

**РІШЕННЯ**  
**РАЗОВОЇ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ВЧЕНОЇ РАДИ**  
**ПРО ПРИСУДЖЕННЯ СТУПЕНЯ ДОКТОРА ФІЛОСОФІЇ**

Разова спеціалізована вчена рада Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України, м. Харків, прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії з галузі знань «17 – Електроніка та телекомунікації» на підставі прилюдного захисту дисертації «Методи моніторингу частотного спектру для підвищення ефективності безпроводових когнітивних телекомунікаційних систем» за спеціальністю «172 – Телекомунікації та радіотехніка» 26 лютого 2025 року.

Сопронюк Іван Іванович, 1988 року народження, громадянин України, освіта вища: закінчив у 2010 році Українську державну академію залізничного транспорту, за спеціальністю «Телекомунікаційні системи та мережі» з дипломом спеціаліста (з відзнакою).

З 2022 року по теперішній час навчається в аспірантурі денної форми навчання Українського державного університету залізничного транспорту на освітньо-науковій програмі «Телекомунікації та радіотехніка» за спеціальністю «172 – Телекомунікації та радіотехніка».

Дисертацію виконано в Українському державному університеті залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник Лисечко Володимир Петрович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри транспортного зв'язку Українського державного університету залізничного транспорту.

Здобувач має 13 наукових праць, серед яких 8 статей у фахових наукових виданнях України, 1 стаття у міжнародному виданні та 4 праці апробаційного характеру – тези доповіді за матеріалами міжнародних науково-практичних конференцій.

Основні наукові праці:

*Публікації у наукових фахових виданнях України категорії «Б», що включені до міжнародних науково-метричних баз:*

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. SISIOT (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/sisiot2024.1.01011>

4. 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.

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

6. 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.

7. Лисечко В.П., Степаненко Ю.Г., Сопронюк І.І., Брюзгіна Н.О. Дослідження методів аналізу спектру в когнітивних радіомережах. Збірник

наукових праць. Х.: Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. Вип. 3 (25). 2010. С.137-145.

8. Лисечко В.П., Сопронюк І.І., Северінов 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.

*Міжнародне фахове видання:*

1. 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](https://mtc-aj.com/library/2599_EN.pdf).

У дискусії взяли участь голова і члени спеціалізованої вченої ради та присутні за захисті фахівці:

Голова спеціалізованої вченої ради – **Трубчанінова Карина Артурівна**, доктор технічних наук, професор кафедри транспортного зв'язку УкрДУЗТ звернула увагу на використання вейвлет-перетворень Морле та Добеші для аналізу спектра в удосконаленому методі, попросила обґрунтувати, чому саме ці типи вейвлетів обрано для проведення аналізу. Також висловила пропозицію до дисертанта – навести практичні приклади, які демонструють ефективність запропонованого методу VTSM при високому співвідношенні сигнал/шум (SNR). Зокрема, запропоновано розкрити можливі сценарії застосування методу в умовах реальних телекомунікаційних задач.

Крім того, було рекомендовано обґрунтувати принцип вибору фільтрів Калмана, Вінера та медіанного для багатокрокової фільтрації. Поставлено питання щодо врахування можливості конфлікту між інформаційними критеріями Акайке та Байеса при виборі моделей сигналів.

Офіційний опонент – **Бойко Юлій Миколайович**, доктор технічних наук, професор кафедри телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій, Хмельницького національного університету позитивно оцінив рівень

розробки наукових і методичних положень дисертації, а також обґрунтованість наукових висновків та пропозицій. При цьому відмітив деякі недоліки, які однак не знижують високий рівень роботи.

1. У пунктах 3 і 7 алгоритму VTSM (Розділ 2, стор. 63 – 73) дублюється використання алгоритму Фур'є. Перший раз – при загальній оцінці складності сигналу і відповідній зміні довжини сегмента, другий раз – для визначення спектральних характеристик сигналу в нових сегментах та отримання оптимальних порогових значень для кожного сегмента. Таке повторне використання може спричиняти збільшення затримок обробки сигналів. Доцільно уточнити, яким чином враховувався цей аспект в роботі.

2. Для алгоритму VTSM рішення про наявність чи відсутність сигналу приймається шляхом порівняння параметрів енергії сигналу із розрахованим значенням порогу (Розділ 2, стор. 73, формули 2.9, 2.10). Разом з тим, забезпечення оптимального прийому вимагає мінімізації сумарної умовної ймовірності похибок 1-го і 2-го роду. У роботі доцільно було б надати оцінку відношення ймовірностей виявлення сигналу ( $PD$ ) до ймовірності хибного виявлення ( $Pfa$ ) для повнішого обґрунтування ефективності алгоритму.

3. Для удосконалення ефективності методу спектрального моніторингу в алгоритмі (Розділ 3, стор. 84, рис. 3.2) запропоновано замінити фільтри Баттерворта, Чебишева та Кайзера на адаптивні фільтри Калмана, LMS та RLS. Проте дисертація не містить достатнього обґрунтування такого вибору, зокрема, щодо переваг запропонованого підходу у порівнянні з попереднім рішенням. Доцільно було б уточнити, чим саме обумовлено таке рішення.

У дискусії запропонував дисертанту надати пояснення, які проблеми в когнітивних мережах вирішує запропонований в дисертації метод VTSM і при яких значеннях SNR метод показує найбільшу ефективність.

Офіційний опонент – **Климаш Михайло Миколайович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційно-комунікаційних технологій, Національного університету «Львівська політехніка» надав позитивний відгук з зауваженнями.

1. У роботі спостерігається недостатній огляд сучасних досліджень на задану тематику, що ускладнює порівняння отриманих в дисертації результатів з вже існуючими науковими досягненнями.

2. З наведених графіків ROC-кривих для оцінки ефективності методу VTSM (стор. 75, 76, 78) видно, що запропонований гібридний метод на основі енергетичної оцінки має певні обмеження. Автору доцільно обґрунтувати вибір енергетичного критерію або вказати недоліки інших методів, які використані як основа для аналізу запропонованого методу зі змінним часовим сегментуванням.

3. Для запропонованих у дисертації алгоритмів (Розділ 2, стор. 68-73, Розділ 3, стор. 83-94, Розділ 4, стор. 123-131) автором недостатньо висвітлено вплив затримок, які можуть виникати при виконанні спектрального та вейвлет-аналізу. Ці затримки мають вагомє значення для ефективності проведення моніторингу, особливо в реальному часі. Доцільно надати більше інформації щодо обчислювальних витрат і часу виконання алгоритмів.

4. У роботі розроблено та змодельовано три методи моніторингу частотного спектру та виявлення сигналів радіозв'язку для різних стандартів. На завершення доцільно було б надати практичні рекомендації щодо вибору методу залежно від умов радіосередовища, що підвищило б прикладну цінність роботи. У Розділі 2 (стор. 65) наведено переваги та недоліки першого методу. Варто було б зробити подібний аналіз для інших методів у відповідних розділах роботи, щоб забезпечити рівноцінний підхід до оцінки.

В дискусії висловив зауваження щодо нетипового вигляду ROC-кривих, представлених в презентації на слайді 10, рисунок 10.1. Д.т.н., проф. Климаш М.М. звернув увагу на те, що форма кривих може бути обумовлена використанням логарифмічної шкали на осі абсцис. Було запропоновано дисертанту пояснити, яку наукову або практичну мету переслідувало застосування такого підходу.

Крім того, опонент акцентував увагу на впливі особливостей роботи методу VTSM, зокрема адаптивної часової сегментації та регулювання

порогових значень, на обчислювальні витрати. Було рекомендовано уточнити, як ці аспекти враховані у дисертації і підвищують ефективність методу.

Рецензент – **Штомпель Микола Анатолійович**, доктор технічних наук, професор кафедри транспортного зв'язку УкрДУЗТ надав позитивний відгук з зауваженнями.

1. У пункті 1.3 було проведено аналіз сучасних методів моніторингу тільки за якісними параметрами для загального визначення напрямів дослідження та формування вимог до алгоритмів реалізації. Метою було поступове поглиблення оцінок, від якісного порівняння до детальної кількісної оцінки. Тому кількісна оцінка ефективності методів моніторингу розглянута як експериментальна перевірка запропонованих методів та алгоритмів, розділи 2-4, з розрахунками показників: точність виявлення, завадостійкість, швидкість адаптації та інші. Але в окремому підрозділі кількісну оцінку не виділено.

2. В методі VTSM та в алгоритмі його реалізації основна увага приділялася адаптивній зміні порогових значень на основі енергетичних статистик, оскільки це забезпечує точність у динамічному когнітивному радіосередовищі. Вплив похибок та можливих відхилень енергетичних оцінок не розглядався окремо, оскільки мета дослідження полягала в оптимізації порогових значень у загальних умовах. Але це питання є перспективним напрямком для подальшого вдосконалення алгоритму, оскільки врахування похибок може підвищити стабільність і точність визначення сигналів.

3. Алгоритм, представлений на рисунку 3.2, є авторською розробкою, яка спиралась на загальноприйнятих методах, таких як енергетичний аналіз, методи фільтрації, оцінка спектральних характеристик, але адаптовані під специфіку задач когнітивного радіо. Основною метою було забезпечення точності, адаптивності та швидкості роботи запропонованого алгоритму в умовах динамічного радіосередовища. Крім того, в алгоритмі враховано сучасні оптимізаційні підходи, зокрема адаптивне визначення порогових значень та часову сегментацію.

4. У роботі ці формули наведені в різних контекстах: SNR як (1.7) використовується для загального пояснення поняття, а SNR (4.11) – у більш приватному контексті – для розрахунків у межах розробленого алгоритму. Проте визнаю, що було б доцільно додати пояснення для уникнення плутанини.

5. Відсутність розшифрування змінних у формулах (3.5) та (3.21). Розшифрування змінних наведено в тексті розділу, проте для більшої зручності їх треба було б продублювати безпосередньо під формулами

6. Різні позначення вхідного сигналу ( $y(t)$ ,  $r(t)$ ,  $x(t)$ ). Позначення об'єктів на рисунках. Для забезпечення зручності інтерпретації, особливо в друкованому варіанті, слід додавати числові чи символічні позначення об'єктів на рисунках у поєднанні з кольоровим виділенням.

В ході дискусії рецензент, д.т.н., проф. Штомпель М.А., висловив зауваження щодо інтерпретації результатів аналізу ефективності методів фільтрації та адаптивності запропонованого алгоритму в динамічних умовах. Окремо було підняте питання щодо врахування стандартів спектрального моніторингу та їх впливу на формування вимог до методів дослідження.

Рецензент – Жученко Олександр Сергійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортного зв'язку УкрДУЗТ надав позитивний відгук на дисертаційну роботу з зауваженнями.

1. В алгоритмі методу моніторингу VTSM присутній крок «Оцінка складності сигналу». Вказано, що якщо дисперсія та енергія високі, сигнал вважається «складним». Варто було б провести дослідження і надати орієнтовну оцінку параметрів сигналів, які можуть вважатись складними для різних технологій зв'язку.

2. Для аналізу показників таких як: точність виявлення сигналів (TPR); середній рівень шуму (ANL); коефіцієнт завмирання (FAF), тощо, результати обчислення яких містяться в таблиці 3.2 (стор 98), відсутні формули за якими здійснювався розрахунок.

3. В таблиці 2.1 вказані недоліки методу VTSM, проте не сформувано висновок, наскільки ці недоліки обмежують можливості реалізації методу.

4. Для наочного порівняння ефективності запропонованого удосконаленого адаптивного методу (п.3.3) доцільно було б навести графіки показників ефективності, такі як: TPR; ANL; FAF, як у пункті 3.2.

5. Формула 2.1. описує розрахунок показника складності сигналу для налаштування адаптивного методу, вказано, що складність залежить від енергії сигналу та дисперсії шуму, проте в формулі відсутні змінні, що відповідають значенням енергії сигналу.

6. Для рисунку 2.2. відмінність між традиційними методами спектрального аналізу з «фіксованим вікном» і адаптивним підходом VTSM, відсутнє пояснення, що демонструють червона і зелена криві і як вони отримані.

У ході дискусії рецензент, к.т.н., Жученко О.С., акцентував увагу на необхідності більш докладного аналізу параметрів складності сигналів для різних технологій зв'язку, що дисертант продовжить в своїх подальших дослідженнях, а також щодо впливу недоліків методу VTSM на його ефективність і реалізацію. Також було підняте питання обґрунтування використання одночасно критеріїв Акайке та Байеса для вибору моделей сигналів та особливостей оцінки енергетичних характеристик сигналу в межах запропонованого підходу.

Результати відкритого голосування:

«За» 5 (п'ять членів) ради;

«Проти» 0 (немає) ради.

На підставі результатів відкритого голосування разова спеціалізована рада присуджує Сопронюку Івану Івановичу ступінь доктора філософії з галузі знань «17 – Електроніка та телекомунікації» за спеціальністю «172 – Телекомунікації та радіотехніка»

Голова разової  
спеціалізованої вченої ради



Карина ТРУБЧАНІНОВА