



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Національного університету
«Львівська політехніка»

Іван ДЕМИДОВ

20 " червня 2024 р.

Висновок

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації «Нанокompозити з підвищеною вогнезахисною ефективністю для сенсорної електроніки» здобувача наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 171 Електроніка (галузь знань 17 Електроніка та телекомунікації)

Іллі ЖИДЕНКА

міжкафедрального наукового семінару Навчально-наукового Інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки

1. Актуальність теми дисертації

Пожежі, викликані займанням і горінням полімерних виробів, характеризуються низкою небезпечних аспектів, таких як інтенсивне підвищення температури, розтікання розплавлених матеріалів та краплепадіння, висока густина диму й токсичність продуктів розкладу та горіння. Значна кількість пожеж, пов'язаних з горінням полімерів, стосується житлових чи офісних споруд. Для зменшення ризиків, пов'язаних з горінням полімерів, необхідно розробляти нові матеріали з покращеними вогнезахисними властивостями. Одним з перспективних напрямків пошуку таких матеріалів є синтез нанокompозитних полімерів. Завдяки включенню нанотрубок у полімерну матрицю можна досягти значного підвищення термічної стабільності та зменшення швидкості горіння. Крім того, нанокompозити можуть значно знижувати токсичність продуктів горіння та утворення диму.

Нанокompозитні матеріали з підвищеною вогнезахисною ефективністю мають ключове значення і для розвитку сучасної сенсорної електроніки. Завдяки своїм унікальним властивостям, таким як вже згадана термічна стабільність та механічна міцність, нанокompозити на основі нанотрубок

розширяють функціональні можливості сенсорних пристроїв, що можуть ефективно реагувати на зміни в навколишньому середовищі. Робочий діапазон температур для таких сенсорів є ширшим, що є критичною перевагою при експлуатації у високотемпературних умовах або потенційно небезпечних середовищах.

Забезпечення вогнезахисних властивостей та поєднання цих властивостей із іншими експлуатаційними характеристиками у нанокompозитах дозволяє створювати матеріали, які не тільки виконують свої основні функції, але й зберігають свою структуру та функціональність при впливі високих температур або вогню. Таким чином, розробка нанокompозитів з підвищеною вогнезахисною ефективністю є актуальною науковою проблемою в контексті забезпечення надійності та безпеки сенсорної електроніки в екстремальних умовах.

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

Тема дисертації відповідає науковому напрямку кафедри електронної інженерії Національного університету «Львівська політехніка» «Розробка нових підходів до побудови засобів електронної техніки, методів моделювання та дослідження інноваційних технологій в електроніці, оптоелектроніці та сенсоріці». Дисертація частково виконана в межах науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України для молодих учених «Функціональні наноматеріали для адаптивного роботизованого інформаційно-вимірjuвального комплексу оборонного спрямування» (№ державної реєстрації 0119U100435, 2019-2021 рр.) та «Оптимізовані нанокompозити та сенсорні структури для оборонних систем контролю безпеки та виявлення загроз» (№ державної реєстрації 0116U004411, 2022-2024 рр.).

3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Основні результати роботи та положення, які відображають наукову новизну, одержано за безпосередньої участі автора, або автором самостійно. Особисто здобувачеві належать результати опрацювання імпедансних досліджень нанокompозитів, моделювання та опис експериментальних результатів, постановка експериментів, опрацювання та аналіз результатів дослідження електричних властивостей нанокompозитів, проведення чисельних розрахунків параметрів перколяції нанотрубок, імплементация моделі перколяції нанотрубок у діелектричній матриці, результати експериментальних досліджень електричного опору наноструктурованих полімерних шарів з нанотрубками, постановка та проведення температурних вимірювань. У всіх публікаціях здобувач самостійно проводив опрацювання результатів експериментальних досліджень, здійснював математичне моделювання та описував одержані результати. Усі висновки та положення,

які відображають суть дисертації, сформульовані автором самостійно на основі проведених досліджень та результатів комп'ютерного моделювання.

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

Експериментальні результати отримано, використовуючи спеціалізоване обладнання та програмне забезпечення. Чисельні результати отримано за допомогою перевірених та апробованих математичних методів, які базуються на фундаментальних законах математики й фізики. Експериментальні дослідження корелюють із проведеними теоретичними розрахунками та демонструють узгодженість із публікаціями інших авторів за даною тематикою.

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

Спрогнозовано електричні властивості полімерних нанокомпозитів та оптимальні параметри для досягнення перколяції з урахуванням геометрії нанотрубок, просторового розподілу нанотрубок і тунельного ефекту шляхом комп'ютерної симуляції перколяційних процесів на моделі нанокомпозиту. Показано, що при відстані тунелювання у межах 1,5-3 нм провідність нанокомпозиту досягає 50 См/м при об'ємній концентрації нанотрубок 2%. Збільшення відношення довжини нанотрубок до діаметра ≤ 120 , дозволяє досягнути провідності 90 См/м при концентрації не більшій за 0,05%.

Побудовано еквівалентну електричну схему заміщення на основі експериментальної імпедансної спектроскопії на ділянці частот від 100 Гц до 1 МГц, у якій ємність елемента постійної фази зростає від $1,86 \times 10^{-7}$ Ф для концентрації нанотрубок 0,5% та до $1,26 \times 10^{-6}$ Ф для концентрації нанотрубок 2,5%. Це зростання вказує на формування міжфазних зон, які сприяють збільшенню поляризаційної здатності матеріалу та проявляється у покращенні здатності нанокомпозиту до розсіювання тепла, що свідчить про їх вогнетривкість.

Встановлено, що одночасний вплив β -випромінювання з середньою енергією 0,17 МеВ та γ -випромінювання з середньою енергією 0,19 МеВ збільшує електричний опір нанокомпозитів на 2 кОм. Радіаційні дефекти, які створюються після поглинання дози випромінювання, призводять до створення рівнів захоплення, що вивільняються і дають внесок у електропровідність нанокомпозитів у межах температур 230–260 К.

Визначено, що ступінь диспергування нанотрубок у полімерній матриці відіграє значну роль у регулюванні вогнезахисної ефективності нанокомпозитів. Для теплового профілю зразків з часом диспергування нанотрубок 2 год характерною є пікова різниця температур у 55 °С, тоді як для

зразків з часом диспергування нанотрубок 1 год така різниця не перевищує 50 °С. На основі порівняльного аналізу динаміки передачі тепла оцінено, що збільшення часу диспергування на 1 год покращує вогнетривкість на 15%.

Встановлено вплив типу та концентрації нанотрубок з чистотою понад 95% на термічні характеристики полімерних нанокомпозитів. Оптимальний концентраційний діапазон для досягнення покращеної термічної стабільності та теплопровідності має межі 1,5-2,5%, а заміна одностінкових вуглецевих нанотрубок на багатостінкові при інших ідентичних умовах покращує вогнетривкість кінцевого нанокомпозиту орієнтовно на 25%.

6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

Основний зміст та висновки дисертації висвітлено у 25 наукових публікаціях, серед них 6 статей у наукових фахових виданнях України та інших держав, з них 3 статті у періодичних реферованих журналах, що входять до міжнародних наукометричних баз Web of Science і Scopus (квартилі Q1, Q3 та Q4) та 19 публікацій у матеріалах та збірниках доповідей наукових конференцій, з яких 5 індексуються у наукометричній базі Scopus.

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Zhydenko, I., Klym, H. (2022). Simulation of the tunneling conductivity in refractory nanotube/dielectric composite systems. *Electronics and information technologies*, 19, 26-37. <https://doi.org/10.30970/eli.19.2> *Особистий внесок здобувача: моделювання тунельної провідності у нанокомпозитах, наповнених нанотрубками, інтерпретація результатів, написання статті.*

2. Zhydenko I., Klym H. (2023). Radiation-induced alterations in the electrical characteristics of PEDOT:PSS/CNT nanocomposites. *Electronics and information technologies*, 23, 3-13. <http://dx.doi.org/10.30970/eli.23.1> *Особистий внесок здобувача: опрацювання результатів радіаційних досліджень наноструктурованих полімерних шарів з нанотрубками, участь у інтерпретації результатів, написання статті.*

3. Zhydenko I., Klym H. (2023). Simulating field-induced percolation in a three-dimensional array of straight nanotubes. *Electronics and information technologies*, 24, 3-12. <http://dx.doi.org/10.30970/eli.24.1> *Особистий внесок здобувача: розроблення моделі перколяції нанотрубок у діелектричній матриці, реалізація 3D моделювання, написання статті.*

Статті у наукових виданнях інших країн, що включені до наукометричної бази Scopus:

4. Karbovnyk, I., Klym, H., Chalyu, D., Zhydenko, I., & Lukashevych, D.

(2022). Impedance analysis of PEDOT:PSS/CNT composites below percolation threshold. *Applied Nanoscience*. 12(1), 1263-1266. <https://doi.org/10.1007/s13204-021-01810-x> *Особистий внесок здобувача: опрацювання результатів експериментальних досліджень, проведення імпедансного аналізу, обговорення одержаних результатів, підготовка статті до друку.*

5. Karbovnyk I., Klym H., Piskunov S., Popov A. A., Chalyu D., Zhydenko I., Lukashevych D. (2020). The impact of temperature on electrical properties of polymer-based nanocomposites. *Low Temperature Physics*, 2020, 46(12), p. 1231-1234. <https://doi.org/10.1063/10.0002479> *Особистий внесок здобувача: опрацювання результатів експериментальних досліджень електричних властивостей нанокмпозитів, обговорення одержаних результатів, підготовка статті до друку.*

6. Karbovnyk, I., Klym, H., Chalyu, D., Zhydenko, I., & Lukashevych, D. (2023). Low temperature electrical behavior of PEDOT: PSS polymer composites reinforced with single/multi-walled carbon nanotubes. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 756(1), 94-100. <https://doi.org/10.1080/15421406.2022.2115743> *Особистий внесок здобувача: участь у експериментах з низькотемпературних досліджень електричних властивостей нанокмпозитів, опрацювання результатів досліджень, обговорення одержаних результатів, підготовка статті до друку.*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Karbovnyk, I., Olenych, Y., Klym, H., Bolesta, I., Lukashevych, D., Chalyu, D., & Zhydenko, I. (2019). SEM and electrical studies of carbon nanotube reinforced PEDOT: PSS layers. 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 16-18 April 2019, Kyiv, Ukraine, 344-347. <http://dx.doi.org/10.1109/ELNANO.2019.8783638> *Особистий внесок здобувача: опрацювання результатів електричних досліджень, аналіз результатів мікроструктурних досліджень, обговорення одержаних результатів, апробація матеріалів на конференції.*

8. Karbovnyk, I., Klym, H., Lukashevych, D., Chalyu, D., & Zhydenko, I. (2020). Electrical behavior of single/multi-walled carbon nanotubes composites. 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 22-24 April 2020, Kyiv, Ukraine, 351-354. <http://dx.doi.org/10.1109/ELNANO50318.2020.9088783> *Особистий внесок здобувача: опрацювання результатів електричних досліджень, обговорення одержаних результатів, апробація матеріалів на конференції.*

9. Zhydenko, I., Klym, H., Karbovnyk, I., & Chalyu, D. (2022). Influence of radiation on the electrical properties of nanocomposites. 2022 IEEE 41st

International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 10-14 October 2022, Kyiv, Ukraine, 274-277. <http://dx.doi.org/10.1109/ELNANO54667.2022.9927074> *Особистий внесок здобувача: опрацювання результатів експериментальних досліджень електричного опору наноструктурованих полімерних шарів з нанотрубками, обговорення одержаних результатів, апробація матеріалів на конференції.*

10. Zhydenko, I., Klym, H., Chalyu, D., & Karbovnyk, I. (2022). Modeling of percolation effect in arrays of curved nanotubes. 2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 22-26 February 2022, Lviv-Slavske, Ukraine, 829-832. <http://dx.doi.org/10.1109/TCSET55632.2022.9767063> *Особистий внесок здобувача: моделювання перколяції у нанокompозитах наповнених нанотрубками, інтерпретація результатів, апробація матеріалів на конференції.*

11. Zhydenko, I., Klym, H., Chalyu, D., & Karbovnyk, I. (2023). Electrical and structural properties of PEDOT:PSS polymer matrices reinforced with carbon nanotubes. 2023 IEEE 13th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP), 10-15 September, Bratislava, Slovakia, NSS13-1-4. <http://dx.doi.org/10.1109/NAP59739.2023.10310870> *Особистий внесок здобувача: опрацювання результатів електричних досліджень, аналіз результатів структурних досліджень, обговорення одержаних результатів, апробація матеріалів на конференції.*

12. Karbovnyk, I., Lukashevych, D., Chalyu, D., Olenych, I., Klym, H., Zhydenko, I. (2019). Electrical and structural properties of PEDOT:PSS polymer composites reinforced with single/multi-walled carbon nanotubes. Abstracts of the International Research and Practice Conference “Nanotechnology and Nanomaterials” (NANO-2019), 27-30 August 2019, Lviv, Ukraine, 226. *Особистий внесок здобувача: опрацювання результатів електричних досліджень, аналіз результатів структурних досліджень, обговорення одержаних результатів, апробація матеріалів на конференції.*

13. Lykashevych, D., Zhydenko I., Chalyu, D. Karbovnyk, I., Klym, H. (2019). Study of electrical behavior of polymer-nanotubes composites. Abstracts of the Eighteenth Young Researchers' Conference Materials Science and Engineering, December 4-6, 2019, Belgrade, Serbia, 42. *Особистий внесок здобувача: опрацювання результатів електричних досліджень, обговорення одержаних результатів, апробація матеріалів на конференції.*

14. Karbovnyk, I. Klym, H., Chalyu, D., Zhydenko, I., Lukashevych, D. (2020). Single/multi-walled nanotubes composites studied at low temperatures. Proceedings of the Tenth International Conference “Relaxed, Nonlinear and Acoustic Optical Processes and Materials” dedicated to the memory of Oleh Parasyuk and Iwan Kityk

(RNAOPM-2020), Lutsk–Lake «Svityaz'», Ukraine, 25-29 June 2020, 71. *Особистий внесок здобувача: опрацювання результатів низькотемпературних досліджень електричних властивостей нанокompatитів, обговорення одержаних результатів, апробація матеріалів на конференції.*

15. Karbovnyk, I., Klym, H., Chalyu, D., Lukashevych, D., Zhydenko, I. (2020). Impedance analysis of PEDOT:PSS/CNT composites below percolation threshold. Abstracts of the International Research and Practice Conference “Nanotechnology and Nanomaterials” (NANO-2020), 26-29 August 2020, Lviv, Ukraine, 195. *Особистий внесок здобувача: опрацювання результатів експериментальних досліджень, проведення імпедансного аналізу, обговорення одержаних результатів, апробація матеріалів на конференції.*

16. Karbovnyk, I., Klym, H., Chalyu, D., Zhydenko, I., Lukashevych, D. (2021). Nanocomposite structures for radiation sensing and shielding. Abstracts of the International Research and Practice Conference “Nanotechnology and Nanomaterials” (NANO-2021), 25-27 August 2021, Lviv, Ukraine, 202. *Особистий внесок здобувача: опрацювання результатів експериментальних досліджень, обговорення одержаних результатів, апробація матеріалів на конференції.*

17. Zhydenko, I., Chalyu, D., Karbovnyk, I., Klym, H. (2022). PEDOT:PSS polymer matrices reinforced with carbon nanotubes: electrical and structural properties. Abstracts of the 10th International Research and Practice Conference “Nanotechnology and Nanomaterials” (NANO-2022), Lviv, Ukraine, 25-27 August, 2022, 220. *Особистий внесок здобувача: опрацювання результатів електричних досліджень, аналіз результатів структурних досліджень, обговорення одержаних результатів, апробація матеріалів на конференції.*

18. Zhydenko, I., Karbovnyk, I., Klym, H., Chalyu, D. (2022). Influence of frequency and temperature on electrical resistivity of polymer-based nanocomposites. Abstracts of the 10th International Research and Practice Conference “Nanotechnology and Nanomaterials” (NANO-2022), Lviv, Ukraine, 25-27 August, 2022, 221. *Особистий внесок здобувача: участь у постановці експериментів, опрацювання результатів експериментальних досліджень, обговорення одержаних результатів, апробація матеріалів на конференції.*

19. Karbovnyk, I., Zhydenko I., Chalyu D., Klym H. (2022). Structural and electrical study of PEDOT:PSS nanocomposites before and after irradiation. International Conference 2022 E-MRS Fall Meeting, Warsaw, Poland, 19-22 September, 2022. M.P.36. *Особистий внесок здобувача: опрацювання результатів дослідження радіаційних впливів на нанокompatити, обговорення одержаних результатів, апробація матеріалів на конференції.*

20. Zhydenko, I., Chalyu, D., Klym, H., Karbovnyk, I. (2022). Thermo-physical properties of epoxy resin reinforced by single-walled and multi-walled carbon nanotubes. Abstracts of the Twentieth Young Researchers' Conference - Materials Science and Engineering, November 30 – December 2, 2022, Belgrade, Serbia, 48. *Особистий внесок здобувача: постановка та проведення експериментальних дослідження термофізичних властивостей нанокмпозитів, опрацювання результаті та обговорення одержаних результатів, апробація матеріалів на конференції.*

21. Zhydenko, I., Klym, H. (2023). Impedance studies of PEDOT:PSS/CNTs nanocomposites. Abstracts of the Young scientist's conference on semiconductor physics «Lashkaryov's readings», April 4-5, 2023, Kyiv, Ukraine, 12. *Особистий внесок здобувача: опрацювання результатів експериментальних досліджень, проведення імпедансного аналізу, обговорення одержаних результатів, апробація матеріалів на конференції.*

22. Zhydenko, I., Klym, H., Karbovnyk, I., Chalyu, D. (2023). Enhancing the thermo-physical characteristics of epoxy resin through single- and multi-walled carbon nanotube reinforcement. International Research and Practice Conference "Nanotechnology and Nanomaterials" (NANO-2023), Bukovel, Ukraine, 16-19 August, 2023, 231. *Особистий внесок здобувача: постановка та проведення експериментальних дослідження термофізичних властивостей нанокмпозитів, опрацювання результаті та обговорення одержаних результатів, апробація матеріалів на конференції.*

23. Zhydenko, I., Klym, H., Karbovnyk, I., Chalyu, D. (2023). Simulating the formation of conductive networks in composites containing nanotubes. International Research and Practice Conference "Nanotechnology and Nanomaterials" (NANO-2023), Bukovel, Ukraine, 16-19 August, 2023, 236. *Особистий внесок здобувача: моделювання перколяції у нанокмпозитах наповнених нанотрубками, інтерпретація результатів, апробація матеріалів на конференції.*

24. Zhydenko, I., Klym, H., Karbovnyk, I., Chalyu, D. (2023). Enhanced thermo-physical properties of epoxy resin with carbon nanotube reinforcements. International Conference 2023 E-MRS Fall Meeting, Warsaw, Poland, 18-21 September, 2023, 24_1467. *Особистий внесок здобувача: постановка та проведення експериментальних дослідження термофізичних властивостей нанокмпозитів, опрацювання результаті та обговорення одержаних результатів, апробація матеріалів на конференції.*

25. Zhydenko, I., Klym, H. (2024). Parametric modelling of conductivity in percolating nanotube networks. Young scientists conference on semiconductor physics «Lashkaryov's readings-2024», 3-4 April, 2024, Kyiv, Ukraine, 45. *Особистий внесок здобувача: моделювання провідності у нанокмпозитах наповнених нанотрубками, інтерпретація результатів, апробація матеріалів*

на конференції.

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

Результати дисертації представлялися та обговорювалися на міжнародних і всеукраїнських конференціях та семінарах як в Україні, так і за кордоном: International Conferences on Electronics and Nanotechnology ELNANO (Kyiv, Ukraine, 2019, 2020, 2022), 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering TCSET (Lviv, Ukraine, 2022), 13th International Conference “Nanomaterials: Applications & Properties” NAP (Bratislava, Slovakia, 2023), International Research and Practice Conferences “Nanotechnology and Nanomaterials” NANO (Lviv, Ukraine, 2019, 2020; 2021, 2022; Bukovel, Ukraine, 2023), Young Researchers’ Conference - Materials Science and Engineering (Belgrade, Serbia, 2019, 2022), International Conference E-MRS Fall Meeting (Warsaw, Poland, 2023), 10th International Conference “Relaxed, Nonlinear and Acoustic Optical Processes and Materials” dedicated to the memory of Oleh Parasyuk and Iwan Kityk RNAOPM-2020 (Lutsk–Lake «Svityaz'», Ukraine, 2020), Young Scientists Conferences on Semiconductor Physics «Lashkaryov’s readings» (Kyiv, Ukraine, 2023, 2024).

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

Наукові та практичні результати роботи були впроваджені у навчальний процес для викладання дисципліни «Спеціалізовані мікро- наносенсорні системи» для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр», що навчаються за спеціальністю 123 *Комп’ютерна інженерія*, дисципліни «Сучасні нанотехнології в електроніці» для аспірантів, що навчаються за спеціальністю 123 *Комп’ютерна інженерія*, а також у науково-дослідну роботу для молодих вчених «Оптимізовані нанокompозити та сенсорні структури для оборонних систем контролю безпеки та виявлення загроз».

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

Одержані результати містять відомості про технологію і умови отримання, особливості структурної інженерії та пов’язане з цим покращення вогнестійких властивостей нанокompозитів, що може бути використано для розробки нових матеріалів з підвищеною вогнезахисною ефективністю. Нанокompозити з контрольованою електропровідністю та чутливістю до зовнішніх фізичних полів дозволяють створювати сенсорні системи нового

покоління, здатні до самодіагностики свого функціонального стану та адаптивні до змін у навколишньому середовищі. Розроблені моделі для комп'ютерної симуляції електропровідності та перколяційних процесів у нанокompозитах зменшують час, необхідний для прогнозування та властивостей нових матеріалів, забезпечуючи швидше впровадження інноваційних матеріалів у виробництво. Напрацьована методика аналізу температурних профілів є корисною для інженерів, які займаються розробкою нових багатофункціональних матеріалів для протипожежного захисту. Одержані результати можуть також застосовуватися для розроблення активних елементів сенсорів та захисних покриттів на військових підприємствах.

10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Дисертація складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Дисертацію написано українською мовою, на хорошому стилістичному рівні у доступній для сприйняття та розуміння формі. Тема, зміст та одержані наукові результати відповідають спеціальності 171 *Електроніка*, галузі знань 17 *Електроніка та телекомунікації*. 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.

1.3 урахуванням зазначеного, на міжкафедральному науковому семінарі Навчально-наукового Інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки ухвалили:

11.1. Дисертація Жиденка Іллі Володимировича «Нанокompозити з підвищеною вогнезахисною ефективністю для сенсорної електроніки» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано конкретне наукове завдання з експериментального дослідження та моделювання нанокompозитів з підвищеною вогнезахисною ефективністю для сенсорної електроніки, що має важливе значення для галузі знань 17 *Електроніка та телекомунікації*.

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

11.3. У 25 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, з них 3 статті у наукових фахових виданнях України, 3 статті у наукових періодичних виданнях інших держав, які входять до міжнародних наукометричних баз; 19 тез доповідей наукових конференцій.

11.4. 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).

11.5. 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.

11.6. З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Жиденка І.В. дисертація «Наноккомпозити з підвищеною вогнезахисною ефективністю для сенсорної електроніки» рекомендується для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді.

За затвердження висновку проголосували:

за	-	16 (шістнадцять)
проти	-	(немає)
утримались	-	(немає)

Головуючий на
міжкафедральному науковому
семінарі ІТРЕ,
зав. кафедри ЕЛІ,
д.т.н., професор



Ірина ЯРЕМЧУК

Рецензенти:

д.ф.-м.н., професор,
професор кафедри ЕЛІ



Зіновій МИКИТЮК

д.т.н., доцент,
професор кафедри МІМ



Володимир КУЛИК

Відповідальний у ІТРЕ
за атестацію PhD
д.т.н., доц.



Микола БЕШЛЕЙ

"12" червня 2024 р.