництві та комунальній інфраструктурі залишається актуальною, оскільки значна частина енергоресурсів витрачається на забезпечення теплового режиму будівель, споруд і трубопроводів. Низький рівень теплоізоляційного захисту призводить до значних теплових втрат та підвищення витрат енергії. Традиційні теплоізоляційні матеріали мають ряд недоліків, серед яких зниження ефективності при зволоженні, складність монтажу та обмеження застосування на поверхнях складної геометричної форми. Перспективним напрямом є створення тонкошарових полімерних теплоізоляційних покриттів, які наносяться безпосередньо на поверхню конструкцій і забезпечують ефективний теплозахист.

Полімерні матеріали широко використовуються у сучасних теплоізоляційних системах завдяки високій адгезії, стійкості до атмосферних факторів та технологічності нанесення. Особливо перспективними є водно-дисперсійні системи на основі акрилових та стирол-акрилових співполімерів, які поєднують екологічну безпечність, довговічність і високі експлуатаційні характеристики.

Метою роботи є розроблення та дослідження теплоізоляційного покриття на основі стирол-акрилової дисперсії та порожнистих алюмосилікатних мікросфер для підвищення теплозахисних властивостей будівельних конструкцій. Як зв'язуюче використано стирол-акрилову дисперсію Acronal 290D, а як наповнювач – порожнисті алюмосилікатні мікросфери з низькою теплопровідністю. Дослідження включали визначення теплопровідності, термічного опору, адгезійної міцності до бетону, водо- та паропроникності, а також аналіз мікроструктури покриття.

У результаті досліджень встановлено, що розроблене покриття характеризується високими технологічними та експлуатаційними показниками. Воно має низьку щільність, не створює додаткового навантаження на конструкції та є зручним у застосуванні. Встановлено, що збільшення вмісту алюмосилікатних мікросфер сприяє зниженню коефіцієнта теплопровідності. Найменше значення теплопровідності (0,0416 Вт/(м·К)) отримано для покриття з вмістом мікросфер 40 мас.%. Покриття також характеризується адгезійною міцністю до бетону 1,2 МПа, низьким водопоглинанням та стійкістю до дії води і температури до +150 °С.

Мікроструктурний аналіз показав рівномірний розподіл алюмосилікатних мікросфер у полімерній матриці, що сприяє формуванню стабільної структури та покращенню теплоізоляційних властивостей покриття. Отриманий матеріал може застосовуватися для теплоізоляції будівельних конструкцій, трубопроводів гарячого водопостачання й опалення, а також для захисту обладнання від теплових втрат і контактних опіків.

Отже, розроблене покриття на основі стирол-акрилової дисперсії та порожнистих алюмосилікатних мікросфер є перспективним полімерним матеріалом для підвищення енергоефективності будівель та інженерних систем

## Оцінка впливу силікатних наповнювачів на адгезійні та адгезійно-міцнісні властивості водно-дисперсійних лакофарбових покриттів

*Демідов Д. В.*

Харківський автотранспортний фаховий коледж, Харків, Україна  
*dmutro.demidov@khdak-xatt.edu.ua*

Властивості лакофарбових покриттів значною мірою визначаються характером взаємодії плівкоутворювача з поверхнею підкладки. Саме адгезійна взаємодія на межі поділу «покриття – метал» істотно впливає на довговічність, захисну здатність і стабільність експлуатаційних характеристик покриттів. У зв'язку з цим актуальним є дослідження впливу мінеральних силікатних наповнювачів на змочування, поверхневу енергію та адгезійну міцність водно-дисперсійних покриттів, сформованих на сталевій підкладці.

Метою роботи є встановлення закономірностей впливу порожнистих алюмосилікатних мікросфер і гідрофобізованого аеросилу на адгезійні та адгезійно-міцнісні властивості лакофарбових покриттів на водній основі, а також визначення взаємозв'язку між адгезійною міцністю і термодинамічною роботою адгезії.

У роботі як зв'язувальне використано стирол-акрилову дисперсію з вмістом нелетких речовин 50 мас.%. Як наповнювачі застосовано порожнисті алюмосилікатні мікросфери та гідрофобізований аеросил марки А-1/300. Алюмосилікатні мікросфери є перспективними техногенними наповнювачами завдяки сферичній формі, низькій щільності, високій міцності, тепло- та звукоізоляційним властивостям. Аеросил виконує функції реологічного модифікатора, стабілізатора дисперсій і надає системі тиксотропних та водовідштовхувальних властивостей. Для оцінки міжфазної взаємодії визначали крайовий кут змочування, вільну поверхневу енергію та її полярну і дисперсійну складові за методом Оуенса-Вендта-Каєбла. Адгезійну міцність покриттів визначали методом відриву.

Встановлено, що введення аеросилу спричиняє незначне збільшення крайового кута змочування, тоді як алюмосилікатні мікросфери підвищують його більш істотно. При цьому вміст мікросфер понад 30 мас. % є недоцільним через зростання в'язкості композиції та погіршення умов нанесення покриття. Розрахунково-експериментальні дані показали, що введення наповнювачів найбільше впливає на дисперсійну складову поверхневої енергії, тоді як полярна складова змінюється незначно. Саме дисперсійна складова робить основний внесок у зміну термодинамічної роботи адгезії в системі «лакофарбове покриття – сталь».

Найважливішим результатом є те, що введення алюмосилікатних мікросфер у водно-дисперсійне покриття підвищує адгезійну міцність у 2,1–2,4 раза порівняно з ненаповненим складом. Це пояснюється зниженням дефектності та підвищенням гомогенності приконттактного шару покриття. Малі добавки гідрофобізованого аеросилу істотно не впливають на адгезійну міцність, а при сумісному введенні силікатних наповнювачів вона зростає в 1,8–2,0 раза. Отже, використання алюмосилікатних мікросфер є ефективним шляхом підвищення адгезійної міцності та експлуатаційної надійності водно-дисперсійних захисно-декоративних покриттів для металевих поверхонь.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

**Кафедра технології пластичних мас і біологічно активних  
полімерів**

**СУЧАСНІ ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ ТА  
КОМПОЗИТИ: ОДЕРЖАННЯ, ПЕРЕРОБКА ТА  
ДОСЛІДЖЕННЯ**

**Тези доповідей  
II МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ  
КОНФЕРЕНЦІЇ**

Укладач  
Відповідальний секретар  
Технічний редактор

Лебедєв В. В.  
Карєв А. І.  
Лебедева К. О.