

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Пушкарьова Дениса Вікторовича

на тему «Розробка технології адитивного виробництва полімерних композитів з

регульованою теплопровідністю»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія» за спеціальністю 161 «Хімічні

технології та інженерія»

Актуальність теми дисертації. Актуальність теми дисертаційної роботи Пушкарьова Дениса Вікторовича «Розробка технології адитивного виробництва полімерних композитів з регульованою теплопровідністю» є беззаперечною, оскільки вона інтегрує в собі провідні науково-технічні напрями сучасної матеріалознавчої науки — адитивне виробництво, функціональні композити, а також керування теплофізичними властивостями полімерних матеріалів. У світлі стрімкого розвитку електроніки, автономних систем, а також енергозберігаючих рішень, попит на конструкційні матеріали з точним контролем теплопровідності постійно зростає. Особливо гостро постає завдання розробки таких матеріалів у поєднанні з можливістю їх формоутворення методами адитивного виробництва, що забезпечує гнучкість, точність і швидкість виробництва.

Сучасні тенденції переходу до цифрового виробництва вимагають створення нових композицій для FFF/FGF-друку, зокрема на основі ABS та PLA, модифікованих теплопровідними та електропровідними наповнювачами — графітом, міддю, двоокисом титану тощо. Ці наповнювачі дозволяють керувати теплопереносом у виробках, що є критично важливим для виробництва корпусів електронних пристроїв, радіоекрануючих елементів, теплообмінників, датчиків і функціональних прототипів. Особливо актуальним є дослідження структури таких композитів з погляду перколяційних ефектів, оскільки саме просторовий розподіл наповнювачів, а не тільки їх об'ємна частка, визначає експлуатаційні властивості.

Таким чином, обрана тематика поєднує в собі фундаментальні наукові виклики — вивчення структурно-функціональної організації теплопровідних композитів — із прикладними завданнями підвищення технологічної безпеки, гнучкості виробництва та екологічної раціональності. Актуальність підтверджується також значною кількістю розроблених експериментальних зразків, наявністю апробації результатів у публікаціях та впровадженням на виробництві.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертаційної роботи Пушкарьова Дениса Вікторовича свідчить про їхню високу достовірність, новизну та відповідність актуальним тенденціям у галузі матеріалознавства та технологій адитивного виробництва. Здобувачем комплексно досліджено закономірності формування структури й властивостей полімерних композитів з регульованою теплопровідністю, що формуються методами адитивного виробництва та лиття під тиском, із використанням матриць на основі ABS та PLA та наповнювачів різної природи — графіту, двоокису титану, алюмінієвого порошку, заліза та мідного порошку.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у поєднанні структурно-функціонального підходу до створення матеріалів із керованими теплофізичними характеристиками та інноваційною технологічною реалізацією засобами адитивного виробництва. Вперше запропоновано ефективні рецептури теплопровідних композитів на основі ABS з одночасним введенням 30% графіту та 20% TiO_2 , що дозволило досягти підвищення теплопровідності до 0,48 Вт/м·К при збереженні прийняттого рівня міцності. Виявлено, що одночасне введення кількох наповнювачів із різними механізмами теплопереносу дозволяє реалізувати синергетичний ефект, що проявляється у підвищенні теплопровідності до 60% порівняно з мононаповненими аналогами.

Достовірність отриманих результатів забезпечена використанням широкого спектра експериментальних методик, включаючи механічні випробування, термогравіметричний аналіз, скануючу електронну мікроскопію, вимірювання теплопровідності за методом одностороннього нагріву. Використано як стандартизоване, так і самостійно зібране обладнання, зокрема модифікований FGF-екструдер для двоетапного друку теплопровідних композицій, що дозволило забезпечити відтворюваність і контроль параметрів друку. Надійність підтверджена також порівнянням результатів із літературними джерелами та власними референтними серіями зразків без наповнювачів.

Обґрунтованість наукових положень дисертації послідовно розкривається через експериментальну перевірку гіпотез щодо впливу складу, вмісту наповнювачів, розміру частинок, параметрів адитивного виробництва (висота шару, ширина екструзії, температура) на кінцеві властивості зразків. Проведено системний аналіз більше 50 композицій, що включали варіації матриці, типу та концентрації наповнювачів, а також режимів адитивного виробництва. Усі дослідження логічно структуровані, побудовані на експериментально підтверджених закономірностях та кількісних показниках з порівняннями не тільки між серіями, а й з існуючими промисловими матеріалами.

Таким чином, у дисертаційній роботі реалізовано повноцінний науковий цикл — від формулювання задач і гіпотез до розробки і валідації матеріалів з цільовими властивостями. Здобувач продемонстрував високу компетентність у сфері інженерії полімерів, володіння методологією прикладних досліджень та глибоке розуміння механізмів теплопереносу в композитах. Отримані результати є науково обґрунтованими, достовірними та такими, що мають як теоретичне, так і прикладне значення.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Пушкарьова Д.В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Хімічні технології та інженерія.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Хімічні технології та інженерія».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Пушкарьова Дениса Вікторовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Матеріал викладено послідовно та логічно, із чітким дотриманням структури наукової роботи: від постановки мети дослідження до формулювання висновків. Кожен розділ логічно впливає з попереднього, що сприяє цілісному сприйняттю інформації.

Стиль мовлення відповідає вимогам наукового стилю: використано об'єктивну, нейтральну лексику, уникається емоційність та суб'єктивні оцінки. Текст лаконічний, інформативний, з дотриманням норм академічної доброчесності.

Інформація подається доступною мовою, зрозумілою для фахівців відповідної галузі. Разом із тим, автор дотримується загальноприйнятої наукової термінології, що свідчить про професійний рівень викладення та орієнтацію на академічну аудиторію.

Використання ілюстративного матеріалу (таблиць, графіків, схем) додатково підсилює зміст тексту та робить його більш наочним. Обґрунтування гіпотез, аналіз результатів і формулювання висновків виконано чітко та аргументовано.

Загалом, текст відзначається високим рівнем академічної культури, науковою коректністю та стилістичною вираженістю.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації 272 сторінки.

У першому розділі дисертаційної роботи представлено всебічний огляд сучасного стану наукових досліджень у сфері створення полімерних композицій з керованою теплопровідністю для адитивного виробництва. Розглянуто ключові типи термопластичних матриць та їх особливості як основ для адитивного виробництва методом FFF/FGF, а також узагальнено властивості теплопровідних, електропровідних і діелектричних наповнювачів. Аналіз літератури охоплює питання формування перколяційної структури, синергетичних ефектів наповнювачів, впливу реологічних властивостей компаундів і режимів адитивного виробництва на теплофізичні та механічні характеристики виробів. Особливу увагу приділено технологічним аспектам реалізації матеріалів у контексті цифрового виробництва, імпортозаміщення та екологічної безпеки. На основі критичного аналізу джерел сформульовано актуальні науково-технічні завдання дослідження.

Другий розділ дисертації присвячено обґрунтуванню вибору полімерних матриць та функціональних наповнювачів, що використовувалися для створення композитів із регульованою теплопровідністю. Надано докладну характеристику сировинних компонентів, включно з марками матеріалів, їх основними фізико-хімічними властивостями та сумісністю з методами адитивного виробництва. Визначено оптимальні діапазони вмісту наповнювачів з урахуванням реологічної поведінки й функціонального призначення. У розділі також подано опис експериментальної бази та методів дослідження: механічних випробувань, вимірювання теплопровідності, щільності, мікроструктурного аналізу та параметрів адитивного виробництва.

У третьому розділі дисертаційної роботи наведено результати комплексних досліджень впливу типу полімерної матриці, природи наповнювачів та технологічних параметрів адитивного виробництва на теплофізичні й механічні властивості адитивно виготовлених композитів. Проаналізовано понад 50 рецептур композиційних матеріалів, виготовлених шляхом екструзії та FFF-друку. Встановлено закономірності зміни теплопровідності, міцності при розтягу, щільності та теплоємності залежно від складу та режимів виготовлення. Особливу увагу приділено аналізу впливу параметрів адитивного виробництва на структуру та властивості виробів. Результати досліджень дозволили виокремити найперспективніші композиції для подальшої модифікації й практичного застосування.

Четвертий розділ присвячено розробці композиційних матеріалів різного заповнення та дослідженню впливу густини теплопровідних полімерних

композитів на їх теплофізичні властивості. Також в розділі досліджується вплив поєднання різних типів діелектричних та електропровідних наповнювачів на теплофізичні властивості полімерних композитів, виготовлених шляхом адитивного виробництва.

У п'ятому розділі дисертаційної роботи наведено приклади практичного впровадження отриманих результатів, що підтверджують прикладну значущість досліджень. Представлено реалізацію двоетапної технології FGF-друку теплопровідних композицій з різними функціональними наповнювачами. Висвітлено досвід виготовлення виробів з цільовими властивостями — зокрема, корпусу електронного пристрою і рекуператора. Описано виробничі параметри, обладнання, а також технологічні схеми, реалізовані на базі ТОВ «Лемки Роботікс». Окрему увагу приділено питанням технологічної стабільності адитивного виробництва та відповідності готових виробів технічним вимогам. Показано також впровадження окремих елементів дисертаційної роботи в освітній процес та науково-дослідну діяльність кафедри хімічних технологій та ресурсозбереження.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 9 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 5 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України та 1 стаття у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку періодичних видань, що індексуються наукометричною базою даних Scopus. Також результати дисертації були апробовані на 3 наукових фахових конференціях.

Наукові публікації свідчать про високий рівень теоретичної підготовки, володіння сучасними методами дослідження та глибоке розуміння актуальних проблем у сфері хімічних технологій та інженерії. Тематика публікацій відповідає напряму дослідження та демонструє поступовий розвиток наукової думки, від постановки проблеми до практичної реалізації результатів.

У публікаціях простежується самостійність викладення матеріалу, аргументованість наукових висновків, коректне посилання на джерела інформації. Автор дотримується загальноприйнятої наукової термінології, чітко формулює мету та завдання досліджень, логічно структурує текст та обґрунтовує результати.

Здобувач дотримується принципів академічної доброчесності, зокрема, коректно використовує джерела та посилання на праці інших дослідників, не виявлено фактів плагіату або самоплагіату, дотримується етичних норм у поданні результатів.

Публікації охоплюють як фахові видання, так і матеріали конференцій, що підтверджує активну наукову діяльність та зацікавленість у професійному зростанні.

Загалом, науковий доробок здобувача характеризується високим рівнем академічної якості та повною відповідністю вимогам до наукових публікацій у вищій освіті та науці. Наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Недостатньо глибоко опрацьовано теоретичне обґрунтування теплопровідності композитів у контексті зміни геометричних параметрів друку. Емпіричні результати щодо впливу ширини та висоти шару на теплопровідність подано якісно, однак бракує математичного моделювання теплового переносу в умовах шаруватої структури та аналізу з точки зору класичної перколяційної теорії.
2. Опис реалізації FGF-друку потребує деталізації з точки зору точності, швидкості та стабільності процесу. У роботі подано параметри температур і екструзії, проте не проаналізовано точність геометрії виробів, якість меж між шарами, а також потенційні дефекти при друці композицій з високим вмістом наповнювачів.
3. Не в усіх серіях експериментів чітко відокремлено вплив складу композиції від впливу параметрів друку, що ускладнює формування висновків щодо домінуючого чинника у зміні властивостей.
4. Деякі графіки та таблиці варто було б подати з урахуванням статистичної обробки, зокрема помилок вимірювань та довірчих інтервалів, що підвищило б наукову переконливість висновків.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Пушкарьова Дениса Вікторовича на тему «Розробка технології адитивного виробництва полімерних композитів з регульованою теплопровідністю» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія».

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та

скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Пушкарьов Денис Вікторович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія» за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія».

Офіційний опонент:

Доцентка кафедри екологічного
менеджменту та підприємництва
Київського Національного
Університету імені Тараса
Шевченка
к.т.н., доц.

/  / Наталія БЕРЕЗНЕНКО

М.П.

« 15 » 07 2025 року

ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР НАЧ
КАРАУЛЬНА Н.В.
2025Р

