

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

Хобзея Миколи Михайловича

«Метаструктури із паралельних провідників для систем провідного

та безпроводного передавання електромагнітних сигналів»,

на здобуття ступеня доктора філософії

з галузі знань 17 – Електроніка та телекомунікації

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

1. Обґрунтування вибору теми дослідження та її зв'язок із планами наукових робіт Університету.

Вибір теми дослідження зумовлений швидким розвитком сучасних технологій, які ставлять перед інженерами нові виклики, зокрема пов'язані зі значним зростанням інформаційного трафіку. У наш час цей процес безпосередньо залежить від ефективності пристроїв прийому та передавання, що вимагає розширення спектру робочих частот. Проте часто це обмежується певними стандартами та фізичними лімітами, що визначає необхідність пошуку нових рішень для подолання таких обмежень. Один із можливих шляхів вирішення цієї проблеми полягає в застосуванні метаматеріалів, зокрема структур із паралельних провідників. Вони дозволяють ефективно керувати електромагнітними хвилями, відкриваючи нові можливості для радіотехнічних та телекомунікаційних технологій, а також приладів медичної діагностики.

Метою дисертаційної роботи є розроблення та практична реалізація функціональних модулів систем провідного та безпроводного передавання електромагнітних (ЕМ) сигналів шляхом використання структур із паралельних провідників (СПП), що дозволяє покращити характеристики приймально-передавального тракту в широкому діапазоні частот з можливістю їх параметричної ідентифікації.

Для досягнення поставленої мети визначено наступні **завдання**:

- Провести аналіз сучасних літературних джерел щодо розроблення пристроїв передавання ЕМ сигналів, неперервних та растрових зображень через СПП у вузькому та широкому діапазонах частот, ознайомитися з основними властивостями та характеристиками процесів випромінювання антен, модифікованих з використанням метаструктур;
- Розробити імітаційну модель структури хвилеводу на основі СПП (ендоскопу), провести моделювання й аналіз процесів передавання ЕМ сигналів та визначити основні параметри й характеристики для розроблення експериментального макету;
- Розробити експериментальний макет хвилеводу на основі СПП із визначеними параметрами, провести експериментальні дослідження передавання ЕМ сигналів через структуру, здійснити аналіз прийнятих сигналів та оцінити робочу смугу частот;
- Виконати експериментальні дослідження формування та передавання растрових зображень через розроблений хвилевід на основі СПП у робочій смузі частот, підтвердити його широкосмугові властивості в діапазонах частот суб-ГГц/ГГц та суб-ТГц;
- Розробити імітаційну модель широкосмугової прийомо-передавальної антени шляхом розміщення СПП в хвилеводі. Провести моделювання процесів випромінювання ЕМ хвиль, проаналізувати коефіцієнти відбивання S_{11} та діаграми спрямованості;

- Розробити експериментальні макети СПП із різним значенням коефіцієнта заповнення металом та провести вимірювання частотних залежностей коефіцієнтів відбивання S_{11} ;
- Провести імітаційне моделювання та експериментальні дослідження розробленої СПП з керованими в часі характеристиками, зокрема керування значенням резонансної частоти через механічну модуляцію – стиснення/розтягнення структури одночасно чи окремо вздовж двох осей;
- Здійснити імітаційне моделювання та експериментальні дослідження можливості віддаленого детектування рівня стиснення/розтягнення на основі визначення ефективної площі розсіювання (ЕПР) СПП.

Предмет дослідження: імітаційні моделі та експериментальні макети СПП, що функціонують у широкій смузі діапазонів частот суб-ГГц/ГГц та суб-ТГц, а також СПП з варіативними та контрольованими характеристиками.

Об'єкт дослідження: процеси передавання та приймання гармонічних та широкосмугових сигналів через СПП у широкій смузі діапазонів частот суб-ГГц/ГГц та суб-ТГц.

Дисертаційна робота виконувалася відповідно до тематики наукових досліджень кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки в межах науково-дослідної роботи «Методи формування сигнальних конструкцій та інформаційні процеси програмно-апаратної взаємодії широкосмугових телекомунікаційних систем та Інтернету речей» (Держ. реєстр. №0121U112870, 2021-2025 рр.).

Дослідження, які представлені в дисертаційній роботі, також виконувалися в рамках таких науково-технічних проєктів та науково-дослідних робіт:

- Науково-дослідна робота за грантом Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича для молодих вчених «Розроблення багатоканального хвильоводу на основі метаструктури із паралельних провідників з можливістю передавання растрових зображень у широкому діапазоні частот» (наказ ректора від 15.09.2021 р. №298 «Про результати конкурсу грантів ЧНУ для молодих науковців», 2021 р.);
- Проєкт науково-технічної (експериментальної) розробки молодих вчених «Портативний комплекс для наземного аерозондування вибухових закладок» (Держ. реєстр. №0123U100679, 2023-2025 рр.);
- Проєкт науково-технічної (експериментальної) розробки молодих вчених «Розроблення апаратно-програмних засобів виявлення вибухових та наркотичних речовин на основі методу ядерного квадрупольного резонансу» (Держ. реєстр. № 0120U101249, 2020-2022 рр.);
- Науково-дослідна робота за грантом Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича для молодих вчених «Керований в часі просторовий фільтр електромагнітних хвиль на основі кодованої метаповерхні» (наказ ректора від 31.10.2022 р. №301 «Про результати конкурсу грантів ЧНУ для молодих науковців», 2022 р.);
- Науково-дослідна робота «Розробка комп'ютерних моделей планарних антен Уда-Ягі для бездротових систем зв'язку» (замовник – ПП «АРТОН», договір №18.000, 2024 р.).

2. Формулювання наукового завдання, нове розв'язання якого отримано в дисертації.

Наукове завдання, що розв'язується в дисертаційній роботі Хобзея М.М., полягає у розробленні та практичній реалізації імітаційних моделей та експериментальних макетів

модулів систем провідного та безпроводного передавання ЕМ сигналів шляхом використання СПП.

3. Наукові положення, розроблені особисто дисертантом, та їх новизна.

При виконанні дисертаційної роботи отримано такі пункти наукової новизни:

- **Вперше** запропоновано та експериментально підтверджено методику представлення СПП у вигляді оптично довгого ендоскопу для передавання растрових зображень у широкому суб-ГГц/ГГц ($0,3 - 4$ ГГц) та суб-ТГц ($0,1 - 1$ ТГц) діапазонах частот шляхом дискретизації СПП на елементарні комірки (ЕК) масиву хвилеводів, апертури яких можна розглядати як окремі пікселі розмірами $2a \times 2a$, де a – відстань між провідниками. Це уможливило досягнення роздільної здатності менше ніж $0,26\lambda$ для суб-ГГц/ГГц діапазону частот та менше ніж $0,13\lambda$ для суб-ТГц діапазону частот при передаванні енергії ЕМ коливань від окремих незалежних джерел;
- **Набув подальшого розвитку** та експериментально підтверджено метод відновлення зображення на приймальній стороні СПП, який полягає в оцифруванні зображення, що детектувалося на приймальній апертурі, шляхом застосування порогового значення, автоматично визначеного за допомогою методу Оцу. Ефективність методу перевірена шляхом оцінювання помилково відновлених бітів растрового зображення на основі розрахунку спектру значень коефіцієнта бітових помилок та доведено ефективну сталість відновлення при значеннях відношення сигнал/шум більше ніж 20 дБ;
- **Вперше** запропоновано та експериментально підтверджено метод контролю значень частот резонансів Фабрі-Перо (від 1,138 ГГц до 1,178 ГГц) та їх частотної смуги (від 40 МГц до 80 МГц) шляхом зміни радіусу провідників СПП та періоду їх розташування, при цьому значення коефіцієнта заповнення металом змінювались у діапазоні від $3,14 \times 10^{-6}$ до $3,14 \times 10^{-2}$, що дало змогу розробити антену, здатну знайти своє застосування у сучасних системах безпроводного зв'язку, таких як LTE, LTE-A, 5G, а також у радарних технологіях, де зазвичай вимагається 5 – 10 % смуги робочих частот від значення носійної частоти;
- **Вперше** запропоновано та експериментально підтверджено метод модуляції ЕМ параметрів СПП шляхом зміни відстані між провідниками структури, а отже, зміни ємності структури в цілому та, як результат, контролю значення резонансів Фабрі-Перо. Це уможливило оцінювання величини лінійної деформації стиснення/розтягнення експериментально дослідженого СПП з точністю $0,002\lambda$, що є рекордною роздільною здатністю для таких систем на даний момент;
- **Набув подальшого розвитку** та експериментально підтверджено метод віддаленого контролю лінійної деформації СПП з використанням радарних систем, що уможливлює оцінювання величини стиснення/розтягнення шляхом визначення ЕПР в діапазоні частот $0,8 - 12$ ГГц.

4. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.

Достовірність отриманих результатів підтверджується високим рівнем відповідності між теоретичними розрахунками, імітаційним моделюванням та експериментальними даними. Така узгодженість свідчить про правильність обраних підходів і підтверджує достовірність проведених досліджень.

Для проведення досліджень використовувалося програмне забезпечення CST Studio Suite, яке забезпечує точне розв'язання систем рівнянь Максвелла у часовій та частотній областях. Це дозволило отримати вичерпні характеристики електромагнітних хвиль у пропонуваніх структурах. Крім того, для аналізу та обробки даних застосовувалися інструменти Matlab & Simulink, які надають широкий спектр методів математичного моделювання, чисельних розрахунків і спектрального аналізу сигналів, зокрема метод швидкого перетворення Фур'є.

У роботі також використано фундаментальні принципи теорії електродинаміки та концепції поширення електромагнітних хвиль у метаматеріальних середовищах. Експериментальні дослідження базувалися на використанні сучасних методів вимірювання таких параметрів, як коефіцієнти відбивання і проходження, ефективна площа розсіювання, а також діаграми спрямованості антен. Всі експерименти проводилися в мікрохвильових безехових камерах із використанням високоточних вимірювальних приладів, що мінімізувало похибки й забезпечило надійність результатів.

Таким чином, поєднання чисельних, теоретичних і експериментальних підходів забезпечило повну обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, викладених у дисертаційній роботі.

5. Рівень теоретичної підготовки здобувача, його особистий внесок у розв'язання конкретного наукового завдання. Рівень обізнаності здобувача з результатами наукових досліджень інших учених.

Здобувач має високий рівень теоретичної підготовки в галузі радіотехніки та телекомунікацій, що дозволяє йому ефективно вирішувати складні наукові завдання. Усі результати, представлені в дисертаційній роботі, він отримав самостійно шляхом проведення теоретичних досліджень, комп'ютерного моделювання, експериментальних вимірювань та аналізу отриманих даних.

У роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача конкретизовано в списку публікацій за темою дисертації. Він продемонстрував глибоке розуміння результатів наукових досліджень інших учених, зокрема в галузі структур із паралельних провідників. Аналіз і врахування наукових досягнень у цій сфері дозволили йому значно розширити уявлення про сучасні тенденції та вдосконалити існуючі підходи для досягнення нових результатів.

6. Наукове та практичне значення роботи.

При виконанні дисертаційної роботи отримано наступні практичні результати:

- Розроблено багатоканальний хвилевід на основі СПП (довжина становить $5,3\lambda$ на частоті 4 ГГц), здатний одночасно передавати ЕМ хвилі від дискретних джерел. Такими джерелами були електрично малі ($< 0,12\lambda$ для діапазону частот 0,3 – 4 ГГц) дипольні антени. Передача здійснюється по паралельних комірках СПП із роздільною здатністю $0,26\lambda$ і менше;
- Розроблено модель оптично довгого ендоскопа на основі СПП у суб-ТГц діапазоні частот із розмірами 0,58 мм завтовшки та 2 мм завдовжки ($6,6\lambda$ на частоті 1 ТГц). Розробка є перспективною для медичної ендоскопії та спектроскопії, зокрема для передавання растрових зображень, детектування чужорідних клітин у крові пацієнта та розрізнення бактерій різного роду. Досягнуто роздільну здатність $0,13\lambda$ і менше;

- Розроблено антенну конструкцію зі змінними та керованими частотними характеристиками на основі модифікації хвильового порту шляхом вмонтування в його апертуру СПП. Антену протестовано в безеховій камері університету Аалто (м. Еспоо, Фінляндія), сертифікованій для вимірювань у мікрохвильовому діапазоні частот від 1 ГГц до 30 ГГц. Дослідження показали, що антена ефективно працює в діапазоні частот $\sim 1,138 - 1,178$ ГГц із робочою смугою до 80 МГц. Водночас вона може бути легко модифікована для інших діапазонів частот та адаптована до вимог сучасних систем безпроводного зв'язку, зокрема LTE, LTE-A, 5G, а також радарних технологій S-, C- та X-діапазонів частот;
- Розроблено СПП-резонатор, здатний динамічно змінювати свої геометричні параметри, що дозволяє керувати значеннями резонансів Фабрі-Перо. Така структура може бути використана як у розробленні адаптивних антенних систем, так і для створення високоточних сенсорних технологій, зокрема враховуючи високу точність, що становить $0,002\lambda$, у діапазоні частот 1 – 12 ГГц. Ефективність роботи цієї структури була протестована в безеховій камері університету Тель-Авіва (м. Тель-Авів, Ізраїль), сертифікованій для вимірювань у мікрохвильовому діапазоні частот від 1 ГГц до 20 ГГц.

7. Повнота викладу матеріалів дисертації у публікаціях та особистий внесок здобувача.

Відповідно до даних програми перевірки схожості текстів дисертаційна робота за результатами перевірки є оригінальною на 95%. Робота вважається такою, що має високий рівень оригінальності та відповідає принципам академічної доброчесності.

У рамках виконання дисертаційного дослідження опубліковано 15 наукових праць: 3 статті в міжнародних виданнях, що індексуються в наукометричній базі Scopus, 2 статті у наукових фахових виданнях України та одна стаття у провідному зарубіжному журналі. Крім того, результати роботи представлені в 9 тезах конференцій, з яких 2 заходи відбулися за кордоном.

Усі результати, представлені в дисертаційній роботі, здобувач отримав самостійно шляхом проведення теоретичних досліджень, імітаційного моделювання, експериментальних вимірювань та аналізу отриманих даних. У роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора конкретизовано у списку публікацій за темою дисертації:

Наукові праці у міжнародних наукових виданнях, які входять до наукометричній бази Scopus:

1. **Khobzei, M.**, Tkach, V., Vovchuk, D., Mikhailovskaya, A., Haliuk, S., Samila, A., Porins, J., Salgals, T., Bobrovs, V., & Ginzburg, P. (2025). Deformable time-modulated wire media resonators. *Photonics and Nanostructures: Fundamentals and Applications*, 63, 101343. <https://doi.org/10.1016/j.photonics.2024.101343> (Scopus, Q2) (особистий внесок: досліджено СПП із керованими ЕМ характеристиками за допомогою механічної модуляції, виконано комп'ютерне моделювання та експерименти зі стискання й розтискання структури вздовж двох осей).
2. Vovchuk, D., **Khobzei, M.**, Apostoliuk, M., Tkach, V., & Simovski, C. (2023). Broadband transfer of binary images via optically long wire media. *Nanophotonics*, 12(14), 2797–2807. <https://doi.org/10.1515/nanoph-2022-0538> (Scopus, Q1) (особистий внесок: розроблено

модель ЕСПП, виконано її моделювання, створено макет і досліджено передавання растрових зображень у робочому частотному діапазоні).

3. Vovchuk, D., & Khobzei, M. (2020). Investigation of frequencies characteristics of modified waveguide aperture by wire media. *Progress In Electromagnetics Research Letters*, 93, 59–64. <https://doi.org/10.2528/pierl20070107> (Scopus, Q3) (особистий внесок: запропоновано модифікацію хвильового порту з інтегрованими СПП, виконано моделювання випромінювання ЕМ хвиль, аналіз коефіцієнтів відбивання S_{11} , діаграм спрямованості та електричного поля в апертурі, розроблено зразки СПП із різним заповненням металом і проведено вимірювання коефіцієнтів S_{11}).

Наукові праці у виданнях, що входять до переліку наукових фахових видань України:

4. Khobzei, M. (2024). Sub-GHz Broadband Multi-channel Waveguiding Based on Subwavelength Wire Media. *Security of Infocommunication Systems and Internet of Things*, 2(1), 01010. <https://doi.org/10.31861/sisiot2024.1.01010>
5. Політанський, Л., Вовчук, Д., Галюк, С., Хобзей, М., & Робулець, П. (2020). Застосування провідникових метаструктур у радіотехнічних засобах для передавання та випромінювання ЕМ хвиль (огляд). *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, (3), 102–110. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-150-3-102-110> (особистий внесок: проведено аналіз літературних джерел щодо пристроїв передавання ЕМ сигналів на основі СПП у вузько- та широкосмугових частотних діапазонах).

Наукові праці, що підтверджують апробацію матеріалів дисертації:

6. Khobzei, M., Tkach, V., Haliuk, S., Samila, A., Bobrovs, V., Ginzburg, P., Simovski, C., & Vovchuk, D. (2024). Deformable Wire Media Resonators. 2024 *Eighteenth International Congress on Artificial Materials for Novel Wave Phenomena (Metamaterials)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/Metamaterials62190.2024.10703307> (особистий внесок: досліджено СПП із керованими ЕМ характеристиками за допомогою механічної модуляції, виконано комп'ютерне моделювання та експерименти зі стискання й розтискання структури вздовж двох осей).
7. Khobzei, M., Vovchuk, D., Apostoliuk, M., Tkach, V., & Simovski, C. (2022). Optically Long Broadband Digital Endoscope. 2022 *Sixteenth International Congress on Artificial Materials for Novel Wave Phenomena (Metamaterials)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/Metamaterials54993.2022.9920839> (особистий внесок: розроблено модель ЕСПП, виконано її моделювання, створено макет і досліджено передавання растрових зображень у робочому частотному діапазоні).
8. Robulets, P., Vovchuk, D., Khobzei, M., Derevesnikova, Y., Apostolyuk, M., & Politanskyi, L. (2020). Multiple harmonic signal transfer using wire media structure. 2020 *IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/TCSET49122.2020.235408> (особистий внесок: запропоновано СПП як масив елементарних комірок для передавання зображень, проведено моделювання з передавання гармонічних сигналів та оцінки розподілу електричного поля).
9. Vovchuk, D., Haliuk, S., Khobzei, M., & Robulets, P. (2018). Simple principles of antennas modification based on metamaterials (survey). 2018 *International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, 277–280. <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2018.8632059> (особистий внесок: запропоновано модифікацію хвильового порту з інтегрованими СПП, виконано

модельовання випромінювання ЕМ хвиль, аналіз коефіцієнтів відбивання S_{11} , діаграм спрямованості та електричного поля в апертурі, розроблено зразки СПП із різним заповненням металом і проведено вимірювання коефіцієнтів S_{11}).

10. Vovchuk, D., **Khobzei, M.**, & Zhadan, I. (2018). Properties of antennas modified by wire media. *2018 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/UkrMiCo43733.2018.9047582> (особистий внесок: запропоновано модифікацію хвильового порту з інтегрованими СПП, виконано модельовання випромінювання ЕМ хвиль, аналіз коефіцієнтів відбивання S_{11} , діаграм спрямованості та електричного поля в апертурі, розроблено зразки СПП із різним заповненням металом і проведено вимірювання коефіцієнтів S_{11}).
11. **Хобзей, М.**, Ткач, В., Еліяшів, О., Хавруняк, М., & Вовчук, Д. (2023). Широкопasmовое передавання зображень через структуру із паралельних провідників. *II Міжнародна науково-практична конференція «Молодіжна наука заради миру та розвитку»*, 425–428. <https://archer.chnu.edu.ua/xmlui/handle/123456789/8523> (особистий внесок: розроблено модель ЕСПП, виконано її модельовання, створено макет і досліджено передавання растрових зображень у робочому частотному діапазоні).
12. **Khobzei, M.**, Khavruniak, M., Andriichuk, K., & Vovchuk, D. (2021). Imaging within wire media unit cell performed on PCB. *Physical and technological problems of transmission, processing and storage of information in infocommunication systems: Proceedings of IXth International Scientific-Practical Conference*, 55–56. <https://drive.google.com/file/d/1TlleBHjRasLWDJBP5z08ARj65LvEnDkH/view?usp=sharing> (особистий внесок: запропоновано СПП як масив елементарних комірок для передавання зображень, проведено модельовання з передавання гармонічних сигналів і оцінки робочої смуги частот між резонансами Фабрі-Перо).
13. Політанський, Л., Вовчук, Д., **Хобзей, М.**, Хавруняк, М., & Андрійчук, К. (2020). Випромінювання електромагнітних хвиль через структуру із паралельних провідників зі змінними конструктивними параметрами. *X Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій»*, 44–46. http://rtt.zntu.edu.ua/data/Tezy_NUZP_2020.pdf (особистий внесок: запропоновано модифікацію хвильового порту з інтегрованими СПП, виконано модельовання випромінювання ЕМ хвиль, аналіз коефіцієнтів відбивання S_{11} , розроблено зразки СПП із різним заповненням металом і проведено вимірювання коефіцієнтів S_{11}).
14. **Khobzei, M.**, Apostolyuk, M., & Vovchuk, D. (2018). Model of antenna modified by regular wire media for control of its main characteristics. *International Youth Science Forum “Litteris et Artibus”*, 34–35. <https://doi.org/10.23939/lea2018.01.034> (особистий внесок: запропоновано модифікацію хвильового порту з інтегрованими СПП, виконано модельовання випромінювання ЕМ хвиль, аналіз коефіцієнтів відбивання S_{11} , розроблено зразки СПП із різним заповненням металом і проведено вимірювання коефіцієнтів S_{11}).

Наукові праці, що додатково відображають результати досліджень, викладених у дисертаційній роботі:

15. **Khobzei, M.**, Vovchuk, D., & Michalska, M. (2018). Overview of applications of wire medium in radio engineering means. *Informatyka Automatyka Pomiaru w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 8(4), 32–35. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.8023> (особистий

внесок: проведено аналіз літературних джерел щодо пристроїв передавання ЕМ сигналів на основі СПП у вузько- та широкосмугових частотних діапазонах).

8. Апробація матеріалів дисертації.

Основні результати отримані в дисертаційній роботі були предметом обговорень на:

- Наукових семінарах кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича;
- Наукових семінарах Інституту фотоніки, електроніки та телекомунікацій Ризького технічного університету – м. Рига, Латвія, жовтень 2023, березень та липень 2024;
- Наукових семінарах Лабораторії динаміки наноструктур Тель-Авівського університету – м. Тель-Авів, Ізраїль, жовтень 2019, липень 2023;
- 18th International Congress on Artificial Materials for Novel Wave Phenomena (Metamaterials) – Chania, Greece, 09-14 September, 2024;
- 9th International IEEE Conference on Microwaves, Communications, Antennas, Biomedical Engineering, and Electronic Systems (COMCAS) – Tel Aviv, Israel, 9-11 July, 2024;
- 17th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) – Florence, Italy, 26-31 March, 2023;
- II Міжнародна науково-практична конференція «Молодіжна наука заради миру та розвитку» (МНЗМР) – Чернівці, Україна, 8-10 листопада, 2023;
- 16th International Congress on Artificial Materials for Novel Wave Phenomena (Metamaterials) – Siena, Italy, 12-17 September, 2022;
- 2nd IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW) – Kharkiv, Ukraine, 14-18 November, 2022;
- 9th International Scientific-Practical Conference Physical and Technological Problems of Transmission, Processing and Storage of Information in Infocommunication Systems (PREDT) – Chernivtsi-Suceava, Ukraine-Romania, 21-23 October, 2021;
- X Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій» – Запоріжжя, Україна, 7-9 жовтня 2020;
- 15th IEEE International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET) – Lviv-Slavske, Ukraine, 25-29 February, 2020;
- 8th International Scientific-Practical Conference Physical and Technological Problems of Transmission, Processing and Storage of Information in Infocommunication Systems (PREDT) – Chernivtsi, Ukraine, 3-5 October, 2019;
- 7th International Scientific-Practical Conference Physical and Technological Problems of Transmission, Processing and Storage of Information in Infocommunication Systems (PREDT) – Chernivtsi, Ukraine, 8-10 November, 2018;
- IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PICS&T) – Kharkiv, Ukraine, 09-12 October, 2018;
- IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo) – Odessa, Ukraine, 10-14 September, 2018;
- 8th International Youth Science Forum “Litteris et Artibus” – Lviv, Ukraine, 22-24 November, 2018.

9. Оцінка мови і стилю дисертації.

Дисертація написана чіткою мовою, відповідає критеріям науковості, забезпечуючи логічність, послідовність і об'єктивність. Застосована термінологія є загальновизнаною, а стиль викладення сприяє доступності сприйняття та можливості практичного використання отриманих результатів.

10. Відповідність змісту дисертації спеціальності з відповідної галузі знань, з якої вона подається до захисту.

Зміст дисертації повністю відповідає вимогам галузі знань 17 – Електроніка та телекомунікації та спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка». У роботі розглянуто актуальні наукові проблеми цієї галузі, використано сучасні теоретичні й експериментальні методи дослідження, а також запропоновано нові підходи, які відповідають напряму спеціалізації.

11. Дотримання нормативних вимог щодо оформлення дисертації.

Дисертаційна робота відповідає встановленим нормативним вимогам, визначеним наказом МОН «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» від 12.01.2017 р. № 40.

12. Рекомендація дисертації до захисту.

Дисертаційна робота Хобзея Миколи Михайловича «Метаструктури із паралельних провідників для систем провідного та безпроводного передавання електромагнітних сигналів», подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії (PhD) з галузі знань 17 – Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка», за своєю актуальністю, науково-теоретичним рівнем, новизною постановки й розв'язання проблеми, а також практичним значенням отриманих результатів відповідає вимогам п. 6–9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти або наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44 (зі змінами, внесеними Постановою КМУ №507 від 03.05.2024 р.).

За результатами публічної презентації дисертації та її обговорення на засіданні кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки навчально-наукового інституту фізико-технічних і комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича від 26.02.2025 р., дисертацію Хобзея Миколи Михайловича «Метаструктури із паралельних провідників для систем провідного та безпроводного передавання електромагнітних сигналів» одноголосно рекомендовано до захисту в разовій спеціалізованій раді для здобуття наукового ступеня доктора філософії (PhD) з галузі знань 17 – Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

07.03.2025 р.

Голова засідання

д.т.н., професор, професор кафедри
радіотехніки та інформаційної безпеки,
гарант освітньо-наукової програми
«Телекомунікації та радіотехніка»



Руслан ПОЛІТАНСЬКИЙ

Політанський Р.
Заступник секретар Чернівецького національного
університету імені Юрія Федьковича
"10" березня 2025 р.