

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

«Розробка технології адитивного виробництва полімерних композитів з регульованою теплопровідністю»

здобувача вищої освіти ступеня доктора філософії

Пушкарьова Дениса Вікторовича

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 в розробці низки нових композиційних матеріалів з регульованою теплопровідністю, що володіють цільовими механічними та функціональними характеристиками та є придатними для використання в адитивному виробництві.

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 Сова Н.В.. В ході роботи взято участь у виконанні госпдоговору №1187 від 30 листопада 2022 до 20.11.2023 ТОВ «КОМПАУНД ПОЛІМЕР ЮКРЕЙН» «Науково-технологічне консультування та розробка інноваційних технологій отримання функціональних полімерних композитів для адитивного виробництва».

Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів.

Здобувач особисто здійснив ґрунтовний огляд науково-технічних джерел із тематики виробництва електропровідних композиційних матеріалів, власноруч змонтував і відрегулював експериментальне устаткування, розробив методику одержання зразків і виконав увесь комплекс лабораторних випробувань. Усі дані, наведені у дисертаційній роботі, отримані та опрацьовані автором безпосередньо під час виконання дослідної програми. Формулювання висновків та статистична обробка експериментальних даних були здійснені здобувачем та погоджені з науковим керівником. Формулювання дослідницьких гіпотез і постановка завдань здійснювалися у співпраці з науковим керівником, проте вирішальний внесок у проведення експериментів і трактування результатів належить здобувачеві.

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 нетканих полімерних матеріалів спеціального призначення. Всі експериментальні дослідження були виконані на сучасному обладнанні з використанням високоякісних і сертифікованих полімерних матеріалів від провідних виробників. Достатній обсяг експериментальних даних забезпечений репрезентативною вибіркою матеріалів, кількість яких перевищує необхідний мінімум, рекомендований стандартами для статистично достовірних висновків. 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 полімерних композитів з регульованою теплопровідністю для застосування в технологіях адитивного виробництва.

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

1. Виявлено синергетичний ефект при введенні різних типів наповнювачів. Поєднання 50 % міді, 20 % графіту та 10–20 % двоокису титану, ймовірно, формує тривимірну теплопровідну мережу, що підвищує теплопровідність композиту до $1,93 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ — на 55 % вище, ніж у найефективніших мононаповнених систем, – що раніше не фіксувалося для PLA-матриць.
2. Доведено анізотропний характер теплопереносу, зумовлений орієнтацією шарів при адитивному виробництві полімерних композитів. Перехід від орієнтації 90° до 0° відносно напрямку теплового потоку збільшує теплопровідність з $1,03$ до $1,25 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ для композитів на основі PLA з алюмінієм, що ймовірно пов'язано з орієнтацією часток наповнювача вздовж напрямку екструзії струменя полімеру завдяки безперервності шарів, у той час як теплоємність і механічні характеристики залишаються незмінними у межах статистичної похибки.
3. Встановлено механізм впливу висоти шару на теплопровідність композитів. Зростання товщини шару з $0,1$ до $0,6 \text{ мм}$ зменшує кількість міжшарових інтерфейсів, що підвищує теплопровідність на 21–34 % та знижує анізотропію на 19–28 % без помітної втрати геометричної точності виробів.

4. Встановлено, що застосування програмного заповнення під час виготовлення виробу дозволяє регулювати теплопровідність структури, а застосування хімічного спінювання у поєднанні з програмним заповненням забезпечує рівень теплопровідності, типовий для ізоляційних матеріалів. Показано, що при зниженні густини до $0,15 \text{ г/см}^3$ питома теплоємність зростає до $3,35 \text{ Дж/(г}\cdot\text{K)}$ (збільшення на 64 %), тоді як теплопровідність зберігається нижче $0,07 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$, що вперше дозволяє прогнозувати теплофізичні параметри комірчастих структур за єдиним набором технологічних змінних.

Практичне значення роботи

1. Запропоновано технологію хімічного спінення, придатну для традиційного FFF-друку, яка забезпечує формування закритопористих PLA-структур густиною до $0,25 \text{ г/см}^3$ і теплопровідністю $0,08 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$. Розроблена технологія дає змогу виготовляти легкі теплоізоляційні вставки для побутових приладів і будівельних сендвіч-панелей, скорочуючи масу деталей у середньому на 60 %.

2. Встановлено, що технологія FFF використовує мононитку і має принципове обмеження щодо максимального ступеня наповнення та максимального значення теплопровідності виробів. Запропоновано застосовувати FGF технологію з використанням гранули полімерного композиту, що суттєво розширює межі теплопровідності отриманих виробів з можливістю отримувати великогабаритні вироби. Розроблено та успішно апробовано технологію двоетапного адитивного виробництва великогабаритних виробів.

3. Встановлено, що застосування композитів з теплопровідними наповнювачами та раціональних параметрів адитивного виробництва дозволяють досягти однакового рівня теплопровідності у виробах, отриманих литтям під тиском та технологією адитивного виробництва.

4. Створено полімерні композити з регульованою теплопровідністю ($0,08 - 1,93 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$), сумісні із типовими FFF-принтерами без конструктивних змін. Це дозволяє виробникам швидко переходити від ізоляційних виробів до тепловідвідних компонентів, варіюючи лише рецептуру наповнювачів і параметри друку, що мінімізує переналадження обладнання і знижує питомі витрати порівняно з традиційним литтям під тиском.

5. Модернізовано лабораторне обладнання та вдосконалено методику вимірювання теплопровідності. Зокрема, адаптовано та автоматизовано комірку для вимірювання теплофізичних властивостей полімерних композитних матеріалів.

Частина напрацьованих підходів підтвердила свою ефективність в ході виробничих випробувань і вже впроваджена на підприємстві ТОВ «Лемки Роботікс».

Результати дисертаційного дослідження впроваджені в освітню діяльність кафедри хімічних технологій та ресурсозбереження КНУТД, зокрема створене обладнання використовується при проведенні лабораторних

занять з дисциплін «Інноваційні полімерні матеріали», «Функціональні полімерні композити» та «Полімерні матеріали спеціального призначення» при підготовці студентів за спеціальністю 161 Хімічні технології та інженерія.

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

Основні положення і результати дисертаційного дослідження відображено у 9 наукових роботах, з них 5 статей у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у періодичному виданні, що входить до науково-метричної бази даних Scopus. 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. Пушкарьов Д.В., Слепцов О.О., Сова Н.В., Савченко Б.М.. Адитивні технології створення теплопровідних полімерних композитів. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2025. № 4 (290). С 48-56. DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2025-290-4-48-56>

Особистий внесок: постановка і проведення експерименту щодо встановлення впливу типу та вмісту наповнювача на теплофізичні властивості полімерних композитів. Модифіковано комірку вимірювання теплопровідності.

2. Kovalchuk O.V., Kovalchuk T.M., Harbovskiy Yu.A., Svistilnik R. F., Pushkarov D. V., Volokh L.V., Lagoda O.A., Oleinykova I.V. Dynamics of temperature dependence of the dielectric properties of a nanocomposite material based on linear polyethylene in the vicinity of the percolation transition. *Semiconductor Physics. Quantum Electronics and Optoelectronics (SPQEO)*. 2023. № 1 (26). P. 041-048.
DOI: <https://doi.org/10.15407/spqeo26.01.041>.

Особистий внесок: проведення аналізу літературних джерел та візуалізація результатів вимірювань.

3. Булгаков Є. С., Пушкарьов Д. В., Савченко Б. М., Сова Н. В., Слепцов О. О. Дослідження фізико-механічних властивостей нетканних матеріалів на основі полілактиду. *Технології та інжиніринг*. 2024. № 2. С. 96-105.
DOI: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.2.9>.

Особистий внесок: участь в проведенні експерименту з визначення відносного видовження та міцності при розриві матеріалів на основі полілактиду, опрацювання експериментальних даних.

4. Савчук Б. П., Пушкарьов Д. В. Способи переробки полімерних відходів. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2025. № 1 (287). С. 67-76. DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2025-287-1-67-76>.

Особистий внесок: участь у проведенні експерименту щодо визначення впливу повторної термомеханічної переробки полімерів на їх механічні

властивості, опрацювання експериментальних даних, формулювання висновків.

5. Булгаков Є. С., Савченко Б. М., Іскандаров Р. Ш., Свістільнік Р. Ф., Пушкарьов Д. В. Застосування біорозкладних полімерів при виготовленні нетканих фільтрувальних матеріалів. *Технології та інжиніринг*. 2023. № 3 (14). С. 60-70. DOI: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.3.4>

Особистий внесок: участь у проведенні експерименту щодо встановлення раціональних параметрів переробки полілактиду, опрацювання експериментальних даних.

6. Іскандаров Р. Ш., Слєпцов О. О., Пушкарьов Д. В., Осауленко С. І. Високонаповнені композити в технологіях полімерного пакування. *Технології та інжиніринг*. 2022. С. 26-36. DOI: <http://dx.doi.org/10.30857/2786-5371.2022.3.3>

Особистий внесок автора: розробка технології компаундування високонаповнених полімерних композиційних матеріалів на лабораторному обладнанні, підготовка статті до друку.

7. Савченко Б. М., Слєпцов О. О., Пушкарьов Д. В., Василенко В. М. Вплив параметрів 3d друку на теплопровідність полімерних композитів. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС –2023) : матеріали тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 25–26 травня 2023 р.) : у 2 т. Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2023. Т. 1. С. 335.

Особистий внесок: встановлення впливу орієнтації шарів при адитивному виробництві на теплофізичні властивості полімерних композитів, підготовка доповіді.

8. Савченко Б. М., Пушкарьов Д. В. Застосування технології адитивного виробництва у створенні теплопровідних полімерних композитів. Композиційні матеріали : монографія за матеріалами XII Міжнародної науково-практичної WEB-конференції (квітень 2023 р.) / укладач: Л. І. Мельник. Львів-Торунь : Liha-Pres, 2023. С. 37-41.

Особистий внесок: визначення перспектив використання технології адитивного виробництва для виготовлення теплопровідних полімерних композитів, підготовка доповіді.

9. Пушкарьов Д. В., Савченко Б. М., Сова Н. В. Створення біорозкладаних полімерних композитів на основі полібутиленадіпаттерефталату. Хімія та сучасні технології : тези доповідей X Ювілейної Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених, 23-24 листопада : у 6 т. Т. 2. Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2021. URL: <https://udhtu.edu.ua/studentskinaukovizahodu>.

Особистий внесок: дослідження можливості модифікації механічних властивостей полілактиду шляхом його компаундування з іншими полімерними матрицями, підготовка доповіді.

Апробація результатів дослідження.

Результати роботи доповідались і пройшли всебічне обговорення на науково-практичних конференціях: X Ювілейній Міжнародній науково-

практичній інтернет-конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених «Хімія та сучасні технології», 23-24 листопада 2021р., Дніпро: ДВНЗ УДХТУ; XII Міжнародній науково-практичній WEB-конференції «Композиційні матеріали», (квітень 2023 р., Львів); XIII Міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (КЗЯТПС –2023), м. Чернівці, 25–26 травня 2023 р.

Оцінка мови та стилю дисертації.

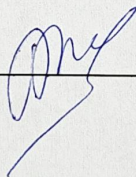
Дисертація написана грамотно, а стиль викладу в них матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує легкість і доступність їх сприйняття.

Загальний висновок:

Вважати, що дисертаційна робота Пушкарьова Д.В. «Розробка технології адитивного виробництва полімерних композитів з регульованою теплопровідністю», яка подана на здобуття ступеня доктора філософії, 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 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», та відповідає на пряму освітньо-наукової програми Київського національного університету технологій та дизайну за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія.

Рекомендувати дисертаційну роботу Пушкарьова Дениса Вікторовича на тему «Розробка технології адитивного виробництва полімерних композитів з регульованою теплопровідністю», подану на здобуття ступеня доктора філософії до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія.

Завідувач кафедри ХТР
д.т.н, проф



Вікторія ПЛАВАН

Підпис *Плаван Вікторія*
засвідчую
Зав. КАНЦ *[Signature]*

