

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

В.о. ректора

Українського державного університету

залізничного транспорту,

Д.т.н., професор

Сергій ПАНЧЕНКО

грудня 2024



ВИСНОВОК

Українського державного університету залізничного транспорту
про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів
дисертації

Сопронюка Івана Івановича на тему «Методи моніторингу частотного
спектру для підвищення ефективності безпроводових когнітивних
телекомунікаційних систем», поданої на здобуття наукового ступеня доктора
філософії

з галузі знань 17 – Електроніка та телекомунікації
спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка

1. Актуальність теми дослідження та її зв'язок з науково-дослідними роботами.

Динамічний розвиток когнітивних безпроводових телекомунікаційних мереж в умовах війни в Україні висуває нові вимоги до методів моніторингу частотного спектру, особливо через зростаюче навантаження на радіочастотні ресурси, радіоелектронну боротьбу та кіберзагрози. В таких умовах спектральний моніторинг стає особливо актуальним для ефективного управління частотами, оскільки дозволяє оптимізувати розподіл радіочастот між різними системами зв'язку, підвищуючи загальну ефективність телекомунікаційних мереж і мінімізуючи конфлікти між цивільними та військовими користувачами.

Основними проблемами у сфері спектрального моніторингу є високий рівень динамічності спектрального навантаження та часті зміни у розподілі

частотних ресурсів між користувачами, що вимагає застосування гібридних методів моніторингу, які здатні оперативно відстежувати зміни в радіо інформаційному середовищі та автоматично коригувати розподіл частот.

Розв'язати ці проблеми можливо за рахунок впровадження інноваційних методів та технологій. По-перше, це гібридні методи спектрального моніторингу, що використовують алгоритми штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання та автоматично визначають вільні частотні діапазони, або перешкоди чи зміни спектру. По-друге, впровадження технологій динамічного розподілу спектру, які дозволяють радіо мережам самостійно адаптуватися до змін у середовищі за рахунок вибору оптимальних частотних діапазонів для передачі даних. Це мінімізує інтерференцію між системами та підвищує загальну ефективність використання частотних ресурсів.

По-третє, для підвищення завадостійкості та захисту від радіоелектронної боротьби необхідно застосовувати ефективні методи обробки сигналів, включаючи технології спектральної фільтрації та шифрування передач, що дозволяє зменшити вплив зовнішніх завад, а також підвищує захищеність когнітивних мереж від спроб несанкціонованого доступу або втручання.

Крім того, важливо розробляти комплексні системи моніторингу, які будуть інтегровані з інструментами кіберзахисту для виявлення та нейтралізації загроз, пов'язаних із кібернападами на критичну інфраструктуру телекомунікацій. Тісна взаємодія між спектральним моніторингом та системами захисту мереж забезпечить безпеку та стійкість телекомунікаційних систем.

Вищезазначене обґрунтовує необхідність вирішення актуального науково-технічного завдання, яке полягає в підвищенні ефективності безпроводових когнітивних телекомунікаційних мереж на основі удосконалення методів спектрального моніторингу шляхом впровадження гібридних методів, які забезпечують ефективну ідентифікацію вільних частотних смуг, підвищення рівня завадостійкості та спектральної ефективності, з побудовою адаптивних алгоритмів, здатних функціонувати в умовах складного радіосередовища.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі «Транспортний зв'язок» Українського державного університету залізничного транспорту.

Науково-практичні результати отримані в ході дисертаційного дослідження застосовуються у службовій діяльності військової частини А7223, про що свідчить наведений в Додатку Б дисертаційної роботи акт впровадження

результатів дисертаційного дослідження. Також результати роботи впроваджено в навчальний процес Українського державного університету залізничного транспорту – Додаток В дисертаційної роботи.

2. Мета і задачі дослідження.

У дисертаційній роботі визначено мету дисертаційного дослідження, якою є підвищення ефективності функціонування безпроводових когнітивних телекомунікаційних систем шляхом впровадження гібридних методів спектрального моніторингу, отриманих на основі удосконалення методів оптимізації та аналізу радіочастотного спектру, а також розроблення алгоритмів управління спектральними ресурсами в умовах динамічно змінюваного радіосередовища.

Для досягнення зазначеної мети здобувачем було поставлено та виконано наступні визначено наступні часткові задачі дослідження.

1. Проведено аналіз вимог стандартів IEEE 802.22, IEEE 1900, IEEE 802.11af, IEEE 802.15.4m, IEEE 802.16h та LTE-Advanced до методів спектрального моніторингу з зосередженням уваги на перспективах підвищення ефективності безпроводових когнітивних телекомунікаційних мереж на основі впровадження гібридних методів моніторингу спектру, які забезпечують надійну ідентифікацію вільних частотних смуг, підвищення рівня завадостійкості та спектральної ефективності, а також розробки адаптивних алгоритмів, здатних функціонувати в умовах складного радіосередовища.

2. Розроблено новий гібридний метод спектрального моніторингу VTSM (Variable Time Segment Monitoring), алгоритм на його основі та програмну реалізацію, що відрізняється від традиційних методів застосуванням адаптивної часової сегментації та динамічного налаштування до змін частотно-часових характеристик сигналу і забезпечує ефективне виявлення вільних частотних смуг та зниження рівня завад. Проведено експериментальну верифікацію методу з використанням методів статистичного аналізу та рекурсивної фільтрації, обґрунтовано переваги в порівнянні з традиційними підходами за показниками ідентифікації частотних ресурсів і завадостійкості.

3. Удосконалено та верифіковано метод спектрального моніторингу на основі адаптивних вейвлет-перетворень (Морле та Добеші) і фільтрів (Калмана, LMS, RLS). Проведено експериментальну перевірку методу на сигналах 4G LTE, 5G NR, Wi-Fi 6, DVB-T2, GPS для підтвердження його ефективності в умовах

складного радіочастотного середовища, а також для обґрунтування переваг за показниками виявлення вільних частотних ресурсів та завадостійкості порівняно з традиційними підходами.

4. Обґрунтовано необхідність інтеграції статистичних підходів з адаптивними фільтраційними техніками для оптимізації процесів спектрального моніторингу та зменшення впливу шумів і частотних спотворень у безпроводових когнітивних мережах. Проведено експериментальні дослідження для підтвердження науково-практичних гіпотез щодо ефективності даного підходу.

5. Удосконалено метод ієрархічного циклічного спектрального моніторингу, алгоритм та його програмну реалізацію з використанням інформаційних критеріїв Акайке (AIC) і Байєса (BIC) для оптимального вибору моделей сигналу з урахуванням балансу між точністю та складністю моделі, а також із застосуванням багатокрокової адаптивної фільтрації на основі фільтрів Калмана, Вінера та медіанного з метою зниження інтерференції і врахування умов завмирання сигналу. Проведено експериментальні дослідження для валідації переваг методу для підвищення загальної ефективності спектрального моніторингу в порівнянні з традиційними підходами.

6. Проведено експериментальну оцінку ефективності запропонованого методу для Wi-Fi, 5G NR, Bluetooth, GSM, LoRaWAN, UWB, особливо для тих сигналів, які мають високі початкові значення співвідношення сигнал/шум (SNR). Здійснено поетапну верифікацію методу з метою визначення продуктивності застосування фільтра Калмана, інформаційних критеріїв Акайке (AIC) та Байєса (BIC), а також рекурсивного оновлення спектральних оцінок для підвищення точності та надійності спектрального моніторингу в умовах змінного радіочастотного середовища.

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

Здобувачем виконано актуальне науково-технічне завдання по підвищенню ефективності безпроводових когнітивних телекомунікаційних систем на основі удосконалення методів спектрального моніторингу частотного спектру шляхом впровадження гібридних методів, які забезпечують ефективну ідентифікацію вільних частотних смуг, підвищення рівня завадостійкості та спектральної ефективності, з побудовою адаптивних алгоритмів, здатних

функціонувати в умовах складного радіосередовища.

Об'єктом дослідження є процес моніторингу частотного спектру в безпроводових когнітивних телекомунікаційних мережах на основі впровадження гібридних методів та адаптивних алгоритмів, що забезпечують динамічне виявлення невикористаних частотних ресурсів та оптимізацію використання спектра в умовах змінного радіосередовища.

Предметом дослідження є методи, моделі, алгоритми оптимізації спектрального моніторингу та адаптивного управління радіочастотними ресурсами безпроводових когнітивних телекомунікаційних систем.

Положення, що виносяться на захист і є науковими результатами, дисертаційної роботи є наступні:

1. **Вперше** розроблено метод моніторингу частотного спектру – VTSM (Variable Time Segment Monitoring) на основі неоднорідної декомпозиції часових сегментів та адаптивного спектрального аналізу в залежності від статистичних властивостей сигналу. Запропонований метод, на відміну від традиційних, забезпечує динамічну адаптацію довжини сегментів від характеристик сигналу в реальному часі, що підвищує точність виявлення частотних компонентів, знижує вплив шуму та збільшує ефективність використання спектру в умовах динамічних передач.

2. **Удосконалено** метод спектрального моніторингу на основі варіативних часових сегментів та адаптивних вейвлет-перетворень (Морле, Добеші) та адаптивних фільтрів: Калмана, LMS та RLS для оптимізації виявлення та аналізу спектральних характеристик у різних умовах навантаження. Запропонований метод відрізняється від відомих здатністю забезпечувати високий рівень адаптивності та точності за рахунок використання передових фільтраційних технік і спектрального аналізу.

3. **Удосконалено** метод ієрархічного циклічного моніторингу частотного спектру за рахунок застосування інформаційних критеріїв Акайке та Байєса для виявлення вільних частотних смуг у спектральному діапазоні, а також багатоступеневої фільтрації, для зменшення шумів та спотворень сигналу з врахуванням завмирань. Запропонований метод відрізняється від існуючих тим, що критерій Акайке використовується для початкового вибору моделей, а критерій Байєса забезпечує уточнення налаштування і запобігання

«перенавчанню», що робить метод більш ефективним для застосування у складних радіосередовищах з різними типами шумів та спотворень.

Усі положення, які виносяться на захист, отримано здобувачем самостійно у процесі виконання дисертаційного дослідження.

4. Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій.

Дисертаційна робота здобувача Сопронюка І.І. є завершеною науковою працею, яка виконувалась протягом 2022-2024.

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи є в достатній мірі обґрунтованими та впливають з результатів досліджень. Зокрема, при виконанні дослідження використано значний обсяг сучасних літературних джерел, значна кількість яких є авторитетними науковими публікаціями, що індексуються наукометричними базами Scopus, WoS та Index Copernicus.

Для вирішення науково-практичних задач, поставлених в дисертаційному дослідженні, було застосовано: методи спектрального аналізу для виявлення вільних частотних смуг та оцінки спектральної щільності потужності сигналів у безпроводових телекомунікаційних мережах; методи багатокрокової фільтрації (фільтри Калмана, Вінера, медіанний фільтр) для усунення шумів, завмирань та спотворень сигналів у когнітивних радіомережах; інформаційні критерії Акайке (AIC) і Байєса (BIC) для вибору оптимальної моделі спектрального моніторингу та запобігання перенавчанню; теорія ймовірностей для оцінки якості апроксимації сигналів і аналізу відстані Кульбака-Лейблера між фактичною та апроксимуючою моделями.

Для проведення експериментальної верифікації результатів використовувалось імітаційне моделювання частотних діапазонів сигналів у динамічному когнітивному радіосередовищі, а також статистичні методи аналізу, зокрема розрахунок співвідношення сигнал/шум (SNR), ймовірності виявлення сигналу (AUC), аналіз кривої робочих характеристик приймача (ROC), регресійний і кореляційний аналіз для перевірки точності та ефективності розроблених алгоритмів.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень та результатів дисертації підтверджується апробацією на фахових конференціях та семінарах,

публікацією в рецензованих наукових виданнях та актами впровадження (військова частина А7223 та навчальний процес УкрДУЗТ).

5. Теоретичне і практичне значення результатів дисертаційного дослідження

У дисертаційній роботі отримано нове рішення науково-технічної задачі по підвищенню ефективності безпроводових когнітивних телекомунікаційних систем на основі удосконалення методів спектрального моніторингу частотного спектру шляхом впровадження гібридних методів, що створює теоретико-методологічне та науково-прикладне підґрунтя для практичної реалізації актуальних задач дисертаційного дослідження.

Практичне значення отриманих результатів:

– на основі аналізу вимог до методів спектрального моніторингу відповідно стандартів IEEE обґрунтовано, що обмежена здатність методів до адаптації в умовах високої інтерференції та недостатня точність виявлення первинних користувачів вимагають подальшого вдосконалення методів для підвищення надійності управління спектральними ресурсами та мінімізації впливу завад, шуму та перешкод. За допомогою експериментальної оцінки традиційних методів моніторингу частотного спектру обґрунтовано необхідність застосування гібридних підходів для підвищення якості виявлення сигналів у складних умовах радіосередовища;

– розроблено новий метод спектрального моніторингу VTSM (Variable Time Segment Monitoring), алгоритм та програмну реалізацію, особливістю якого є застосування адаптивної часової сегментації та динамічне налаштування до змін частотно-часових характеристик сигналу. Оптимізовано процес ідентифікації вільних частотних смуг та зниження рівня завад за допомогою методів статистичного аналізу і рекурсивної фільтрації. Експериментально доведено, що метод VTSM дозволяє підвищити точність на 18,5% при середньому рівні SNR (10 дБ) та знизити ймовірність хибних тривог на 10,2% у порівнянні з традиційними методами. При високому рівні SNR VTSM показує максимальну ефективність, забезпечуючи точність виявлення на 15,2% вищу, ніж у методу енергетичного детектування та на 10,5% вищу за метод узгодженої фільтрації. При низькому SNR (5 дБ) метод VTSM показав на 3,7% кращу

точність порівняно з методом енергетичного детектора, але поступається методу узгодженої фільтрації;

– розроблено алгоритм методу спектрального моніторингу з використанням варіативних часових сегментів, що дозволяє проводити аналіз спектру в реальному часі та відслідковувати зміни в спектральному складі сигналу. Метод базується на застосуванні адаптивних вейвлет-перетворень (Морле та Добеші) та фільтрів (Калмана, LMS та RLS) для забезпечення високої точності аналізу. В результаті експериментів доведено, що метод досягає максимальної ефективності точності виявлення сигналів при високих SNR – до 85,6%. Експериментальна перевірка підтвердила здатність методу ефективно працювати в умовах складного радіочастотного середовища;

– обґрунтовано необхідність інтеграції статистичних підходів із адаптивними фільтраційними техніками, що дозволило суттєво зменшити вплив шумів та частотних спотворень у безпроводових когнітивних мережах. Експериментально доведено, що навіть при низьких значеннях SNR, ефективність методу залишається на прийнятному рівні, досягаючи 15,4% точності виявлення сигналів. Впровадження адаптивної фільтрації дозволило знизити ймовірність хибних тривог до 0,01 при SNR = -5 дБ, що забезпечує надійну роботу в умовах підвищеного шуму;

– розроблено алгоритм та програмну реалізацію методу ієрархічного циклічного спектрального моніторингу з використанням інформаційних критеріїв Акайке (AIC) і Байєса (BIC) для оптимального вибору моделей сигналу, що дозволяє досягти балансу між точністю та складністю моделі. Відмінною рисою методу є поетапна багатокрокова адаптивна фільтрація з використанням фільтрів Калмана, Вінера та медіанного, що підвищує ефективність моніторингу шляхом зниження рівня шумів та врахування завмирань сигналу. Експериментально отримані результати показали значне покращення для сигналів із високим початковим SNR. Амплітуда для Wi-Fi зросла на 7,06%, а SNR – на 15,03%. Для 5G NR приріст амплітуди склав 8,42%, а SNR – 18,18%. Для сигналів з нижчим SNR, таких як UWB та LoRaWAN, амплітуда збільшилася на 7,46% та 6,25% відповідно, а SNR – на 18,18% і 10%. Сигнал Bluetooth показав зростання амплітуди на 7,14%, а SNR – на 15,38%, тоді як для GSM ці показники становили 7,06% і 12,5%, що демонструє ефективну адаптацію методу до шумів та завмирань;

– експериментально доведено ефективність запропонованого методу для всіх типів сигналів, особливо для тих, що мають високі початкові значення співвідношення сигнал/шум (SNR). Після первинного застосування фільтра Калмана було зафіксовано покращення амплітуди на 3 – 4% і підвищення SNR на 0,2–0,3%. Використання інформаційних критеріїв Акайке (AIC) та Байеса (BIC) забезпечили ще вищі результати: амплітуда збільшилася до 7,46%, а SNR підвищився до 18,18%. Рекурсивне оновлення спектральних оцінок дозволило досягти удосконалення для Bluetooth та 5G NR, де приріст SNR склав до 5,13%.

6. Апробація результатів дослідження.

Основні наукові положення і результати дисертаційної роботи пройшли авторську апробацію на наступних конференціях:

– 24 міжнародна науково-технічна конференція. «Проблеми інформатики та моделювання» (ППМ-2024). Харків: НТУ «ХПІ», 20-23 вересня 2024;

– 37 міжнародна науково-практична конференція «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті». Харків: УкрДУЗТ, 10-11 жовтня 2024;

– XII міжнародна науково-практична конференція «Людина, суспільство, комунікативні технології» Харків: УкрДУЗТ, 25 жовтня 2024;

– 26 міжнародна науково-практична конференція «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» Харків: 18-19 вересня 2013 р.

7. Повнота викладення основних наукових результатів дисертації в публікаціях та особистий внесок у них автора.

Дисертаційна робота є результатом самостійного науково-прикладного дослідження автора. Результати дисертаційного дослідження, що складають наукову новизну та виносяться на захист, отримано здобувачем самостійно. Науково-практичні результати, отримані в даного дисертаційного дослідження опубліковано у 13 наукових працях: 9 статей у фахових виданнях України, у тому числі, 1 стаття у міжнародному виданні та відображено у 4 публікаціях за матеріалами міжнародних науково-практичних конференцій.

Наукові статті, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Soproniuk I., Komar O. Adaptive approach to spectrum monitoring in cognitive radio networks through signal detection optimization. Науковий журнал

«Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво». Телекомунікації та радіотехніка, Луцьк, 2024. № 56, 2024. С. 392-400. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-56-47>.

2. Soproniuk I., Komar O. Evaluating the characteristics of the VTSM spectrum sensing method in cognitive radio networks. Наукоємні технології, «Електроніка, телекомунікації та радіотехніка», Київ, № 3 (63), 2024. С. 265-273. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.63.18949>.

3. Lysechko V., Soproniuk I. Spectrum Sensing Using Wavelet Transforms and Filtering Under Signal Frequency Distortion and Fading Conditions. SISOT (Security of Infocommunication Systems and Internet of Things), Vol.2, No.1 (Aug.2024), P.01011 (7) //Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича DOI: <https://doi.org/10.31861/sisiot.2024.1.01011>

4. Komar O., Lysechko V., Veklych O., Bershov V., Soproniuk I. Methods for evaluating the impact of energy and correlation properties of signals on the resilience to inter-channel interference in intelligent radio systems Mechanics Transport Communications. Journal article № 2599 Vol. 22, 3/3. 2024. P. IV-6-IV-19, https://mtc-aj.com/library/2599_EN.pdf.

5. Лисечко В.П., Сопронюк І.І. Метод моніторинга спектра в когнитивних радіосетях на основі БПФ. Вестник Национального технического университета «ХПИ», 2011. Вип. 16, 2011. С. 173-180. [https://www.kpi.kharkov.ua/archive/наукова_періодика/vestnik/Техника и электрофизика высоких напряжений/2011/16/20111628.pdf](https://www.kpi.kharkov.ua/archive/наукова_періодика/vestnik/Техника_и_электрофизика_высоких_напряжений/2011/16/20111628.pdf)

6. Лисечко В.П., Сопронюк І.І., Ухова О.О. Метод моніторинга спектра в когнитивних радіосетях на основі використання інформаційного критерію Акайке. Системи обробки інформації. ХУПС ім. І. Кожедуба. Вип. 5(95). 2011. С.108-112.

7. Лисечко В.П., Сопронюк І.І., Самад Фарид Абдель. Дослідження завадостійкості систем безпроводового доступу. Системи обробки інформації. Х.: ХУПС. Вип. 2(83). 2010. С. 153-155.

8. Лисечко В.П., Степаненко Ю.Г., Сопронюк І.І., Брюзгіна Н.О. Дослідження методів аналізу спектру в когнитивних радіомережах. Збірник наукових праць. Х.: Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. Вип. 3 (25). 2010. С.137-145.

9. Лисечко В.П., Сопронюк І.І., Сєверінов О.В. Моніторинг спектру у каналах із завмираннями та частотними спотвореннями. Системи обробки інформації. Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба. Вип. 9(90). 2010. С.94-98.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Sopronyuk I.I., Lysechko V.P., Komar O.M. Advancing spectrum sensing in cognitive radio networks. *Проблеми інформатики та моделювання* (ППМ-2024). Тези 24 міжнародної науково-технічної конференції. Харків: НТУ «ХП», 20-23 вересня 2024. С. 128-129.

2. Soproniuk I.I., Pastushenko V.V., Lysechko V.P. Spectral monitoring method based on multistage filtering and AIC& Bayesian information criteria. Тези доповідей за матеріалами 37 міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті». Харків: УкрДУЗТ, 10-11 жовтня 2024. С.55-56.

3. Сопронюк І.І., Лисечко В.П. Метод спектрального моніторингу на основі декомпозиції часових сегментів// Тези XII міжнародної науково-практичної конференції «Людина, суспільство, комунікативні технології» – Харків: УкрДУЗТ, 25 жовтня 2024. – С. 202 - 204.

4. Лисечко В. П. , Сопронюк І.І., Шимків М.В. Моніторинг спектру у каналах із завмираннями та частотними спотвореннями//Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: матеріали доповідей 26-ї міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 18-19 вересня 2013 р.). – 2013. – № 4 (додаток). – С. 66-67.

Особистий внесок здобувача в наукових працях опублікованих в співавторстві включає розробку нових методів, алгоритмів та технічних рішень, які дозволили ефективно вирішити поставлені в дисертаційній роботі завдання та досягти поставлених цілей. У спільних наукових публікаціях здобувачеві належить наступний внесок. В статті [1] – метод спектрального моніторингу з використанням адаптивних вейвлет-перетворення Морле і Добеші та адаптивної фільтрації; в роботі [2] – метод моніторингу спектру на основі декомпозиції часових сегментів (VTSM) для динамічного моніторингу спектру; в [3] – метод ієрархічного циклічного моніторингу частотного спектру в каналах із завмираннями та спотвореннями; в статті [4] – дослідження причин виникнення міжканальних завад у інтелектуальних радіосистемах та оцінки впливу

енергетичних і кореляційних властивостей сигналів на стійкість до цих завад; в роботі [5] – оцінка та аналіз методів моніторингу спектра в когнітивних радіомережах на основі дискретного перетворення Фур'є; в [6] – оцінка ефективності застосування інформаційного критерію Акайке в алгоритмах моніторингу спектра когнітивних радіомереж дозволяє оптимізувати вибір моделей для обробки сигналів, в [7] – аналіз методів спектрального моніторингу в контексті дослідження завадостійкості систем безпроводового доступу для визначення впливу завад на якість передачі даних, в [8] – експериментальна оцінка ефективності виявлення вільних частотних діапазонів, в статті [9] – дослідження методів виявлення та моніторингу спектра в каналах із замираннями та частотними спотвореннями.

8. Загальний висновок.

Дисертаційна робота Сопронюка Івана Івановича на тему «Методи моніторингу частотного спектру для підвищення ефективності безпроводових когнітивних телекомунікаційних систем» є оригінальним, самостійним, завершеним науковим дослідженням, що стосується актуальної проблематики і містить оригінальні підходи щодо розв'язання теоретичних та практичних завдань по підвищенню ефективності безпроводових когнітивних телекомунікаційних систем.

Основні положення, висновки та рекомендації дисертаційного дослідження містять елементи наукової новизни, є повністю обґрунтованими та науково-практично аргументованими і отримали апробацію на науково-практичних конференціях. Всі наукові положення та отримані результати дослідження знайшли відображення в публікаціях здобувача. Зміст дисертації відповідає визначеній меті. Поставлені здобувачем наукові завдання вирішені в повній мірі і науково обґрунтовані. Мету дослідження досягнуто. Дисертаційне дослідження виконане державною мовою.

За актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Сопронюка Івана Івановича відповідає спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» з галузі знань 17 – Електроніка та телекомунікації та вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23

березня 2016 року № 261 (зі змінами і доповненнями від 03 квітня 2019 року № 283) та вимогам «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 року № 44 зі змінами, внесеними згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 21 березня 2022 року № 341, а також Вимогам до оформлення дисертації, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 року № 40.

Дисертація Сопронюка Івана Івановича на тему «Методи моніторингу частотного спектру для підвищення ефективності безпроводових когнітивних телекомунікаційних систем» може бути рекомендована до подання та захисту в разовій спеціалізованій вченій раді на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Головуючий:

В.о. ректора Українського
державного університету
залізничного транспорту,
професор, д.т.н.

Сергій ПАНЧЕНКО

Декан факультету
інформаційно-керуючих
систем та технологій,
к.т.н., доцент

Сергій ЗМІЙ