

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну Дзюби Володимира Андрійовича –на тему «Інформаційна технологія моніторингу мереж радіозв'язку» представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань Інформаційні технології за спеціальністю 122 - Комп'ютерні науки

Актуальність теми дисертації. Стрімкий розвиток цифрових технологій, масове впровадження високошвидкісних радіомереж та інтенсивне використання радіочастотного ресурсу вимагають створення принципово нових підходів до моніторингу мереж радіозв'язку. Сучасні радіотехнології характеризуються широким спектром робочих частот, адаптивними методами модулювання, використанням динамічного розподілу спектра, частотним перестрибуванням, одночасною роботою множинних протоколів передачі та складними сценаріями взаємодії абонентів і базових станцій. За таких умов традиційні системи технічного контролю не забезпечують необхідної оперативності оброблення даних, точності ідентифікації джерел радіовипромінювання та стійкості до зовнішніх впливів. Дисертаційне дослідження Дзюби Володимира Андрійовича присвячене вирішенню актуального наукового завдання - створення інформаційної технології моніторингу мереж радіозв'язку, що поєднує методи штучного інтелекту, нейронні мережі глибокого навчання, адаптивну фільтрацію та програмно-визначені радіосистеми для підвищення ефективності, точності та оперативності аналізу спектра в умовах ускладненої радіоелектронної обстановки. В умовах збройної агресії проти України роль оперативного радіомоніторингу різко зросла. Радіомережі стали критично важливим інфраструктурним компонентом управління військами, координації підрозділів, обміну оперативними даними, забезпечення авіаційної, морської й наземної логістики, а також функціонування систем оповіщення та цивільного захисту. У воєнному середовищі особливої ваги набуває здатність систем моніторингу швидко реагувати на зміну радіоелектронної обстановки, виявляти джерела завад, ідентифікувати канали передачі даних, визначати структуру сигналів противника, здійснювати оцінку активності засобів зв'язку та прогнозувати конфігурацію спектру.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Опрацювання змісту дисертаційної роботи дозволяє мені зробити наступні висновки

1. На мою думку дисертантом *вперше* запропоновано інтегровану математичну модель управління динамічним розподілом частотного ресурсу для радіомереж у умовах радіоелектронної протидії, яка об'єднує когнітивне сприйняття спектра, елементи теорії ігор (для узгодження інтересів багатьох користувачів), адаптивне керування та методи підкріплювального і глибинного навчання у єдину керуючу систему.

2. У дисертаційній роботі *вперше* розроблено та експериментально реалізовано програмний модуль навчання CNN на синтетичних даних робити наступні висновки для задач радіомоніторингу; забезпечено розпізнавання більше 15 класів сигналів у діапазоні 30 МГц–6 ГГц з точністю більше 95% при варіативних SNR і частотному маневруванні.

3. Дисертантом *вперше* створено алгоритмічний комплекс інтелектуального аналізу сигналів (виявлення → класифікація → локалізація), стійкий до низького SNR, мультипасу та частотних перестроювань; комплекс поєднує енергетичні, кореляційні та спектрально-фазові ознаки з механізмами адаптивного порогування і злиття даних.

4. У роботі *удосконалено* методику динамічного управління спектром на основі Q-навчання: введено моделі функції корисності з вагами для пропускну здатності, завадостійкості, енергоспоживання і швидкодії, а також критерії оцінювання (час реакції, стабільність, точність), що забезпечують збіжність рішень в умовах РЕБ.

5. У роботі *набула подальшого розвитку* технологія моделювання SDR-систем (GNU Radio / MATLAB) для відтворення бойових сценаріїв РЕО та перевірки робото здатності розроблених алгоритмів; дисертантом обґрунтована відтворюваність показників точності/часу реакції та можливість інтеграції модулів у прикладні стенди.

6. Дисертантом *запропоновано* практичну архітектуру впровадження (регламент, інтероперабельність, кіберзахист, масштабування) для інтеграції технології у державні системи моніторингу радіочастотного простору з орієнтацією на підвищення спектральної безпеки в умовах війни та відбудови.

Достовірність наукових результатів забезпечується коректним застосуванням розгалуженого апарату дослідження, що включає методи системного аналізу, математичного програмування, теорії нечітких множин, математичного моделювання та експерименту.

Висновки роботи об'єктивно впливають із представлених теоретичних положень та підтверджуються результатами дослідження. Отримані результати є внутрішньо несуперечливими, взаємопов'язаними та підтверджують наукову новизну й практичну значущість дисертаційної роботи. Наукові дослідження виконані здобувачем в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України під керівництвом доктора технічних наук, професора Триснюка Василя Миколайовича.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Дзюби Володимира Андрійовича повністю відповідає вимогам до кваліфікаційних робіт за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки». Робота є завершеною науковою працею, яка свідчить про глибоку обізнаність автора в предметній області та його особистий внесок у вирішення наукової задачі.

Звіт про перевірку на текстові збіги підтверджує, що дисертація є самостійним дослідженням, не містить елементів плагіату та має належні посилання на використані джерела.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою. Матеріал викладено структуровано, послідовно та з використанням коректної наукової термінології.

Структура дисертації є обґрунтованою, забезпечуючи послідовний перехід від постановки проблеми до її вирішення та отриманих результатів. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг становить 162 сторінках.

У **вступній частині** дисертації автор обґрунтовує актуальність обраного напрямку дослідження, наголошуючи на необхідності створення інтелектуальних систем моніторингу в умовах динамічної радіоелектронної обстановки. Чітко визначено мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, розкрито наукову новизну, теоретичне та практичне значення отриманих результатів, а також наведено загальну характеристику роботи. Автор переконливо доводить взаємозв'язок дослідження із сучасними викликами у сфері інформаційних технологій, зокрема в контексті розвитку когнітивних систем і технологій штучного інтелекту у сфері радіомоніторингу.

У **першому розділі** представлено поглиблений аналіз сучасних принципів, методів і засобів радіомоніторингу, виконано класифікацію частотних діапазонів, технічних платформ та програмних інструментів для контролю радіосигналів. Обґрунтовано переваги технології Software Defined Radio (SDR), яка забезпечує програмну реалізацію повного циклу оброблення сигналів незалежно від апаратної архітектури. Удосконалено математичні моделі поширення радіохвиль, виведено рівняння для розрахунку втрат сигналів у різних середовищах і досліджено вплив рельєфу, іоносферних умов та техногенних перешкод на якість прийому. Розроблено концепцію архітектури первинного

спектрального аналізу, що поєднує SDR-модулі, системи попередньої обробки, базу телеметрії та нейронну класифікацію сигналів. Експериментально підтверджено здатність системи розпізнавати понад 15 типів радіовипромінювань у режимі реального часу.

Другий розділ присвячено побудові методики динамічного управління частотним ресурсом у змінних умовах радіоелектронного середовища. На основі моделювання у середовищах GNU Radio та MATLAB показано зниження часу реакції системи до 0,7 с та зростання ефективності використання спектра на 18 %. Доведено, що застосування нейронних мереж у процесі вибору частотних смуг підвищує адаптивність системи до зовнішніх впливів, забезпечує швидке реагування на появу завад і покращує інформаційну стійкість мереж. Методика характеризується високою універсальністю, що дає змогу використовувати її як основу для когнітивних радіосистем.

У третьому розділі запропоновано новий підхід до багатопозиційної локалізації джерел радіовипромінювань, який долає обмеження класичних методів пеленгації у короткохвильовому діапазоні. Система продемонструвала здатність зберігати стабільність функціонування при відмові до 25 % вузлів вимірювальної мережі, що свідчить про її високу відмовостійкість. Застосування технології data fusion дало змогу синхронізувати сигнали з різних приймальних пунктів і побудувати нейромережеву модель оцінки координат із високою точністю позиціонування. Отримані результати мають прикладне значення для цивільних і оборонних систем зв'язку, а також для аналізу стану радіоелектронного середовища в умовах інформаційного протистояння.

У четвертому розділі виконано інтеграцію напрацьованих рішень у єдину інформаційну технологію моніторингу мереж радіозв'язку, що поєднує механізми збору, оброблення, аналізу й адаптивного управління спектром. Експериментальні результати засвідчили скорочення середнього часу реакції системи до 1 секунди, підвищення точності локалізації до 95 % та зменшення навантаження на обчислювальні ресурси на 25 %. Розроблено регламент експлуатації системи, який визначає порядок оновлення моделей, проведення калібрувань, тестових сценаріїв і звітності. Запропонована дорожня карта впровадження передбачає етапне розгортання технології у стратегічно важливих регіонах та її інтеграцію з існуючими системами зв'язку.

Отримані результати мають важливе науково-прикладне значення для розвитку інтелектуальних систем моніторингу нового покоління. Розроблена інформаційна технологія поєднує можливості штучного інтелекту, SDR, нейромережевих алгоритмів та когнітивного управління спектром, забезпечуючи підвищення ефективності

використання частотного ресурсу, зниження часу ухвалення рішень та зростання інформаційної стійкості мереж зв'язку у військовій та цивільній сферах.

Дисертаційна робота оформлена у повній відповідності до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 14 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 5 статей у наукових фахових виданнях України, та 9 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях. Порухень принципів академічної доброчесності у публікаціях не виявлено, що свідчить про належну апробацію результатів.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

У тексті дисертації наявні поодинокі випадки стилістичної розмитості або варіативного вживання термінів. Моя освіта отримана на військовій кафедрі Київського університету імені Тараса Шевченка по спеціальності ППО та роботи в галузі розробок з військової гідрології у Київському інституті гідроапаратури дозволили мені розуміти мотивацію запропонованих алгоритмів та методів. В деяких місцях дисертаційної роботи не вистачає опису такої мотивації зазвичай з урахуванням необхідності дотримання військової таймниці.

Висловлені зауваження не є принциповими, мають дискусійний характер і не зменшують загальну наукову та практичну цінність отриманих результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Дисертаційна робота Дзюби Володимира Андрійовича на тему «Інформаційна технологія моніторингу мереж радіозв'язку» є завершеним комплексним науковим дослідженням, що виконане на високому професійному рівні відповідно до сучасних вимог академічної доброчесності. Сукупність теоретичних напрацювань і практичних реалізацій, забезпечує ефективне вирішення актуального науково-прикладного завдання, що має істотне значення для розвитку галузі інформаційних технологій. Отримані результати мають як наукову новизну, так і високу практичну значущість, а сама робота відповідає критеріям, необхідним для присудження наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 122 – «Комп'ютерні науки». Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6–9 «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 р. № 44.

Здобувач Дзюба Володимир Андрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Рецензент:

Завідувач відділу інформаційної безпеки
Інституту телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАНУ,
доктор фізико-математичних наук, професор



Василь УСТИМЕНКО

Власноручний підпис доктора фізико-математичних наук, професора Василя Устименка
завіряю:

Начальник відділу кадрів

Олена РАДЧУК



2025 року