

## ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів  
дисертації

«Технології адитивного виробництва електропровідних полімерних  
композитів»

здобувача вищої освіти ступеня доктора філософії

Федоріва Тараса Романовича

за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія

(галузь знань 16 – Хімічна та біоінженерія).

Кафедра Хімічних технологій та ресурсозбереження

Київського національного університету технологій та дизайну

**Актуальність теми та її зв'язок із планами науково-дослідних робіт.**

Актуальність роботи обумовлена необхідністю покращення комплексу електричних, механічних, антипіренних та радіопоглинальних характеристик полімерних композитів, що використовуються в адитивних технологіях.

**Зв'язок теми дослідження з планами науково-дослідних робіт.**

Дисертаційні дослідження виконано в рамках ініціативної тематики «Розробка технології одержання композитних матеріалів спеціального призначення», державний реєстраційний номер 0123U100731 (01.2023-06.2027). Науковий керівник д.т.н., проф. Сова Надія Володимирівна. Також дослідження проводились за участі у виконанні госпдоговору № 1179 від 16.11.2022 – 10.11.2023 ТОВ "АЙ ДАБЛ-Ю ХОУМ" «Розробка технології виготовлення покриття спеціального призначення, що здатне відбивати електромагнітне випромінювання», а також госпдоговору №1187 від 30 листопада 2022 до 20.11.2023 ТОВ «КОМПАУНД ПОЛІМЕР УКРЕЙН» «Науково-технологічне консультування та розробка інноваційних технологій отримання функціональних полімерних композитів для адитивного виробництва».

**Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів.**

Здобувач самостійно провів дослідження науково-технічної літератури за темою технологій виробництва електропровідних композиційних матеріалів, самостійно зібрав та налаштував дослідне обладнання, розробив технологію виготовлення зразків та провів усі експериментальні дослідження. Усі результати вимірювань, представлені у дисертації, отримані безпосередньо здобувачем під час виконання дослідницької роботи. Весь аналіз та статистична обробка отриманих експериментальних даних виконувались особисто здобувачем, формулювання висновків відбувалось спільно з

науковим керівником. Формулювання науково-технічних гіпотез та постановка завдань дослідження також проводилась у співавторстві з науковим керівником. Внесок здобувача у проведенні досліджень, аналізі результатів і формулюванні висновків був вирішальним.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків, рекомендацій, які захищаються.**

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, представлених у дисертації, підтверджуються використанням загальноприйнятих і апробованих методів фундаментальних наук, коректно адаптованих до розв'язання поставлених прикладних задач у галузі електропровідних полімерних композитів. Всі експериментальні дослідження були виконані на сучасному обладнанні з використанням високоякісних і сертифікованих полімерних матеріалів від провідних виробників. Всі експериментальні дані піддавалися ретельній статистичній обробці, що підтверджує надійність висновків і дозволяє уникнути суб'єктивності у трактуванні отриманих результатів. Сформульовані рекомендації відповідають реальним умовам і потребам виробництва, а їх практична реалізація підтверджується опублікованими результатами у фахових наукових виданнях та матеріалах міжнародних конференцій. Таким чином, всі представлені наукові положення, висновки та рекомендації мають високий ступінь достовірності й адекватно відображають об'єктивну реальність.

**Основні результати дослідження, ступінь їх наукової новизни та значущості.**

Отримані в процесі дослідження наукові результати в сукупності дозволили розв'язати важливе науково-прикладне завдання зі створення нових, більш ефективних, електропровідних полімерних композиційних матеріалів для адитивного виробництва.

Основні положення, що визначають наукову новизну дисертаційної роботи, полягають у наступному:

1. Вперше було встановлено, що критичний вміст технічного вуглецю для утворення перколяційної структури в матриці термопластичного поліуретану (ТПУ) становить  $17 \pm 2$  %, тоді як у ПЕТГ — 20–23 %. У випадку вуглецевих нанотрубок критичний вміст у ТПУ становить  $4,5 \pm 0,7$  %, а в ПЕТГ — 6,0–6,8 %. Це свідчить про вищу здатність гнучкої матриці термопластичного поліуретану до орієнтації та фіксації провідних шляхів завдяки нижчій релаксаційній в'язкості, порівняно з ПЕТГ.

2. Вперше створено та досліджено електропровідні композиції на основі термопластичного поліуретану (ТПУ) та поліетилентерефталат-

гліколю (ПЕТГ) з вуглецевими нанотрубками, модифіковані декабромдифенілетаном. Виявлено, що додавання 20% декабромдифенілетану забезпечує зниження поверхневого опору композиту з 0,38 Ом/□ до 0,09 Ом/□, що зумовлює зростання провідності на 76 % а також дозволяє суттєво підвищити антипіренні властивості композицій. Для композицій на основі ПЕТГ аналогічне введення приводить до зниження поверхневого опору з 1,3 Ом/□ до 0,57 Ом/□ (56%). Така поведінка поєднання діелектричного та електропровідного наповнювача, ймовірно, свідчить саме про хімічний вплив галогенної природи діелектричного наповнювача на провідність ЕПК, адже за використання діелектричного карбонату кальцію за того ж вмісту наповнювача поверхневий опір зменшувався не більше ніж на 53%.

3. Встановлено, що введення 20% карбонільного заліза до складу ТПУ та ПЕТГ з вуглецевими нанотрубками забезпечує значне підвищення електропровідності композицій, знижуючи поверхневий опір до значень менше ніж 0,09 Ом/□, а об'ємний опір – до 6,9 Ом·м. Це зниження пов'язане з утворенням додаткових електропровідних містків між окремими нанотрубками завдяки частинкам карбонільного заліза, що забезпечує високий рівень електропровідності, а також підвищенням об'ємної концентрації вуглецевих нанотрубок у структурі полімерного композиту.

4. Виявлено анізотропію електричних властивостей при адитивному виробництві зразків із ТПУ та ПЕТГ з композитними наповнювачами на основі вуглецевих нанотрубок. Зразки, надруковані з орієнтацією шарів за схемою «0°/90°», демонструють зниження поверхневого опору до 35% порівняно зі зразками, надрукованими з однорідною орієнтацією шарів (0°). Це зумовлено особливостями формування електропровідних шляхів у тривимірній структурі, що значно підвищує провідність у декількох напрямках одночасно.

5. Виявлено наявність терморезистивного ефекту у досліджених електропровідних композитів з вуглецевими нанотрубками. Показано, що підвищення температури від 20 до 90 °С призводить до зростання поверхневого опору на 8-10%, а об'ємного опору – на 12-15%, що пов'язано з тепловим розширенням полімерної матриці та порушенням міжчасткових контактів наповнювачів. Зміна об'ємного опору на 1 °С становить у ТПУ-композитах у середньому 0,03–0,06 Ом·м/°С, тоді як у ПЕТГ-композитах цей показник досягає 0,07–0,09 Ом·м/°С. Ці результати важливі для прогнозування електропровідних характеристик композитів при різних температурах експлуатації.

6. Отримали подальший розвиток уявлення про можливості регулювання електропровідних, радіопоглинальних та механічних

властивостей полімерних композитів шляхом зміни щільності заповнення та типу внутрішньої структури виробів при адитивному виробництві. Виявлено, що найбільш раціональною для маскувальних виробів є комірчаста структура із щільністю лінійного заповнення близько 5%, яка дозволяє забезпечити зниження інтенсивності відбитого електромагнітного випромінювання на 12-14 дБ на частоті 10 ГГц.

### Практичне значення роботи

1. На основі результатів дослідження розроблено та реалізовано одноетапну технологію отримання електропровідних полімерних композитів, яка передбачає безперервне виготовлення філамента без додаткових проміжних стадій компаундування та грануляції. Показано, що така технологія дозволяє на 15-25% знизити питомий опір готових виробів порівняно з багатостадійною технологією шляхом зменшення кількості термічних циклів перероблення та, відповідно, зменшення деградації наповнювача й полімерної матриці.

2. Вперше продемонстровано ефективність застосування розроблених композитів як конструктивних елементів антен. Встановлено, що використання зразків із ТПУ, наповнених вуглецевими нанотрубками та карбонільним залізом, дозволяє знизити інтенсивність відбитого електромагнітного випромінювання на рівні 35-40 дБ у діапазоні частот 3-14 ГГц. Це відкриває перспективи їх використання у радіотехнічних пристроях із підвищеними вимогами до радіопоглинальних властивостей.

3. Запропоновано композиції на основі ВНТ з діелектричним наповнювачем, надруковані методом FFF-друку, що демонструють стабільний нагрів до 60–70 °С при подачі напруги 12 В, з мінімальним зміщенням електричного опору після 100 термоциклів (зміна на 3–4 %). Завдяки високій гнучкості, стабільності перколяційної структури та добрій адгезії до поверхонь, матеріал є перспективним для вбудованих підігрівальних рішень у літій-іонних елементах живлення.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес і освітньо-наукову діяльність кафедри хімічних технологій та ресурсозбереження. Вдосконалена методика вимірювання електропровідності полімерних композиційних матеріалів різних типів використана при проведенні лабораторних занять з дисциплін «Інноваційні полімерні матеріали», «Функціональні полімерні композити» та «Полімерні матеріали спеціального призначення» при підготовці студентів

Повнота викладення матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок у них автора.

Основні положення і результати дисертаційного дослідження відображено у 11 наукових роботах, з них 6 статей у наукових фахових виданнях України категорії Б. Наукові публікації відповідають вимогам п. 8, 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44).

1. Федорів Т., Слепцов О. Дослідження адитивного виробництва електропровідних полімерних композитів. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. 2025. № 351(3). С. 520-527. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-351-67>.

*Особистий внесок: постановка експерименту і визначення залежності між параметрами адитивного виробництва та електричними властивостями отриманих зразків; формулювання основних положень, підготовка до друку.*

2. Ящук Є. С., Сова Н. В., Слепцов О. О., Федорів Т. Р. Осауленко С. І. Повторна переробка співполімеру поліетилентерефталату в процесі адитивного виробництва. *Технології та інжиніринг*. 2022. № 5 (10). С. 80-87. DOI: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2022.5.8>.

*Особистий внесок: участь у проведенні експерименту щодо визначення залежності між технологічними параметрами адитивного виробництва та механічними властивостями зразків.*

3. Свістільнік Р. Ф., Федорів Т. Р. Вплив полімерних матриць на електричні властивості композитних покриттів. *Технології та інжиніринг*. 2023. № 5 (16). С. 115-122. DOI: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.5.10>.

*Особистий внесок: участь у проведенні експерименту щодо встановлення залежності між типом використаного базового полімеру та електричними властивостями композитних матеріалів, отриманих на їх основі; формулювання основних положень, підготовка до друку.*

4. Свістільнік Р. Ф., Федорів Т. Р., Савченко Б. М., Осауленко С. І. Розробка технології електропровідних гібридних композиційних покриттів. *Технології та інжиніринг*. 2022. № 4. С. 60-70. DOI: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2022.4.5>.

*Особистий внесок: участь у проведенні експерименту щодо встановлення електричних властивостей полімерних композитів за поєднання різних типів вуглецевих наповнювачів.*

5. Savchuk A., Fedoriv T. Determination of the influence of the thermostabilizer content on the cyclic processing of polyvinyl chloride. *Technology Audit and Production Reserves*. 2025. № 1 (81). P. 34–40. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.322887>.

*Особистий внесок:* виконання експериментальної частини дослідження щодо визначення впливу повторної термомеханічної переробки на механічні властивості полімерних матеріалів.

6. Савчук А. П., Федорів Т. Р. Дослідження процесів циклічної переробки ПВХ композитів. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2025. № 1 (287). С. 77-82. DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2025-287-1-77-82>.

*Особистий внесок:* визначення впливу повторної термомеханічної переробки на механічні властивості полімерних матеріалів, опрацювання експериментальних даних, підготовка статті до друку.

**Особистий внесок здобувача.** Здобувач самостійно провів дослідження науково-технічної літератури за темою технологій виробництва електропровідних композиційних матеріалів, самостійно зібрав та налаштував дослідне обладнання, розробив технологію виготовлення зразків та провів усі експериментальні дослідження. Усі результати вимірювань, представлені у дисертації, отримані безпосередньо здобувачем під час виконання дослідницької роботи. Весь аналіз та статистична обробка отриманих експериментальних даних виконувались особисто здобувачем, формулювання висновків відбувалось спільно з науковим керівником. Формулювання науково-технічних гіпотез та постановка завдань дослідження також проводилась у співавторстві з науковим керівником. Внесок здобувача у проведенні досліджень і аналізі результатів був вирішальним.

#### **Апробація результатів дослідження.**

Основні положення та результати дисертаційного дослідження були представлені та обговорені на наукових заходах різного рівня, а саме: X Ювілейна Міжнародна науково-практична інтернет-конференція здобувачів вищої освіти та молодих учених «Хімія та сучасні технології», 23-24 листопада 2021, Дніпро: ДВНЗ УДХТУ; XIII Міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС –2023), м. Чернігів, 25–26 травня 2023 р; Композиційні матеріали: XII Міжнародна науково-практична WEB-конференція, квітень 2023 р.; Освіта для сталого майбутнього: екологічні, технологічні, економічні і соціокультурні питання, м. Київ: КНУТД, 18 жовтня 2023 року; VI-й студентський сателітний регіональний симпозіум Міжнародного

Електрохімічного Товариства (ISE) «Перспективні матеріали та процеси в технічній електрохімії», м. Київ, 22 травня 2024 р.

### Оцінка мови та стилю дисертації.

Дисертація написана грамотно, а стиль викладу матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечують легкість і доступність їх сприйняття.

### Загальний висновок:

Вважати, що дисертаційна робота Федоріва Т.Р. «Технології адитивного виробництва електропровідних полімерних композитів», яка подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія, за актуальністю, ступенем новизни, науковим рівнем та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам п. 5-9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44), вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», та відповідає напряму освітньо-наукової програми Київського національного університету технологій та дизайну за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія.

Рекомендувати дисертаційну роботу Федоріва Тараса Романовича на тему «Технології адитивного виробництва електропровідних полімерних композитів», подану на здобуття ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія.

Завідувач кафедри хімічних технологій  
та ресурсозбереження  
д.т.н, професор

Вікторія ПЛАВАН



Підпис  
В. Плавана  
Засвідчую  
Від  
КАНЦ