

ЗАТВЕРДЖУЮ



Проректор з наукової роботи

Національного університету

«Львівська політехніка»

д.т.н., проф.

Демидов І. В.

2025 р.

Висновок

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення
результатів дисертації «Основи технологій одержання полілактидних
композитів і виробів з них 3Д друком»
здобувача наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
161 *Хімічні технології та інженерія*
(галузь знань 16 *Хімічна інженерія та біоінженерія*)**

Кечура Дмитра

**наукового семінару кафедри хімічної технології переробки пластмас
Навчально-наукового інституту хімії та хімічних технологій**

1. Актуальність теми дисертації

Швидкий розвиток адитивних технологій, зокрема 3Д друку методом пошарового наплавлення, що забезпечує ефективну переробку полімерних матеріалів та виготовлення виробів зі складною геометрією, зумовив зростання потреби у створенні нових композиційних матеріалів із покращеними технологічними та експлуатаційними характеристиками. У зв'язку з цим, особливої актуальності набуває вдосконалення полімерної сировини з метою забезпечення високої якості друку, необхідних фізико-механічних властивостей та стабільності експлуатаційних показників готових виробів впродовж тривалого використання. Особливу увагу в цьому контексті привертають модифіковані матеріали на основі полілактиду — одного з найбільш поширених термопластичних полімерів для FDM друку, який характеризується порівняно низькою температурою плавлення, мінімальною усадкою, високою адгезією між

шарами та екологічністю. Водночас, для ПІА притаманні крихкість, низька теплостійкість, обмежені фізико-механічні властивості, а також чутливість до вологи й температури, що обумовлює необхідність його цілеспрямованої модифікації. Перспективним напрямом модифікації є використання натуральних, доступних і біосумісних модифікаторів, зокрема крохмалю, який має низьку вартість, біодеградабельність, вироблений з відновлювальної сировини, а також епоксидованої соєвої оливи, яка має пластифікуючі властивості. Поряд з цим, традиційний FDM друк має низку обмежень, пов'язаних із формуванням пористої структури, недостатніми міжшаровими зв'язками і обмеженими механічними характеристиками виробів. У зв'язку з цим, доцільним є застосування комбінованого підходу, що передбачає створення гібридних композитів поєднанням 3Д друкованої полімерної матриці із заповненням її внутрішнього каркасу модифікованими термореактивними смолами. Такий підхід дозволяє суттєво підвищити фізико-механічні характеристики виробів завдяки мінімізації структурних дефектів, оптимізації розподілу навантажень і посилення міжшарових зв'язків, що розширює потенційні можливості застосування адитивних технологій у конструкційній, медичній, транспортній та інших високотехнологічних галузях.

2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри

Тематика дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку кафедри хімічної технології переробки пластмас Національного університету «Львівська політехніка» - Теоретичні і прикладні аспекти одержання, модифікування, суміщення і переробки функціоналізованих (ко)полімерів, полімерних композитів, гідрогелів; розроблення технологій одержання виробів зі спеціальними властивостями.

Дисертація виконана в межах науково-дослідних робіт: «Основи технологій біосумісних термопластичних композитів із регульованою біодеградабельністю та виробів з них» (№ 0122U000953, 2022–2023 рр.) та «Високоадгезивні полімер-композитні покриття для захисту військової і

цивільної техніки та конструкцій» (№ 0124U000827, 2024–2026 рр.).

3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів полягає у здійсненні пошуку, огляду та аналізу науково-технічних джерел за тематикою дисертаційної роботи, опрацюванні методології досліджень і безпосереднє виконання експериментальних робіт. У співпраці з науковим керівником було сформульовано завдання дослідження, теоретично обґрунтовано методичні підходи та розроблено загальну концепцію і план проведення експериментів. Здійснено аналіз отриманих наукових даних, їх інтерпретацію, сформульовано остаточні висновки, а також підготовлено наукові публікації та доповіді.

4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій

Наукові положення, висновки та практичні рекомендації, викладені у дисертаційній роботі, мають наукове обґрунтування та підтверджені високим рівнем достовірності. Ця достовірність забезпечена системним поєднанням результатів теоретичних узагальнень і експериментальних досліджень, які були проведені з використанням сучасних, стандартизованих і апробованих методик, що відповідають вітчизняним і міжнародним нормам. Усі сформульовані висновки базуються на ретельно опрацьованих експериментальних даних, отриманих внаслідок серій дослідів та аналізу, що забезпечує високу наукову цінність і практичну значущість дослідження.

5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру:

- розроблено основи технологій модифікації полілактидних матеріалів, виготовлення філаменту та його використання для FDM 3D друку з урахуванням впливу складу й температурно-часових параметрів на морфологію й властивості матеріалів і виробів;
- обґрунтовано застосування крохмалю та ЕСО як технологічно сумісних модифікаторів, ефективних під час фізичного суміщення у в'язкотекучому стані. Результати фізико-хімічних досліджень обґрунтували доцільність

попереднього суміщення наповнювачів з ЕСО перед модифікацією полілактиду;

- виявлено, що компонентний склад і температурно-часові параметри мають вплив на підвищення технологічних властивостей: збільшення ІТР до 50-60 г/10 хв, зниження в'язкості розплаву та енергії активації течії, що сприяє підвищенню технологічності під час екструзії та FDM 3Д друку;

- відзначено, що полілактидні композити, модифіковані крохмалем, ЕСО та гідрофобізованим кальцій карбонатом завдяки направленому впливу раціональних технологічних умов і параметрів переробки, компонентного складу на морфологію композитів мають підвищені поверхневу твердість (до 15%), модуль пружності (на 10-15%), коефіцієнт структури (до 50-55%) і теплостійкість (на $\approx 70^{\circ}\text{C}$). Обґрунтовано доцільність використання розроблених крохмалєвмісних ІІІА композитів як філаментів для FDM-друку у виготовленні виробів спеціального призначення;

- встановлено вплив вмісту пластифікатора та умов модифікування на морфологію і фізико-механічні властивості епоксидних та поліуретанових компаундів. Відзначено ефективність додаткової термічної обробки протягом 2-х годин за 80°C модифікованих епоксидних композитів для підвищення поверхневої твердості та коефіцієнту структури;

- обґрунтовано доцільність використання комбінованих 3Д полілактидних виробів, що заповнені модифікованими термореактивними компаундами та поєднують властиві термореактивним матеріалам високі фізико-механічні та теплофізичні властивості з технологічністю термопластичної компоненти в процесі переробки та перевагами процесу 3Д друку.

6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

За матеріалами дисертації опубліковано 16 публікацій. З них 1 стаття у виданні, що входить до наукометричних баз Scopus та Web of Science, 6 статей, що входять до наукових фахових видань України, 1 розділ монографії, 7 тез

доповідей на українських та міжнародних конференціях; одержано 1 патент на корисну модель.

Статті у наукових періодичних виданнях іноземних держав та у виданнях України, що індексовані в міжнародних наукометричних базах даних (Scopus та Web of Science)

1. Masiuk A. S., Levytskyi V. Y., Kulish B.I., **Kechur D. I.**, Humenetskyi T. V., Bilyi L. M. Physicomechanical and Thermophysical Characteristics of Starch-Containing Polylactide Materials for 3D Printing. Material Science. - 2023. Vol. 58, - P. 554–559. doi.org/10.1007/s11003-023-00698-y. *Особистий внесок здобувача: проведення досліджень фізико-механічних властивостей розроблених матеріалів, участь в обговоренні результатів.*

Статті у наукових фахових виданнях України

2. Levytskyi V. Y., Masyuk A. S., Katruk D. S., Boyko M. V., **Kechur D. I.** Technological features of obtaining polylactide extrusion products. Chemistry, Technology and Application of Substances. – 2021. – Vol. 4, № 2. – P. 179–187. doi.org/10.23939/ctas2021.02.179 *Особистий внесок здобувача: проведення досліджень реологічних та теплофізичних властивостей розроблених полілактидних матеріалів, участь в обговоренні результатів.*

3. Масюк А. С., Левицький В. Є., **Кечур Д. І.**, Куліш Б. І., Катрук Д. С. Вплив кальцію карбонату на експлуатаційні властивості полілактидних композитів. Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2022. – Том 5, № 1. – С. 180–185. doi.org/10.23939/ctas2022.01.180 *Особистий внесок здобувача: одержання полілактидних композитів, проведення досліджень експлуатаційних властивостей розроблених матеріалів, участь в обговоренні результатів*

4. Левицький В. Є., Масюк А. С., **Кечур Д. І.**, Куліш Б. І., Тараненко. Б. П. Особливості переробки полілактидних композитів з використанням в 3D друці. Огляд. Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2022. – Том. 5, № 1. – С. 147–159. doi.org/10.23939/ctas2022.01.147 *Особистий внесок здобувача: опрацювання науково-технічної літератури щодо використання полілактидних композитів в 3Д друці.*

5. **Кечур Д. І.**, Масюк А. С., Левицький В. Є., Кисіль Д. Б., Чопик Н. В. Технологічні особливості одержання крохмальвмісних полілактидних матеріалів для 3D друку. Хімія, технологія речовин та їх застосування – 2023. – Том. 6, № 2. – С. 150–154. doi.org/10.23939/ctas2023.02.150. *Особистий внесок здобувача: виготовлення та підготовка зразків, проведення досліджень пружно-деформаційних властивостей розроблених матеріалів, участь в обговоренні результатів.*

6. Katruk D. S., Masyuk A. S., Krasinskyi V. V., Laruk Y., Levytskyi V. Y., **Kechur D. I.** The influence of various nature additions on the properties of epoxy resin EPOSIR F740. Chemistry, Technology and Application of Substances. – 2024. – Vol. 7, № 2. – P. 206–212. doi.org/10.23939/ctas2024.02.206 *Особистий внесок здобувача: формування зразків для випробувань, проведення дослідження експлуатаційних властивостей розроблених матеріалів, участь в обговоренні результатів.*

7. **Кечур Д. І.**, Масюк А. С., Катрук Д. С., Куліш-Пеленська Б. І., Левицький В. Є. Особливості структури і властивостей композитів на основі полілактидних 3Д матриць і поліуретану. Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2024. – Том. 7, № 2. – С. 213–218 doi.org/10.23939/ctas2024.02.213 *Особистий внесок здобувача: розроблення 3Д друкованих матриць та комбінованих композитів на їх основі заповнених поліуретановою смолою, проведення дослідження фізико-механічних та теплофізичних властивостей розроблених композитів, участь в обговоренні результатів.*

Розділ монографії

8. A. Masyuk, B. Kulish, K. Kysil, V. Levytskyi, D. Katruk, **D. Kechur.** Features of technology, morphology and properties of heat-resistant polylactide composites. Technological and design aspects of the processing of composites and nanocomposites. Vol.4: Collective Monograph – Kosice: Technical University of Kosice, 2021. – P. 259–279. *Особистий внесок здобувача: проведення дослідження теплофізичних властивостей полілактидних матеріалів, участь в обговоренні результатів.*

Тези доповідей та матеріали конференцій

9. **Кечур Д. І.**, Куліш Б. І., Сережко Є., Масюк А. С., Левицький В. Є. Крохмальвмісні полілактидні матеріали для 3D друку. XI Міжнародна науково-технічна конференція «Поступ в нафтогазопереробній та нафтохімічній промисловості»: матеріали конференції, 16–20 травня 2022 р. м. Львів : 2022. – С. 324. *Особистий внесок здобувача: участь у проведенні досліджень і обробці результатів.*

10. **Kechur D. I.**, Kulish B. I., Masyuk A. S., Levytskyi V. Y. Polymer silicate fillers as modifiers of the properties of thermoplastic and thermoset materials. XV Українська конференція з високомолекулярних сполук з міжнародною участю : матеріали конференції (25–27 жовтня 2022 року). – 2022. – С. 132–133. *Особистий внесок здобувача: участь у проведенні досліджень і обробці результатів.*

11. **Кечур Д. І.**, Масюк А. С., Левицький Б. В. Одержання та використання в 3Д друці полілактидних композитів наповнених крохмалем та тальком. Modern achievements in food, organic and polymer chemistry : book of abstract of the international scientific conference, dedicated to the bright memory of professor Stanislav Voronov, Lviv, October 24–26, 2023. – 2023. – С. 58. *Особистий внесок здобувача: участь у проведенні досліджень і обробці результатів.*

12. **Кечур Д. І.**, Катрук Д. С., Масюк А. С.. Особливості одержання 3д виробів на основі полілактиду та смол різної природи. XII Міжнародна науково-практична конференція “Modern problems of science, education and society”, 5-7.02.2024, Київ, Україна. - С. 215-218 *Особистий внесок здобувача: участь у проведенні досліджень і обробці результатів.*

13. Masyuk A., Kulish B., **Kechur D.**, Levytskyi V. Polylactide composites with calciumcontaining fillers. Nanomaterials: applications & properties : book of abstracts of the 2024 IEEE 14th International conference, Riga, Latvia, September 8–13, 2024. – 2024. – Р. 11. *Особистий внесок здобувача: участь у проведенні досліджень і обробці результатів.*

14. **Кечур Д. І.,** Кисіль Д. Б., Левицький В. В., Масюк А. С. Комбіновані композити на основі полілактидних FDM 3Д матриць. Перспективні полімерні матеріали та технології : збірник тез доповідей міжнародної науково-технічної конференції, Львів, 24–26 вересня 2024 р. – 2024. – С. 39–40. *Особистий внесок здобувача: участь у проведенні досліджень і обробці результатів.*

15. **Кечур Д. І.,** Масюк А. С., Левицький В. Є. Методи одержання і властивості полілактидних крохмальовмісних композитів. Поступ в нафтогазопереробній та нафтохімічній промисловості : матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції, Львів, 20–24 травня 2024 р. – 2024. – С. 195–196. *Особистий внесок здобувача: участь у проведенні досліджень і обробці результатів.*

Патент на корисну модель

16. Спосіб одержання модифікованого полілактидного матеріалу для 3D-друку: пат. UA158730 Україна, МПК C08L67/04, B33Y70/00, C08L3/02 / Левицький В. Є., Масюк А. С., Катрук Д. С., Кечур Д. І. ; заявл. 14.08.2024 ; опубл. 12.03.2025. Бюл. 11. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1845706/> *Особистий внесок здобувача: участь у проведенні досліджень і оформленні їх результатів.*

7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо

Результати досліджень дисертації обговорювалися та демонструвалися на українських та міжнародних конференціях; зокрема, XI Міжнародній науково-технічній конференції «Поступ в нафтогазопереробній та нафтохімічній промисловості» (Львів, 2022); XV Українській конференції з високомолекулярних сполук з міжнародною участю (Київ, 2022); Міжнародній науковій конференції Modern achievements in food, organic and polymer chemistry (Львів, 2023); XII Міжнародній науково-практичній конференції “Modern problems of science, education and society” (Київ, 2024); 14th International conference, Nanomaterials: applications & properties (Рига,

2024); Міжнародній науково-технічній конференції «Перспективні полімерні матеріали та технології» (Львів, 2024); XII Міжнародній науково-технічній конференції «Поступ в нафтогазопереробній та нафтохімічній промисловості» (Львів, 2024).

8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати

Виявлені закономірності модифікування полімерами та наповнювачами епоксидних й поліуретанових основ та особливості переробки полімерів 3Д друком впроваджено в навчальний процес для лабораторних та лекційних занять дисциплін «Технології перероблення пластичних мас і композитів» для студентів спеціальності 161 *Хімічні технології та інженерія* та «Дослідження і моделювання протезно-ортезних систем» для студентів спеціальності 163 *Біомедицина інженерія* Навчально-наукового інституту хімії та хімічних технологій Національного університету «Львівська політехніка» кафедри хімічної технології переробки пластмас. Одержані результати закономірностей впливу технологічних параметрів модифікування полімерних систем на їх морфологію використовувалися студентами в процесі виконання бакалаврських та магістерських робіт за спеціальністю 161 *Хімічні технології та інженерія*.

9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані

Результати досліджень, зокрема технологічність виготовлення розробленого полілактидного крохмальовмісного композиту і філаменту на його основі було підтверджено промисловими випробуваннями на ТОВ «Репласт» (Львівська область, Україна), а також можуть бути використані на Monofilament (Київ, Україна), 3Dplast (Вишгород, Україна), U3DF (Київ, Україна), 3Ddevice (Київ).

10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Дисертаційна робота складається з вступу, 6 розділів, висновків та списку використаної літератури. Матеріали дисертації викладені на 219 сторінках друкованого тексту, містять 69 рисунків, 29 таблиць, 183 посилання на роботи вітчизняних та зарубіжних авторів. Дисертація за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам МОН України.

У ході обговорення дисертації до неї не було висунуто жодних зауважень щодо самої суті роботи.

З урахуванням зазначеного, на науковому семінарі кафедри хімічної технології переробки пластмас Навчально-наукового інституту хімії та хімічних технологій ухвалили:

10.1. Дисертація Кечура Дмитра Ігоровича «Основи технологій одержання полілактидних композитів і виробів з них 3Д друком» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано конкретне наукове завдання: розроблено основи технологій одержання модифікованих полілактидних композитів з підвищеними експлуатаційними характеристиками і виробів з них, виготовлених FDM 3Д друком, що має важливе значення для галузі знань 16 *Хімічна інженерія та біоінженерія*.

10.2. Основні наукові положення, методичні розробки, висновки та практичні рекомендації, викладені у дисертаційній роботі, логічні, послідовні, аргументовані, достовірні, достатньо обґрунтовані. Дисертація характеризується єдністю змісту.

10.3. У 8 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, з них 6 статей у наукових фахових виданнях України; 1 стаття у виданні, що входить до наукометричних баз Scopus та Web of Science, 1 розділ в колективній монографії; отримано патент на корисну модель.

10.4. Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», 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, зі змінами).

10.5. Дисертація є результатом самостійних досліджень, не містить елементів фальсифікації, компіляції, плагіату та запозичень, що констатує відсутність порушення академічної доброчесності. Використання текстів інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

10.6. З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Кечура Д. І. дисертація «Основи технологій одержання полілактидних композитів і виробів з них 3Д друком» рекомендується для подання до захисту у спеціалізованій вченій раді.

За затвердження висновку проголосували:

за	-	шістнадцять
проти	-	немає
утримались	-	немає

Головуючий на науковому семінарі
кафедри ХТПП
директор ІХХТ, професор кафедри ХТПП
д.т.н., професор



Володимир СКОРОХОДА

Рецензенти:

д.т.н., проф., професор кафедри ХТПП



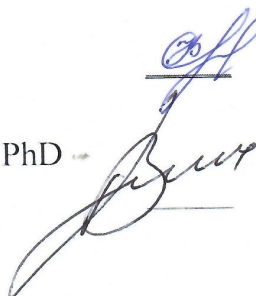
Олександр ГРИЦЕНКО

к.т.н., с.н.с., доцент кафедри ХТПП



Наталія СЕМЕНЮК

Відповідальний у ІХХТ за атестацію PhD
д.т.н., проф., зав. кафедри ХІ



Володимир АТАМАНЮК

"08" 05 2025 р..