

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 своєчасною та актуальною через зростання попиту на інноваційні матеріали з комплексом покращених характеристик для потреб адитивного виробництва. Проблематика підвищення електропровідності та захисту від електромагнітного випромінювання в поєднанні з високими механічними та антипіреними властивостями особливо актуальна для галузей із підвищеними вимогами до матеріалів, зокрема в оборонній, медичній та енергетичній сферах. Таким чином, тематика дисертації відповідає як сучасному стану науки, так і реальним потребам промисловості.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи Федоріва Тараса Романовича полягає в комплексній розробці технологій адитивного виробництва електропровідних полімерних композитів з покращеними електричними, механічними та радіопоглинальними характеристиками. Вперше обґрунтовано доцільність використання композицій на основі термопластичного поліуретану і поліетилентерефталатгліколю, модифікованих електропровідними наповнювачами різної природи — технічним вуглецем та вуглецевими нанотрубками, порошком алюмінію та залізом — для одержання матеріалів, придатних до застосування у адитивному виробництві методом FFF. Особливої наукової новизни набуває встановлення критичних об'ємних концентрацій наповнювачів, за яких спостерігається різке зниження

поверхневого електричного опору і об'ємного опору, що свідчить про утворення перколяційної провідної сітки.

Достовірність отриманих результатів забезпечується застосуванням сертифікованих методик дослідження механічних властивостей згідно ISO 527, електричних характеристик — за стандартами ІЕС, морфологічного аналізу із використанням електронної мікроскопії, а також вимірювання поверхневого й об'ємного опору сучасними омметрами. Результати досліджень супроводжуються статистичною обробкою, зокрема для встановлення залежностей між концентрацією наповнювачів і функціональними характеристиками, а також побудовою трендів, що корелюють із сучасними теоретичними моделями провідності в композитах.

Обґрунтованість наукових результатів підтверджується чіткою логікою структури дисертації, послідовністю виконання поставлених завдань і детальною аргументацією вибору матеріалів, наповнювачів і технологічних режимів переробки. Автором здійснено всебічний аналіз впливу складу композицій, способу їх формування та параметрів адитивного виробництва на кінцеві властивості матеріалів. Порівняння отриманих експериментальних результатів з аналогами, наведеними у вітчизняній і зарубіжній науковій літературі, підтверджує їх відповідність сучасному рівню наукових знань, а в окремих випадках — перевищує його, що є свідченням високої наукової цінності та оригінальності виконаної роботи.

Таким чином, усі поставлені в дисертаційній роботі наукові завдання виконано в повному обсязі, результати є достовірними, новими та добре обґрунтованими, а сам здобувач продемонстрував належний рівень володіння методологією наукових досліджень у галузі хімічних технологій та інженерії.

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 виваженістю.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації 254 сторінки.

У вступі обґрунтовано важливість обраної теми, її значення для науки та практики, наявність невирішених проблем у цій галузі.

Перший розділ дисертаційної роботи Федоріва Тараса Романовича містить комплексний аналітичний огляд сучасного стану досліджень і технологічних підходів до виготовлення електропровідних полімерних композитів для застосування в адитивних технологіях. Автором здійснено детальний аналіз існуючих методів адитивного виробництва, таких як екструзійне моделювання (FFF), друк гранулами (FGF), селективне лазерне спікання (SLS) та стереолітографія (SLA), із наголосом на особливостях формування електропровідних структур залежно від виду полімерної матриці та типу наповнювачів. Особливу увагу приділено питанням впливу наповнювачів, зокрема технічного вуглецю, вуглецевих нанотрубок, графіту, металів і алюмінієвого порошку, на електричні, механічні та функціональні властивості композитів. У розділі ґрунтовно розглянуто фізико-хімічні механізми формування перколяційних сіток, що визначають електропровідність матеріалів, та підходи до керування структурою композитів на різних етапах адитивного виробництва.

Другий розділ дисертаційної роботи має методичний та описовий характер і присвячений детальному представленню вихідних матеріалів, обраних для дослідження, та методів їхньої експериментальної оцінки. Автором наведено повні характеристики полімерних матриць, зокрема термопластичного поліуретану та поліетилентерефталатгліколю, а також представлені докладні характеристики застосованих електропровідних наповнювачів — технічного вуглецю, вуглецевих нанотрубок. Значну увагу приділено опису технологічних режимів отримання зразків композитів методами лиття під тиском та адитивного виробництва, включаючи параметри температурного режиму, швидкості екструзії, умови сушіння компонентів та особливості формування друкованих структур. Автор детально описує методики визначення електрофізичних, механічних та радіопоглинальних властивостей отриманих матеріалів, наголошуючи на використанні стандартизованих та авторських методик, що забезпечує високу точність і достовірність результатів.

Представлені методики статистичної обробки експериментальних даних підтверджують ретельність і системний підхід автора до проведення експериментальних досліджень. Використання сучасного обладнання та відповідність міжнародним стандартам додатково гарантують надійність отриманих результатів.

У третьому розділі дисертаційної роботи представлено комплексні результати експериментальних досліджень щодо розробки та формування електропровідних полімерних композитів з керованими властивостями для адитивного виробництва. Автором детально описано процес створення електропровідних композицій на основі термопластичного поліуретану та поліетилентерефталат-гліколю, модифікованих вуглецевими нанонаповнювачами. Проведені дослідження дозволили автору встановити критичні концентрації наповнювачів для формування перколяційних структур, визначити їх вплив на електричні та механічні властивості композицій, а також встановити особливості формування структур з анізотропними електричними характеристиками під час адитивного виробництва. Особливу увагу автор приділив дослідженню впливу технологічних параметрів FFF-друку (температура, швидкість друку, орієнтація шарів та параметри заповнення) на властивості кінцевих виробів. Встановлені закономірності дозволили створити науково обгрунтовані рекомендації щодо технологічних параметрів, які забезпечують необхідні функціональні характеристики готових матеріалів. Отримані результати мають вагоме науково-практичне значення, оскільки дозволяють отримувати вироби з чітко заданими електропровідними властивостями.

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячений модифікації функціональних властивостей електропровідних полімерних композитів, отриманих методами адитивного виробництва. Автором здійснено комплексні дослідження впливу гібридного наповнення, зокрема введення декабромдифенілетану, карбонільного заліза та комбінацій вуглецевих нанотрубок і технічного вуглецю, на електричні, механічні та радіопоглинальні властивості композиційних матеріалів на основі термопластичного поліуретану

та поліетилентерефталат-гліколю. Автором виявлено і кількісно оцінено анізотропію електричних властивостей залежно від орієнтації шарів у процесі адитивного формування, а також встановлено характер терморезистивного ефекту для досліджених композитів. Важливим результатом є обґрунтування оптимальної внутрішньої структури та параметрів заповнення для забезпечення високої ефективності поглинання електромагнітного випромінювання, що створює основу для подальшого впровадження розроблених композитів у спеціалізовані технічні застосування. Представлені у розділі результати мають значну теоретичну та практичну цінність і можуть бути використані для подальшого вдосконалення технологій виготовлення полімерних композитів зі спеціальними функціональними властивостями.

У п'ятому розділі дисертаційної роботи докладно описано практичне застосування та реалізацію одержаних наукових результатів. Автором представлено розроблену технологію одноетапного виготовлення електропровідних полімерних композитів, що дозволяє здійснювати безперервне отримання філамента без додаткових стадій гранулювання та компаундування, що сприяє зниженню питомого опору готових виробів завдяки скороченню кількості термічних циклів обробки. Особливу увагу приділено застосуванню створених електропровідних композицій у якості конструктивних елементів радіолокаційних антен, де було досягнуто суттєвого зниження інтенсивності відбитого електромагнітного випромінювання в діапазоні частот 3–14 ГГц. Також розглянуто використання розроблених композитів у якості гнучких нагрівальних елементів, що демонструють стабільні характеристики нагрівання при експлуатації у літій-іонних елементах живлення. В розділі наведено результати виробничих випробувань і впровадження технології на потужностях підприємства ТОВ «ВІПІДІ ХОЛДИНГ», підтверджено ефективність розроблених композицій та технологічних підходів. Крім того, отримані автором методики та обладнання знайшли застосування у навчальному процесі Київського національного університету технологій та дизайну, що додатково підкреслює значимість і практичну цінність результатів дисертаційної роботи.

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 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. Незважаючи на великий обсяг експериментальних даних, у розділі 3 місцями текст перевантажено числовими даними, частково бракує

узагальнювальних таблиць або схем, які б дозволяли швидко оцінити взаємозв'язок між технологічними параметрами друку та властивостями композитів.

2. У роботі не наведено числових або відсоткових значень результатів оцінювання похибок експериментальних досліджень.
3. У четвертому розділі, попри детальний аналіз ефектів наповнювачів, недостатньо уваги приділено аналізу тривалості збереження досягнутих функціональних властивостей композитів при тривалій експлуатації.
4. В роботі автор використовує аббревіатуру «FFF» замість загальноприйнятої FDM для позначення технології друку методом пошарового наплавлення (англійською fused deposition modeling) без пояснення.
5. У роботі недостатньо розкрито механізми взаємодії між різними типами наповнювачів у композиціях на мікрорівні, особливо у випадках гібридного наповнення (наприклад, карбонільне залізо з вуглецевими нанотрубками).

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:

Завідувач кафедри хімічного,
полімерного і силікатного
машинобудування
Інженерно-хімічного факультету
Національного технічного університету
України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»,
д.т.н., доц.



Олександр СОКОЛЬСЬКИЙ



«__» _____ 2025 року

