

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Федоріва Тараса Романовича

на тему «Технології адитивного виробництва електропровідних полімерних композитів»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

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

Актуальність теми дисертації. Дисертаційна робота Федоріва Тараса Романовича є актуальною з огляду на зростаючі вимоги до матеріалів, що використовуються в адитивному виробництві, зокрема до їх електропровідності, механічної міцності, вогнестійкості та здатності до радіопоглинання. У зв'язку з цим виникає потреба у створенні багатофункціональних полімерних композитів нового покоління, здатних поєднувати зазначені властивості у межах однієї структури. У роботі обґрунтовано та реалізовано підходи до розробки таких матеріалів, що відповідає сучасним тенденціям розвитку матеріалознавства та запитам промисловості.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна дисертаційної роботи Федоріва Тараса Романовича полягає у створенні та дослідженні нових електропровідних полімерних композитів, адаптованих до технологій адитивного виробництва. Вперше науково обґрунтовано та експериментально підтверджено доцільність використання гібридних наповнювачів — технічного вуглецю, вуглецевих нанотрубок, карбонільного заліза та декабромдифенілетану — у матрицях термопластичного поліуретану та поліетилентерефталатгліколю для отримання композитів з керованими електропровідними, антипіренними та радіопоглинальними властивостями. Зокрема, автором вперше встановлено критичні об'ємні концентрації наповнювачів, що забезпечують формування перколяційної сітки з різким зменшенням питомого поверхневого опору, та охарактеризовано анізотропію провідності залежно від орієнтації шарів під час адитивного виробництва. Вперше також досліджено терморезистивний ефект у таких композитах, що відкриває перспективи їх використання як елементів керованого нагріву або термочутливих конструкцій.

Достовірність отриманих результатів підтверджується застосуванням широкого спектра сертифікованих методик — від випробувань на розтяг до

вимірювання електропровідності за допомогою чотириточкового зонду та сканувального електронного мікроскопа для морфологічного аналізу. Дослідження виконано з використанням сучасного лабораторного обладнання, з дотриманням протоколів повторюваності, статистичної обробки та верифікації результатів, що гарантує високу точність і репрезентативність експериментальних даних.

Обґрунтованість результатів ґрунтується на логічній побудові роботи: від критичного огляду літератури та формулювання гіпотез — до створення філамента, його використання в процесах адитивного виробництва та глибокого аналізу структури, механічних, електричних і радіотехнічних характеристик готових виробів. Встановлені автором залежності між вмістом наповнювача, структурною організацією наповнювачів в полімерній матриці та кінцевими функціональними властивостями композитів демонструють високий рівень володіння методологією прикладного матеріалознавства та інженерної науки.

Таким чином, наукове завдання, поставлене у дисертаційній роботі, виконано повністю. Представлені результати є обґрунтованими, достовірними й мають суттєву наукову новизну та прикладне значення. Здобувач продемонстрував високу методологічну підготовку, інженерну компетентність та здатність до самостійного проведення наукових досліджень у галузі хімічних технологій.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Федоріва Т.Р. 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 Федоріва Тараса Романовича 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 254 сторінки.

У першому розділі дисертаційної роботи здійснено глибокий аналіз сучасного стану наукових досліджень у галузі створення електропровідних полімерних композитів для адитивного виробництва. Автор систематизував типи полімерних матриць, що використовуються в адитивних технологіях, зокрема термопластичний поліуретан і поліетилентерефталатгліколь, звертаючи увагу на їхні фізико-хімічні особливості, термостабільність, адгезію між шарами та реологічну поведінку в умовах екструзії. Окремо розглянуто широкий спектр функціональних наповнювачів, зокрема вуглецеві нанотрубки, технічний вуглець, графіт, карбонільне залізо, декабромдифенілетан, а також алюмієвий порошок. У фокусі огляду — механізми формування перколяційної структури, вплив дисперсності й морфології частинок на провідність і радіопоглинальні властивості матеріалів. Значну увагу приділено міжфазній взаємодії в системах «матриця–наповнювач» та її ролі у формуванні функціональних характеристик. У підсумку, на основі критичного огляду літератури автором обґрунтовано наукову гіпотезу щодо досягнення електропровідності та радіопоглинання за низьких концентрацій наповнювачів шляхом їх раціонального комбінування та орієнтації шарів у процесі друку. Також чітко виокремлено науково-технічні проблеми, зокрема відсутність систематизованих даних про вплив параметрів адитивного виробництва на анізотропію провідності, що й визначає актуальність подальших експериментальних досліджень.

У другому розділі дисертаційної роботи Федоріва Тараса Романовича докладно обґрунтовано вибір полімерних матриць, функціональних наповнювачів і технологічних підходів до створення електропровідних композитів для адитивного виробництва. Автор наводить технічні характеристики термопластичного поліуретану та поліетилентерефталатгліколю, які відзначаються хорошою технологічністю у FFF-друці, механічною гнучкістю та термостійкістю, що дозволяє досліджувати їх у контексті створення конструкційних електропровідних виробів. Значну увагу приділено вибору та комбінації наповнювачів. Методи дослідження побудовані на основі сучасних нормативних методик. Подано детальний опис експериментальної підготовки: сушіння компонентів, компаундування на двошнековому екструдері, формування філаменту на одношнековому екструдері, а також виготовлення зразків шляхом адитивного виробництва. Методики адаптовано до специфіки матеріалів і технологічних процесів, що дозволило отримати надійні, відтворювані результати. У підсумку, другий розділ демонструє високий рівень експериментальної культури здобувача та є надійною основою для інтерпретації подальших результатів дослідження.

У третьому розділі дисертаційної роботи представлено системне експериментальне дослідження впливу вмісту електропровідних наповнювачів на структуру та властивості полімерних композитів на основі ТПУ та ПЕТГ, виготовлених методами адитивного виробництва. Автором обґрунтовано вибір композицій та показано, що саме ці матеріали дозволяють ефективно формувати перколяційні провідні сітки у межах 3–20 мас. %, залежно від типу полімерної матриці. Здобувач дослідив, як орієнтація шарів, щільність заповнення та параметри адитивного виробництва впливають на показники електропровідності готових зразків. Таким чином, третій розділ є ґрунтовним аналітичним блоком дослідження, у якому встановлено кількісні залежності між концентрацією наповнювачів, параметрами адитивного виробництва, електричними та механічними властивостями композитів. Результати мають важливе значення для інженерії провідних полімерних матеріалів, що виготовляються методами адитивного виробництва.

У четвертому розділі представлено результати розробки електропровідних композиційних матеріалів спеціального призначення на основі термопластичного поліуретану, модифікованого низкою функціональних наповнювачів. Автор послідовно дослідив ефекти однокомпонентного та гібридного наповнення, виявивши, що комбіноване введення наноструктурованого вуглецю та металовмісних частинок дозволяє досягнути синергічного ефекту зниження поверхневого опору та підвищення радіопоглинальних властивостей у діапазоні НВЧ. Зафіксовано терморезистивний ефект у досліджених композиціях, що може бути

використано для створення нагрівальних та сенсорних елементів. Автором продемонстровано, що морфологічна структура наповнювачів, їх ступінь агрегації та розподіл у матриці суттєво впливають на електропровідність і стабільність провідної мережі при зміні температури. Значну увагу приділено морфологічному аналізу структури матеріалів методом сканувальної електронної мікроскопії, який підтвердив формування розгалужених і безперервних провідних шляхів у композитах з нанотрубками, а також локальне накопичення феритних частинок у багатокомпонентних системах.

У п'ятому розділі дисертаційної роботи наведено приклади практичної реалізації результатів дослідження, що підтверджує як прикладну цінність, так і технологічну зрілість розроблених матеріалів. Автор представив технологічні схеми формування електропровідних компаундів та філаментів для адитивного виробництва, адаптованих до умов малотоннажного виробництва. Розроблені матеріали пройшли апробацію в умовах дослідного виробництва: запропоновано використання модифікованого полімерного композиту як конструкційного матеріалу для корпусів електронних пристроїв. Окрему увагу приділено освітньо-науковому впровадженню: результати дисертаційного дослідження інтегровано в лабораторні заняття та спецкурси кафедри хімічних технологій та ресурсозбереження КНУТД.

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 11 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 6 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України. Також результати дисертації були апробовані на 5 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 напрямку дослідження та демонструє поступовий розвиток наукової думки, від постановки проблеми до практичної реалізації результатів.

У публікаціях простежується самостійність викладення матеріалу, аргументованість наукових висновків, коректне посилення 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 посилення 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. Механічні випробування обмежені тестами на розрив. Для повного уявлення про експлуатаційні характеристики доцільно було б додати аналіз опору стиску, багаторазового навантаження, ударної в'язкості тощо.
2. Не у всіх розділах є пояснення позначень зразків. У третій та четвертій частинах використано умовні позначення (наприклад, 91, 94, 51, 54), які не завжди супроводжуються розшифровкою, що ускладнює розуміння композицій без постійного звернення до таблиць.
3. В огляді літератури відсутній порівняльний аналіз сучасних провідних філаментів. Було б доцільно коротко охарактеризувати показники опору і функціональних властивостей комерційно доступних аналогів, щоб виразніше підкреслити переваги розроблених матеріалів.
4. Структура окремих підрозділів місцями перевантажена деталями. Зокрема, у підрозділі 3.2 перелік експериментальних даних іноді переважає над аналітичними узагальненнями, що створює труднощі при сприйнятті основних висновків — доцільно було б додати таблиці з інтегрованими результатами.

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 Федоріва Тараса Романовича на тему «Технології адитивного виробництва електропровідних полімерних композитів» 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 Федорів Тарас Романович 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.
2025

