

С. О. КОПИЛОВ

аспірант кафедри технології пластичних мас  
і біологічно активних полімерівНаціональний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

ORCID: 0000-0003-1984-4468

## ОДЕРЖАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕРЕВИНО-ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ З ОДНОЧАСНОЮ МОДИФІКАЦІЄЮ ПОЛІМЕРНОЇ МАТРИЦІ ТА ДЕРЕВИННОГО НАПОВНЮВАЧА

В даній статті розроблені нові склади ДПК і досліджені їх технологічні та експлуатаційні властивості, особлива увага приділялась ДПК з високою водостійкістю та грибостійкістю. Запропоновано використання відходів, які важко переробляються, таких як пінополістирол та термопластичний поліуретан для модифікації деревинного наповнювача та полімерної матриці. Це рішення додатково сприяє вирішенню екологічної проблеми та покращує експлуатаційні та фізико-хімічні властивості виробів з ДПК. Для визначення вмісту вологи як в готовому виробі так і на проміжній стадії виробництва використовували методи визначення діелектричної проникності, тангенса кута діелектричних втрат та електричного спротиву. Визначення цих показників дало можливість вчасно з'ясувати наявність вологи в полімерній матриці та деревинному наповнювачі за для корегування процесу виробництва ДПК. Використовували метод одночасної модифікації як полімерної матриці так і деревинного наповнювача, що дає синергійний ефект і є перспективним та ефективним для попередження водопоглинання, для підвищення фізико-механічних властивостей та подовження строку експлуатації виробів з ДПК. Ефективність методу одночасної модифікації ДПК з синергетичною ефектом підтверджується випробуваннями лише на рівні діелектричних характеристик отриманих зразків, що видно з результатів дослідження. З результатів досліджень впливу модифікації ДПК на рівень стійкості до зовнішніх умов і рівень тангенса кута діелектричних втрат  $tg$  доведено, що ефективно зв'язування вільної води в ДПК дозволяє підвищити комплекс діелектричних характеристик. Процес модифікації полімерної матриці та деревинного наповнювача був проаналізовано за допомогою інфрачервоної спектроскопії. Це дало можливість зробити висновок, що найбільше значний ефект модифікації наповнювача пов'язаний зі зменшенням кількості вільних гідроксильних груп після просочування модифікуючою сумішшю.

**Ключові слова:** композит, наповнювач, зв'язує, властивості, фізико-механічні характеристики, діелектричні характеристики, водопоглинання, грибостійкість.

S. O. KOPYLOV

Postgraduate Student at the Department of Plastics  
and Biologically Active Polymers Technology

National Technical University Kharkiv Polytechnic Institute

ORCID: 0000-0003-1984-4468

## PREPARATION AND RESEARCH OF WOOD-POLYMER COMPOSITES WITH SIMULTANEOUS MODIFICATION OF THE POLYMER MATRIX AND WOOD FILLER

In this article, new WPC compositions were developed and their technological and operational properties were investigated, with special attention paid to WPC with high water resistance and fungus resistance. The use of waste that is difficult to recycle, such as expanded polystyrene and thermoplastic polyurethane, for the modification of the wood filler and polymer matrix was proposed. This solution additionally contributes to solving the environmental problem and improves the operational and physicochemical properties of WPC products. To determine the moisture content both in the finished product and at the intermediate stage of production, methods for determining the dielectric permittivity, dielectric loss tangent and electrical resistance were used. The determination of these indicators made it possible to timely determine the presence of moisture in the polymer matrix and wood filler in order to adjust the WPC production process. The method of simultaneous modification of both the polymer matrix and the wood filler was used, which gives a synergistic effect and is promising and effective for preventing water absorption, for improving the physical and mechanical properties and extending the service life of WPC products. The effectiveness of the method of simultaneous modification of WPC with a synergistic effect is confirmed by tests only at the level of dielectric characteristics of the obtained samples, which is evident from the results of the study. From the results of studies of the influence of WPC

modification on the level of resistance to external conditions and the level of the dielectric loss tangent  $tg$ , it is proven that effective binding of free water in WPC allows to increase the complex of dielectric characteristics. The process of modification of the polymer matrix and wood filler was analyzed using infrared spectroscopy. This made it possible to conclude that the most significant effect of filler modification is associated with a decrease in the number of free hydroxyl groups after impregnation with the modifying mixture.

**Key words:** composite, filler, binder, properties, physical and mechanical characteristics, dielectric characteristics, water absorption, fungal resistance.

### Постановка проблеми

В умовах важкого стану України виникла не тільки проблема погіршення екологічної обстановки, а й дефіциту сировинних ресурсів. Тому постає питання про використання промислових та побутових відходів для виготовлення композитних матеріалів. На підставі ринкового аналізу та потреб виробництва у сировині, значно збільшується роль вторинних сировинних ресурсів [1]. У випадку виробництва ДПК це використання вторинних поліолефінів – поліетилену та поліпропілену. Вони не мають обмежень за санітарно-технічними нормами в будівельній індустрії, мають комплекс цінних властивостей: хімічну стійкість, значну теплостійкість, морозостійкість, міцність, високі діелектричні характеристики.

Однак, особливості структури, які зумовлюють ці властивості, є одночасно причиною, що ускладнює використання цього матеріалу. Так, неполярність поліолефінів з одного боку, надає їм гарну хімічну стійкість і діелектричні властивості, а з іншого – призводить до обмеження адгезії до різних наповнювачів у зв'язку з чим одержувані композити характеризуються невисокими показниками водостійкості та міцності.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Наукові досягнення, світовий досвід та ринковий попит свідчать про актуальне впровадження використання вторинної сировини у виробництво, що вирішує екологічні та економічні проблеми [2-6]. Найбільш поширене використання полімерних композиційних матеріалів застосовують у будівельній галузі в якості теплоізоляційних, конструкційних, оздоблювальних та декоративних виробів. Одним з різновидів композиційних матеріалів є деревино-полімерний композит (ДПК) на основі термопластів [7]. Основними найпоширенішими представниками термопластів є поліетилен (ПЕ) та поліпропілен (ПП) [1]. Обсяг їх виробництва сягає більше 35 % загальносвітового ринку полімерів. Вибір цих поліолефінів пояснюється простотою їх переробки та модифікації [1]. В Україні ринок полімерних матеріалів (сировини) залежить від імпорту. Станом на 2022 рік в Україні працювало 418 імпортерів та 225 вітчизняних виробників виробів з полімерних матеріалів [1]. Через військову агресію росії та тяжкий стан країни багато підприємств полімерної галузі призупинили свою діяльність або були знищені. Через загальне падіння ринку будівництва та ремонту, яке спостерігалось у 2022-2023 роки, знизився попит і на полімерні матеріали для будівництва (Рис. 1).

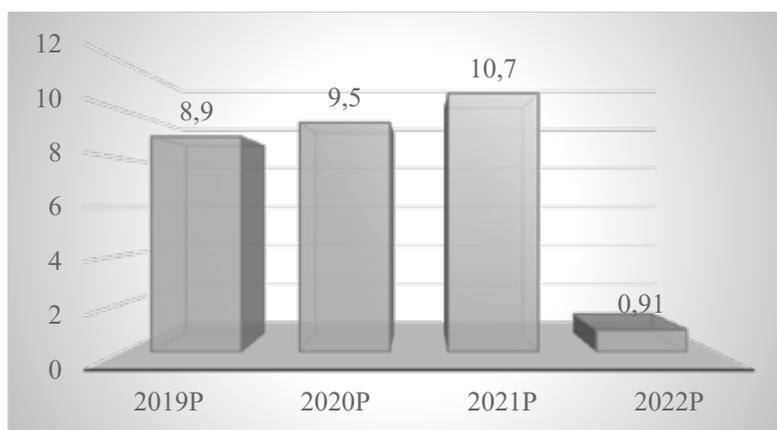


Рис. 1. Загальний імпорт виробів з полімерних матеріалів 2019-2022 рр., тис. тон

Починаючи з 2023 року має місце позитивна тенденція зростання внутрішнього виробництва, але значну долю потреби у виробках з полімерних матеріалів задовольняються за рахунок імпортової продукції. Саме тому є актуальним розробка новітніх ДПК на основі вторинних поліолефінів з підвищеним комплексом технологічних та експлуатаційних властивостей.

### Формулювання мети дослідження

Метою дослідження статті є одержання та дослідження ДПК з одночасною модифікацією полімерної матриці та деревинного наповнювача.

Приготування розроблених ДПК починали з творення однорідного розчину нафто-полімерної смоли в розчиннику, далі додавали відходи пінополістиролу, який розчиняється в розчині з отриманням модифікуючої суміші. В отриману модифікуючу суміш додавали деревинний наповнювач для просочування до повної гомогенізації суміш, а далі до просоченого гомогенізованого деревинного наповнювача додавали мікрокальцит. Гомогенізовану модифікуючу суміш висушували в лабораторній суширці протягом 1 години за температури 70 °С, або лишали на 12 годин при кімнатній температурі на повітрі. Під час стадії просочування рідкою сумішшю деревинного наповнювача та сушки випаровувалося 12-15 % зайвого розчинника. Висушений наповнювач змішували з вторинною полімерною сировиною (поліетилен (ПЕ) та поліетилен і термопластичний поліуретан (ПЕ+ТПУ)) та виготовляли ДПК екструзійним методом.

Визначення густини зразків проводилося відповідно до ASTM-D-792. Визначення ударної в'язкості (ISO 180:2000), руйнівної напруги при згині (ISO 178:2010), твердості за Брінелем (ISO 2039-2) та міцності при ударі (ISO 6272-1:2002) зразків проводилось відповідно до міжнародних стандартів. Водопоглинання визначали відповідно до ASTM-D-570, зносостійкість та усадку визначали відповідно до DIN 53 516, визначення зміни лінійних розмірів при нагріванні відповідно ISO 11501:1995. Діелектричну проникність визначали за DIN 53458, Тангенс кута діелектричних втрат визначали за DIN 53458-1965-03. Електричний спротив визначали за ISO 3915:2022, Утримання статичного заряду визначали за ДСТУ 12.1018-86.

Розвиток грибної колонії досліджували контамінацією зразків музейною культурою дріжджоподібних грибів *Candida albicans* у концентрації  $10^5$  КУО/см<sup>3</sup> і приготування культури заданої концентрації шляхом розведення музейної культури стерильною дистильованою водою до отримання заданої концентрації. Далі наносили підготовлені культури на попередньо оброблені ватним тампоном, змоченим 70% спиртом, поверхні зразка № 1 та зразка № 2, при чому площа поверхонь, що підлягає контамінації, становить по 50 см<sup>2</sup> для кожного зразка. Далі виконували контроль наявності заданої концентрації культури дріжджоподібних грибів *Candida albicans* на контамінованих поверхнях зразка № 1 та зразка № 2 методом змивів згідно ДСТУ ISO 18593:2006. Для цього стерильний тампон зволожується у стерильному фізіологічному розчині. Площі зразків № 1 та № 2, з яких беруть змиви, становлять по 25 см<sup>2</sup> для кожного зразка. Кінчик палички з тампоном асептично відламується або зрізається у пробірку з фізіологічним розчином (5 см<sup>3</sup>), яка струшується у шейкері протягом 30 секунд. Отримана первинна суспензія інокулюється у дві чашки Петрі (з метою проведення паралельного дослідження) із поживним середовищем агар Сабуро по 1 см<sup>3</sup> інокуляту, із розподіленням його по всій поверхні агару кожної з чашок стерильним шпателем. Чашки з агаром розміщуються горизонтально, доки поверхня не висохне, після чого відбувається інкубація їх в термостаті при температурі 20–22 °С з експозицією 5 діб. Після інкубаційного періоду підраховується кількість колоній, що утворилися в результаті висіву змивів із кожного зразка (зразок № 1 та зразок № 2). Наступним етапом є обчислення кількості одиниць, що утворюють колонії (КУО) на 1 см<sup>2</sup> досліджуваної поверхні  $N_s$ .

За результатами підрахунку при проведенні контрольного дослідження щодо контамінації поверхонь зразків № 1 та № 2 культурою дріжджоподібних грибів *Candida albicans* підтверджено, що зразки було контаміновано збудником у концентрації  $10^5$  КУО/см<sup>3</sup>.

Далі проводили виявлення наявності або відсутності збільшення концентрації *Candida albicans* на поверхні зразків у сприятливих для зросту даного збудника умовах. Створення та підтримання протягом 5 діб (час експозиції) умов, сприятливих для утворення нових колоній (зросту) дріжджоподібних грибів *Candida albicans* шляхом підтримання постійної температури на рівні 22 °С та підвищеного рівня вологості середовища ( $\geq 78\%$ ) у термостаті, в якому розміщуються зразки № 1 та № 2, контаміновані культурою дріжджоподібних грибів *Candida albicans* у концентрації  $10^5$  КУО/см<sup>3</sup> для інкубації. По закінченню терміну інкубації зразки № 1 так № 2 піддаються подальшому дослідженню з використанням методу змивів (мазків), після чого проводиться підрахунок колоній, що виростили, та розрахунок концентрації збудника на поверхні кожного із зразків (№ 1 та № 2).

#### **Викладення основного матеріалу дослідження**

Були розроблені нові склади ДПК і досліджені їх технологічні та експлуатаційні властивості, особлива увага приділялась ДПК з високою водостійкістю та грибовістійкістю. Склад розроблених ДПК, виготовлених по методу одночасної модифікації полімерної матриці і наповнювача, наведено в табл. 1.

Запропоновано використання відходів, які важко переробляються, таких як пінополістирол та термопластичний поліуретан для модифікації деревинного наповнювача та полімерної матриці. Це рішення додатково сприяє вирішенню екологічної проблеми та покращує експлуатаційні та фізико-хімічні властивості виробів з ДПК. Термопластичний поліуретан використовували для зменшення пористості структури полімерної матриці, а відходи пінополістиролу для покращення ізоляційних властивостей.

В табл. 2 наведено порівняльні значення фізико-механічних властивостей виготовлених зразків ДПК на основі модифікованого наповнювача та торгівельних зразків ДПК.

В таблицях 3 і 4 наведено характеристика електричного спротиву на зовнішньої та внутрішньої поверхнях зразків виготовленого ДПК з модифікованим наповнювачем та одночасною модифікацією наповнювача та матриці.

Таблиця 1

## Склад композицій ДПК з модифікованими полімерними матрицями та наповнювачем

Композиція	Вторинний РЕ, (%)	Вторинний ТПУ, (%)	Нафтополімерна смола, (г)	Розчинник бензин Б-70, (г)	Відходи пінополістиролу, (г)	Відходи меблевого виробництва, (г)	Мікро-кальцит, (г)
1	97	3	5	15	5	25	3
2	95	5	5	15	5	25	3
3	93	7	5	15	5	25	3
4	90	10	5	15	5	25	3
5	85	15	5	15	5	25	3
6	80	20	5	15	5	25	3

Таблиця 2

## Порівняльні значення фізико-механічних властивостей зразків ДПК на основі модифікованого наповнювача та торгівельних зразків ДПК

Композит	A кДж/см <sup>2</sup>	$\sigma$ , МПа	Водопоглинання, %	Зносостійкість, м	Зміна лінійних розмірів, % +15° С + 80° С	Зміна лінійних розмірів, % -15° С
1	9,27	14,38	+6,5	0,108	Не виявлено	Не виявлено
2	8,09	14,60	+6,2	0,142	Не виявлено	Не виявлено
3	6,98	15,88	+5,4	0,113	Не виявлено	Не виявлено
4	9,52	17,23	+5,3	0,101	Не виявлено	Не виявлено
5	9,13	15,07	+5,3	0,102	Не виявлено	Не виявлено
6	6,02	15,85	+6,3	0,103	Не виявлено	Не виявлено
7	6,35	10,9	+6,1	0,052	Не виявлено	Не виявлено
8	3,44	10,85	+5,9	0,072	Не виявлено	Не виявлено
9	4,96	11,53	+6,2	0,075	Не виявлено	Не виявлено
Торгівельний зразок ДПК	2,74	18,2	+10,8	0,296	довжина +1,98 товщина +6,78	довжина -0,97 товщина -2,77 ширина -1,22
Зразок OSB	11,03	9,04	+44,18	0,337	довжина +3,86 товщина +10,3 ширина +4,18	довжина -1,58 товщина -8,62 ширина -2,94
Зразок ДСП ламінований	11,52	14,7	+42,15	0,33	довжина +2,28 товщина +7,7 ширина +6,29	довжина -1,6 товщина -5,13 ширина -2,37

Таблиця 3

## Характеристика електричного спротиву на зовнішньої та внутрішньої поверхнях різних зразків ДПК з модифікованим наповнювачем

Зразок ДПК	Середнє значення	
	Зовнішня поверхня	Внутрішня поверхня
1	97,5	180,7
2	105,95	179,86
3	106,35	185,4
4	108,65	187,91
5	109,1	>200
6	102,5	>200
7	105,95	>200
8	101,3	>200
9	100,95	>200
10	99,53	191.195
11	100,35	165.05
12	102,65	171.1
13	102,4	163.75
Вторинне виготовлення	105,005	181.1
Торгівельний зразок	103,11	154.45

Для виробів з деревино-полімерного композиту важливим фактором якості є незмінність геометричних форм виробу та стабільність фізико-механічних властивостей під час експлуатації під впливом навколишнього середовища [8]. Всі ці характеристики та властивості безпосередньо пов'язані з властивостями матеріалів, які входять до складу композиту. Тому методи прогнозування експлуатаційних показників на підставі вивчення та вимірювання властивостей матеріалів та параметрів їх підготовки при вводі у процес виробництва дуже важливі [9]. Для отримання порівняльних даних одночасно проводили випробування деревино-полімерного композиту розробленого та промислового зразка. Виходячи з вимог для виробів з ДПК в якості експлуатаційних характеристик досліджували міцнісні властивості, при зберіганні в атмосферних умовах, діелектричні властивості та характер змін після впливу експлуатаційних факторів. Волога в матеріалі може бути придбаною в процесі експлуатації та залишковою, яка лишається в сировині при порушенні умов зберігання або помилкою в процесі виробництва [10]. Для визначення вмісту вологи як в готовому виробі так і на проміжній стадії виробництва використовують методи визначення діелектричної проникності, тангенса кута діелектричних втрат та електричного спротиву. Визначення цих показників дає можливість вчасно з'ясувати наявність вологи в полімерній матриці та деревинному наповнювачі за для корегування процесу виробництва ДПК.

Таблиця 4

**Характеристика електричного спротиву на зовнішньої та внутрішньої поверхнях зразків ДПК виготовленими за методом одночасної модифікації наповнювача та матриці**

Зразок ДПК	Середнє значення	
	Зовнішня поверхня	Внутрішня поверхня
1	140,8	>200
2	149,75	>200
3	152,4	>200
4	164,65	>200
5	176,1	>200
6	182,2	>200

З порівняльного аналізу таблиць 3 та 4 видно, що зразки виготовлені за методом одночасної модифікації більш захищені від впливу вологи, яка лишається на зовнішній поверхні виробу, а деревинний наповнювач захищений від потрапляння вологи ззовні.

В таблицях 5 і 6 наведено характеристика діелектричної проникності та тангенсу кута діелектричних втрат різних зразків ДПК з модифікованим наповнювачем та з одночасною модифікацією наповнювача та матриці.

Таблиця 5

**Характеристика діелектричної проникності та тангенсу кута діелектричних втрат зразків ДПК з модифікованим наповнювачем**

Композиція	Температура, °С	Середньо значення $\text{tg } \delta$	Середньо значення $S, \text{пФ}$
1	23	0,0373	1,53
2	23	0,0435	1,63
3	23	0,0193	1,63
4	23	0,0172	1,63
5	23	0,0237	1,63
6	23	0,0195	1,50
7	23	0,0213	1,50
8	23	0,0233	1,56
9	23	0,0196	1,50
10	23	0,0254	1,43
11	23	0,0118	1,46
12	23	0,0191	1,50
13	23	0,0179	1,53
повторний прогон	23	0,0227	1,53
промисловий зразок	23	0,0486	1,56

Примітка:  $\text{tg } \delta$  - тангенс кута діелектричної втрати;  $S, \text{пФ}$  - діелектрична проникність.

З аналізу таблиць 5 та 6 видно, що тангенс кута діелектричних втрат в зразках виготовлених за методом одночасної модифікації менше на 32% порівняно зі зразками, в яких модифікований тільки деревинний наповнювач, що додатково свідчить про ефективність цього методу виробництва. Крім того, водопоглинання та десорбція

виробів з ДПК, яка відбувається в процесі використання готового виробу супроводжується зміною лінійних розмірів та ваги. Матеріал стискається або набухає коли деревинний наповнювач підсушується або поглинає вологу. Відсутність стабільності розмірів є ще одним з недоліків цих матеріалів. В результаті багаторазового набухання та усихання часточок деревинного наповнювача порушується адгезія з полімерною матрицею і як наслідок має місце поява мікротріщин у виробі. У зв'язку з цим до складу ДПК вводять різноманітні доданки. В готовому виробі з ДПК пориста структура полімерної матриці має здатність набувати вологу і відповідно передавати її в деревинний наповнювач. Тому модифікація полімерної матриці має значення як для попередження водопоглинання так і для підвищення фізико- механічних властивостей.

Таблиця 6

**Характеристика діелектричної проникності та тангенсу кута діелектричних втрат зразків ДПК виготовленими за методом одночасної модифікації наповнювача та матриці**

Композиція	Температура, °С	Середнє значення tg δ	Середнє значення C, пФ
1	23	0,0015	1,33
2	23	0,0012	1,3
3	23	0,001	1,26
4	23	0,0008	1,21
5	23	0,0006	1,19
6	23	0,0005	1,16

В таблиці 7 наведено основні показники розроблених ДПК виготовлених методом одночасної модифікації та промислових зразків ДПК.

Таблиця 7

**Порівняльна характеристика основних показників розроблених ДПК виготовлених методом одночасної модифікації та промислових зразків ДПК**

Композит	Водопоглинення, W, %	Зносостійкість, м	a, кДж/см <sup>2</sup>	σ, МПа	Зміна розмірів в інтервалі +30 °С; +80 °С	Міцність при ударі
№ 1 новий	+2,64	0,082	9,03	9,44	не виявлено	h=25 вм'ятина h=30 роздавлений
№ 2 новий	+2,51	0,078	9,32	9,73	не виявлено	h=30 вм'ятина h=35 роздавлений
№ 3 новий	+2,38	0,054	9,68	10,2	не виявлено	h=30 вм'ятина h=35 роздавлений
№ 4 новий	+2,2	0,0312	10,06	12,37	не виявлено	h=30 вм'ятина h=35 роздавлений
№ 6 запропонован раніше	+6,2	0,142	8,09	14,6	не виявлено	h=15 вм'ятина h=20 розлом
№ 7 запропонован раніше	+5,4	0,113	6,98	15,88	не виявлено	h=15 вм'ятина h=20 розлом
№ 8 запропонован раніше	+5,3	0,101	9,52	17,23	не виявлено	h=15 вм'ятина h=20 розлом
№ 9 запропонован раніше	+5,3	0,102	9,13	15,06	не виявлено	h=15 вм'ятина h=20 розлом
Торгівельний зразок ДПК	+10,8	0,309	2,74	18,2	довжина +1,98 товщина +6,78	h=10 вм'ятина h=15 розлом
Зразок OSB	+44,18	0,326	11,03	9,04	довжина +3,86 товщина +10,3 ширина +4,18	h=10 розлом
Зразок ДСП ламінований	+42,15	0,312	11,52	14,7	довжина +2,28 товщина +7,7 ширина +6,29	h=10 розлом

Наявність вологи залишкової чи придбаной в процесі експлуатації дає можливість розвитку мікробів та різних грибів як на зовнішніх сторонах виробу так і з середини. Саме розвиток мікробів та грибних культур з середини є основною причиною руйнації виробів. Зростання мікробів та грибної колонії в середині матеріалу неможливо зупинити повністю, а відповідно і руйнацію матеріалу.

Використання методу одночасної модифікації як полімерної матриці так і деревинного наповнювача, дає синергійний ефект і є перспективним та ефективним для попередження водопоглинання та подовження строку експлуатації виробів з ДПК [8]. Вироби з деревино-полімерного композиту під час експлуатації схильні до

термічного впливу в присутності кисню [9]. За цих умов проходить реакція не термічного характеру, а термічного окислення. Ці процеси можуть проходити не тільки при підвищених температурах, а й при кімнатних. При цьому швидкість реакції знижується.

Процес модифікації полімерної матриці та деревинного наповнювача був проаналізовано за допомогою інфрачервоної спектроскопії. Результати досліджень інфрачервоної спектроскопії наведені на рис. 1-4.

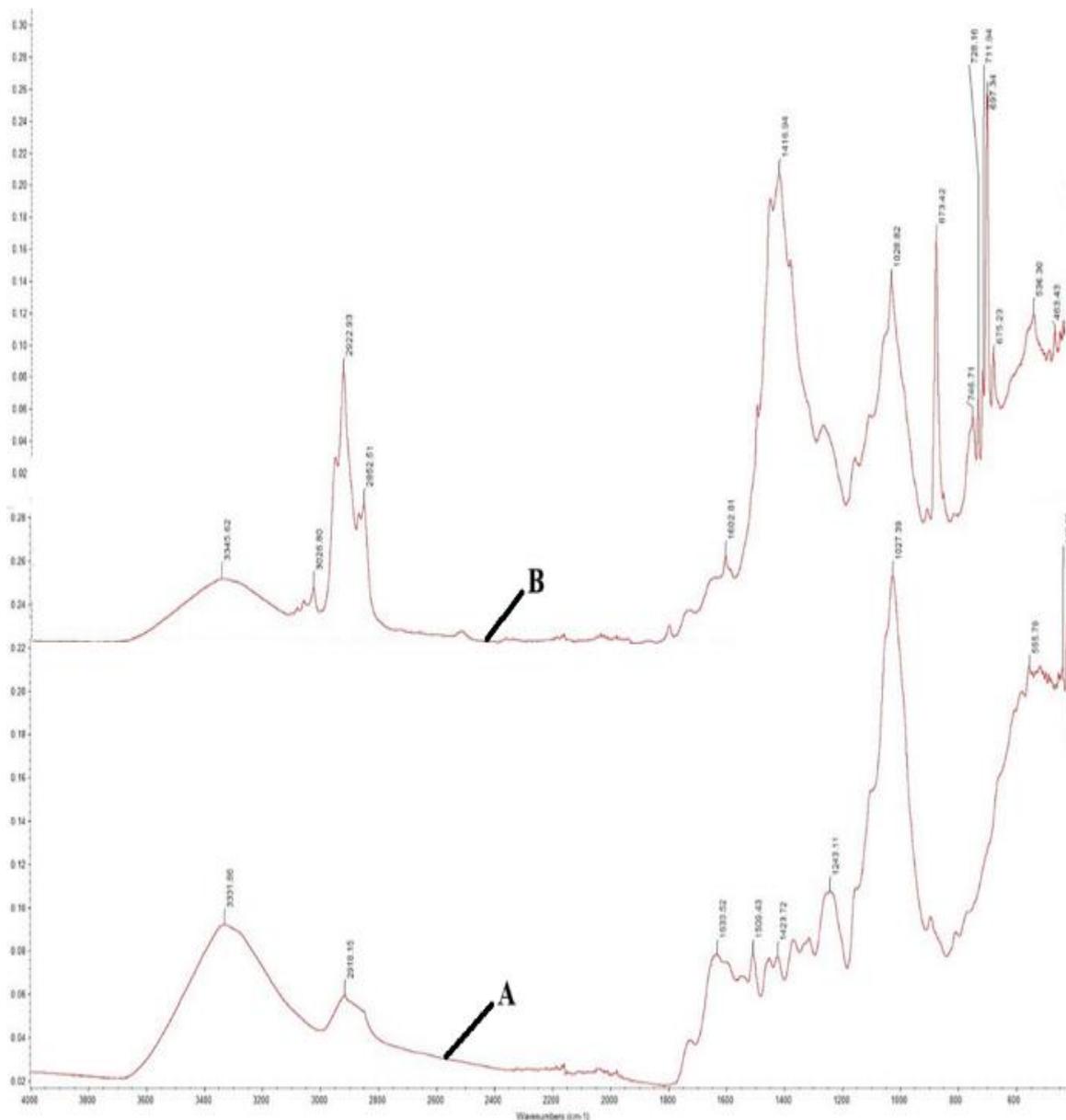


Рис. 2. ІЧ спектри немодифікованого (А) та немодифікованого (В) деревинного наповнювача

З рисунків 2-3 ІЧ-спектроскопії можна зробити висновок, що найбільше значний ефект модифікації наповнювача пов'язаний із зменшенням кількості вільних гідроксильних груп, що чітко видно при зміні в області довжин хвиль  $3000\text{--}3700\text{ см}^{-1}$ : велика смуга з максимумом при  $3331\text{ см}^{-1}$  для немодифікованого наповнювача стає набагато менш інтенсивним і менше за площею в максимумі за  $3341\text{ см}^{-1}$  при модифікації. При порівнянні ІЧ-спектрів вихідної полімерної матриці та модифікованих ДПК можна побачити ту саму тенденцію [10].

Ефективність методу одночасної модифікації підтверджують випробування на розвиток грибних колоній в матеріалі, порівняльні характеристики зразків на грибостійкість наведені в табл. 8.

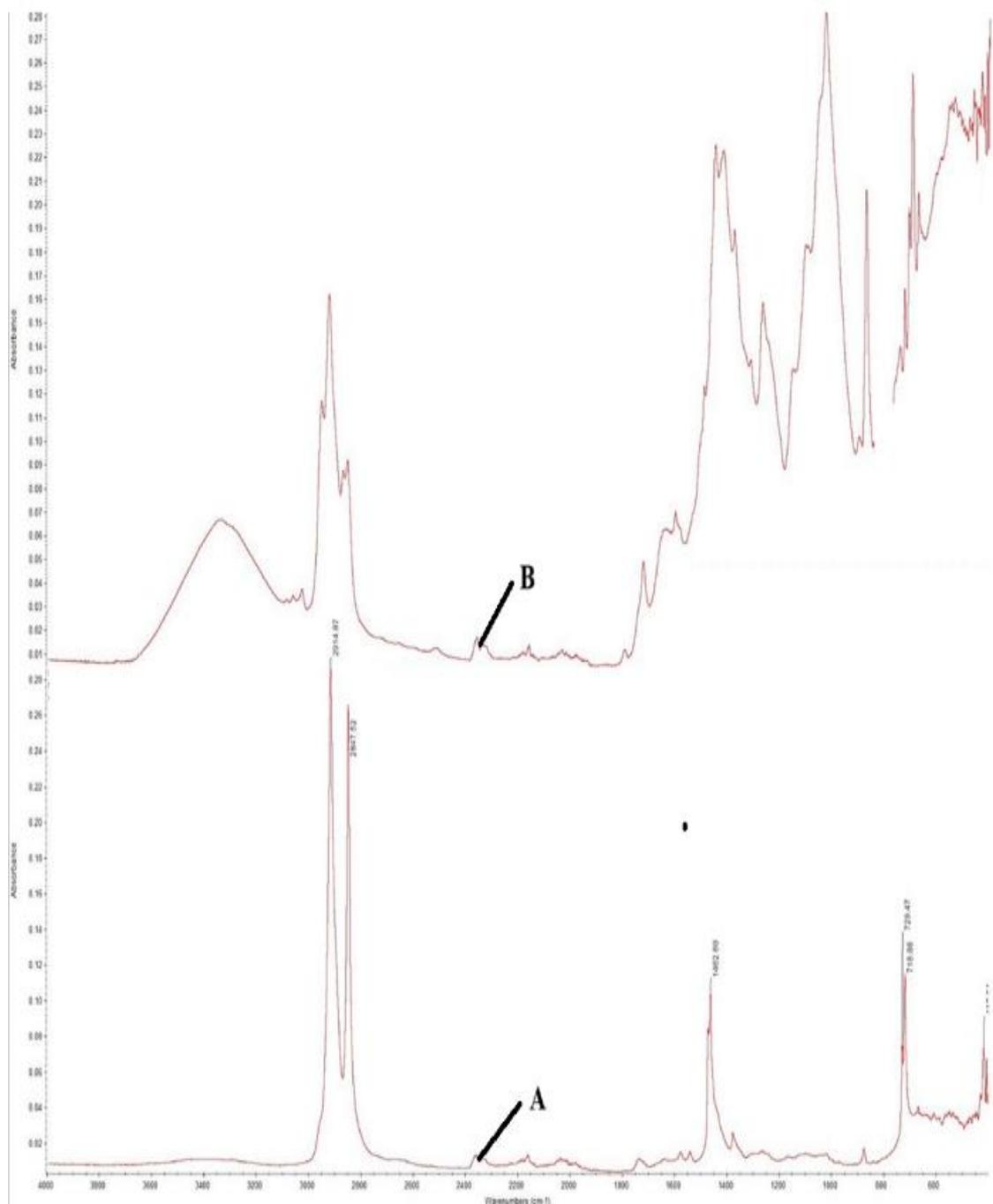


Рис. 3. ІЧ спектри модифікованої полімерної матриці (А) та зразка виготовленого по методу одночасної модифікації матриці і наповнювача (В)

Ефективність методу одночасної модифікації ДПК з синергетичною ефектом підтверджується випробуваннями лише на рівні діелектричних характеристик отриманих зразків, що видно з результатів дослідження. З результатів досліджень впливу модифікації ДПК на рівень стійкості до зовнішніх умов і рівень тангенсу кута діелектричних втрат  $\tan \delta$  виразно видно, що ефективне зв'язування вільної води в ДПК дозволяє підвищити комплекс діелектричних характеристик.

Таблиця 8

**Порівняльна характеристика зразків розроблених ДПК з одночасною модифікацією та інших зразків ДПК на грибостійкість згідно ДСТУ EN 14126:2008**

Зразок	Зразок контамінований дріжджоподібними грибами <i>Candida albicans</i> у концентрації $10^5$ КУО/см <sup>3</sup>	Зразок контамінований дріжджоподібними грибами <i>Candida albicans</i> . після зберігання зразка протягом 5 діб у сприятливих для зросту збудника умовах
Запропонований зразок № 4 з одночасною модифікацією	<i>Candida albicans</i> $10^5$	<i>Candida albicans</i> $10^5$
Запропонований зразок № 8 з модифікованим деревинним наповнювачем	<i>Candida albicans</i> $10^5$	<i>Candida albicans</i> $10^6$
Промисловий зразок ДПК	<i>Candida albicans</i> $10^5$	<i>Candida albicans</i> $10^7$
Зразок ДСП	<i>Candida albicans</i> $10^5$	<i>Candida albicans</i> $10^9$
Зразок OSB	<i>Candida albicans</i> $10^5$	<i>Candida albicans</i> $10^9$

### Висновки

Таким чином, аналіз накопиченого до цього часу наукового та виробничого досвіду та проблем при виготовленні, а також при використанні виробів з ДПК, свідчить про ефективність та переваги запропонованого складу ДПК і використання методу одночасної модифікації полімерної матриці та наповнювача, що дає синергійний ефект. В даній статті наведені огляд дослідження та розробки процесів одержання ДПК, з одночасною модифікацією полімерної матриці та деревинного наповнювача. Вивчені проблеми водопоглинання виробів з ДПК та методи їх визначення за допомогою діелектричних властивостей матеріалу. Визначено оптимальний склад модифікованої полімерної матриці ДПК та склад модифікованого деревинного наповнювача. Визначені параметри отримання виробів методом екструзії. Визначені причини розвитку грибних колоній, подальших руйнувань виробів з ДПК та методи запобігання негативного впливу. Досягнута мета утилізації відходів, які важко переробляються, методом рециклінгу в корисні для суспільства вироби.

### Список використаної літератури

1. Corrêa H.L. The War in Ukraine and Its Impact on Polymer Production and Supply in Russian Federation: First Impressions // *J Mod Polym Chem Mater*. 2022. No 1(2). P. 4. DOI: 10.53964/jmpcm.2022007.
2. Danchenko Y, Andronov V, Kariev A, Lebedev V., Rybka E., Meleshchenko R., Yavorska D. Research into surface properties of disperse fillers based on plant raw materials // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 5(12(89)). P. 20-26. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.111350
3. Danchenko Y., Kariev A., Andronov V., Cherkashina A., Lebedev V., Shkolnikova T., Burlutskiy O., Kosse A., Lutsenko Y., Yavorska D. A research of chemical nature and surface properties of plant disperse fillers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 1(6(103)). P. 32-41. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.193383
4. Danchenko Y, Kariev A, Lebedev V., Barabash E., Obizhenko T. Physic-Mechanical properties of composites based on secondary polypropylene and dispersed of plant waste // *Materials Science Forum*. 2020. № 1006. P. 227-232. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1006.227
5. Lebedev V., Tykhomyrova T., Miroshnichenko D., Filenko O., Kariev A., Grigorova T. Design and research of environmental friendly polymeric materials modified by humic substances // *AIP Conference Proceedings*. 2023. № 2684. P. 040014. DOI: 10.1063/5.0119925
6. Herasymenko V., Kariev A., Balandaieva L., Lebedev V., Vynohradov V. Construction composites based on secondary thermoplastics and manufacturing waste // *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2024. № 1376(1). P. 012011. DOI:10.1088/1755-1315/1376/1/012011
7. Yang H.S., Qiao P., Wolcott M.P. Fatigue characterization and reliability analysis of wood flour filled polypropylene composites // *Polym. Composite*. 2010. № 31(4). P. 553-560. DOI:10.1002/pc.20848
8. Benard C., Foix M., Grisel M. Effect of roughness and fiber reinforcement on the wettability of composite surfaces // *Appl Surf Sci*. 2007. № 253(10). P. 4753-4758. DOI:10.1016/j.apsusc.2006.10.049
9. Dominkovics Z., Dányádi L., Pukánszky B. Surface modification of wood flour and its effect on the properties of PP/wood composites // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2007. № 38(8). P. 1893-1901. DOI: 10.1016/j.compositesa.2007.04.001
10. Adji I.S., Zainudin E.S., Abdan K., Sapuan S., Khairul M. Mechanical Properties and Water Absorption Behavior of a Hybrid Composite of High-Density Polyethylene Reinforced with Kenaf/Pineapple Leaf Fiber // *Journal of Composite Materials*. 2013. № 47(8). P. 979-990. DOI:10.1177/0021998312444147

## References

1. The war in Ukraine and its impact on polymer production and supply in Russian Federation: first impressions. (2022). *Journal of Modern Polymer Chemistry and Materials*. <https://doi.org/10.53964/jmpcm.2022007>
2. Danchenko, Y., Andronov, V., Kariiev, A., Lebedev, V., Rybka, E., Meleshchenko, R., & Yavorska, D. (2017b). Research into surface properties of disperse fillers based on plant raw materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(12 (89)), 20–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.111350>
3. Danchenko, Y., Kariiev, A., Andronov, V., Cherkashina, A., Lebedev, V., Shkolnikova, T., Burlutskyi, O., Kosse, A., Lutsenko, Y., & Yavors'ka, D. (2020b). A research of chemical nature and surface properties of plant disperse fillers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(6 (103)), 32–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.193383>
4. Danchenko, Y., Kariiev, A., Lebedev, V., Barabash, E., & Obizhenko, T. (2020b). Physic-Mechanical Properties of Composites Based on Secondary Polypropylene and Dispersed of Plant Waste. *Materials Science Forum*, 1006, 227–232. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1006.227>
5. Lebedev, V., Tykhomyrova, T., Miroshnichenko, D., Filenko, O., Kariiev, A., & Grigorova, T. (2023). Design and research of environmental friendly polymeric materials modified by humic substances. *AIP Conference Proceedings*, 2684, 040014. <https://doi.org/10.1063/5.0119925>
6. Herasymenko, V., Kariiev, A., Balandaieva, L., Lebedev, V., & Vynohradov, V. (2024). Construction Composites Based on Secondary Thermoplastics and Manufacturing Waste. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 1376(1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1376/1/012011>
7. Yang, H., Qiao, P., & Wolcott, M. P. (2009). Fatigue characterization and reliability analysis of wood flour filled polypropylene composites. *Polymer Composites*, 31(4), 553–560. <https://doi.org/10.1002/pc.20848>
8. Bénard, Q., Fois, M., & Grisel, M. (2006). Roughness and fibre reinforcement effect onto wettability of composite surfaces. *Applied Surface Science*, 253(10), 4753–4758. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2006.10.049>
9. Dominkovics, Z., Dányádi, L., & Pukánszky, B. (2007). Surface modification of wood flour and its effect on the properties of PP/wood composites. *Composites Part A Applied Science and Manufacturing*, 38(8), 1893–1901. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2007.04.001>
10. Aji, I., Zainudin, E., Abdan, K., Sapuan, S., & Khairul, M. (2012). Mechanical properties and water absorption behavior of hybridized kenaf/pineapple leaf fibre-reinforced high-density polyethylene composite. *Journal of Composite Materials*, 47(8), 979–990. <https://doi.org/10.1177/0021998312444147>

*Дата першого надходження рукопису до видання: 14.11.2025*

*Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 11.12.2025*

*Дата публікації: 31.12.2025*