

## РЕЦЕНЗІЯ

рецензента кандидата технічних наук, доцента  
Савінова Володимира Юрійовича

на дисертаційну роботу

Уханя Єгора Олександровича

на тему «Методи та засоби формування контрольованих зон  
в бездротових комп'ютерних мережах»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 Інформаційні технології

за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія

### Актуальність теми дисертації.

Стрімке розгортання сучасних бездротових інфраструктур на підприємствах та об'єктах критичного сектору вносить на порядок денний гострі питання забезпечення інформаційної безпеки. Відкритий характер радіопростору, який неможливо обмежити капітальними конструкціями, створює сприятливі умови для проведення радіорозвідки, несанкціонованого проникнення до мережевих контурів та реалізації деструктивних заводових впливів. Наявна практика експлуатації таких мереж чітко вказує на те, що базові криптографічні інструменти вищих рівнів (зокрема, протоколи WPA2 та WPA3) неспроможні нівелювати загрози, які виникають безпосередньо на фізичному рівні (L1). До таких критичних векторів атак належать DDoS-впливи шляхом деавтентифікації, перехоплення ключових пакетів для подальшого брутфорсу, а також інтеграція в ефір імітаційних точок доступу типу «Evil Twin».

Застосування класичних підходів, орієнтованих на пасивне екранування приміщень, супроводжується значними фінансовими витратами, складністю проектування та повною відсутністю адаптивності до динамічних змін радіообстановки. У зв'язку з цим виникає потреба у розробці гнучких комбінованих засобів для розгортання контрольованих зон (КЗ). Суть цього підходу полягає в синергетичному поєднанні фізичного обмеження енергетичних параметрів випромінювання (регулювання потужності, використання спрямованих антен) з активними інтелектуальними засобами просторового пригнічення завод (смарт-джаммерами) та комплексами моніторингу ефіру типу WIDS/WIPS. З огляду на це, дисертаційна робота Є. О. Уханя, яка вирішує задачу підвищення захищеності БКМ шляхом адаптивного керування радіопокриттям, є цілком своєчасною, теоретично обґрунтованою та важливою для розвитку сучасної комп'ютерної інженерії.

### Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

– **вперше розроблено** метод позиціонування WiFi-джаммерів, який, на відміну від існуючих, реалізує нормалізацію покриття радіосигналу для формування контрольованої зони, що дозволяє локалізувати сигнал у приміщеннях зі складною геометрією без використання екранування;

– **удосконалено** комбінований метод створення контрольованої зони, який, на відміну від існуючих, поєднує фізичне регулювання потужності передавача та логічну ідентифікацію пристроїв (цифровий відбиток пристрою), що дозволяє підвищити рівень виявлення несанкціонованих точок доступу під час атак типу «злий двійник» до 91,5 %, зберігаючи працездатність системи на рівні 88,5 % у складних заводових середовищах;

– **удосконалено** модель формування контрольованої зони, яка, на відміну від існуючих, реалізує шестиетапний цикл від RF-моделювання до адаптивного управління трафіком, що забезпечує цілісність внутрішнього та зовнішнього

периметрів мережі;

– **набув подальшого розвитку** метод аналізу безпеки бездротового зв'язку за стандартами 3-го та 4-го поколінь, який, на відміну від існуючих, використовує штучний інтелект, що дозволяє динамічно змінювати рівні шифрування залежно від виявленого типу загрози.

Оцінюючи наукову новизну отриманих результатів, слід відзначити оригінальний методологічний підхід здобувача до побудови архітектури захисту бездротового простору. Автор відійшов від розрізненого аналізу мережевих рівнів, натомість вперше інтегрував контроль як інформаційно-логічних параметрів, так і суто фізичних характеристик поширення хвиль у межах єдиного автоматизованого контуру формування контрольованої зони. Такий підхід забезпечує високу адекватність побудованих моделей реальним умовам експлуатації, оскільки розрахунки базуються на об'єктивних фізичних метриках радіоефіру (показниках потужності сигналів RSSI, відношенні сигнал/шум SNR та закономірностях затухання радіохвиль у неоднорідних середовищах), які мають чітке операційне трактування і детально враховуються на кожному кроці адаптивного керування.

Обґрунтованість рішень дисертанта переконливо підтверджується суттєвим зменшенням зашумленості та невизначеності вихідних даних порівняно з традиційними аналізаторами трафіку, що дозволило створити захисні контури, які максимально точно координуються з архітектурними межами об'єктів та інженерно-технічними параметрами бездротового обладнання.

Окрему увагу у дослідженні привертає розробка формалізованого методу оптимального просторового розміщення WiFi-джаммерів за допомогою модифікованого алгоритму ройового інтелекту (PSO). Це дозволило розв'язати складну багатокритеріальну задачу оптимізації радіопокриття, яка тривалий час стримувала практичне впровадження комплексів вибіркового радіопригнічення.

Сформовані автором критерії ефективності (зокрема, нормалізація діаграми покриття, мінімізація виходу сигналу за межі фізичного периметра установи та максимізація рівня SNR всередині захищеного сегмента) гарантують високу точність, об'єктивність та повторюваність результатів геометричного моделювання КЗ. Запропонований математичний підхід повністю усуває необхідність інтуїтивного емпіричного підбору точок монтажу або повного перебору варіантів розміщення засобів протидії. Завдяки цьому суттєво зростає загальна відмовостійкість системи захисту.

Достовірність та обґрунтованість наукових положень, що виносяться на захист, базуються на детальному системному аналізі сучасних праць провідних вітчизняних та зарубіжних вчених у галузі кібербезпеки бездротових комунікацій. Робота вирізняється чітким і послідовним формулюванням мети та завдань, коректним математичним описом усіх запропонованих моделей і алгоритмів, а також ретельними натурними експериментами. Дослідження виконані в лабораторних умовах із використанням сучасного інженерного інструментарію та актуальних засобів радіомоніторингу. Додатковим підтвердженням достовірності результатів є їх широка апробація на авторитетних науково-практичних конференціях, публікації у профільних фахових виданнях, а також отримання свідоцтва про реєстрацію авторського права на створене програмне забезпечення.

Наукові дослідження виконані здобувачем на кафедрі комп'ютерної інженерії Чорноморського національного університету імені Петра Могили під науковим керівництвом доктора технічних наук, професора Журавської Ірини Миколаївни, а також в межах виконання державної науково-дослідної роботи «Розробка модулів автоматизації бездротових приладів відновлення пост-інфарктних, пост-інсультних пацієнтів в індивідуальних умовах віддаленої реабілітації» (номер державної реєстрації 0121U109898, науковий керівник проф. Трунов О. М.).

Таким чином, у дисертації Уханя Є. О. успішно вирішено важливе науково-прикладне завдання, що полягає у створенні комбінованих методів та

програмно-апаратних засобів формування контрольованих зон у бездротових комп'ютерних мережах. Зміст роботи та отримані результати свідчать про те, що здобувач повною мірою опанував методологію проведення наукових досліджень та володіє високою кваліфікацією науковця й інженера.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Уханя Є. О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія та предметної області освітньо-наукової програми «Комп'ютерна інженерія».

Представлена дисертація є завершеною кваліфікаційною науковою працею, виконаною на високому науково-технічному рівні. Структура роботи є логічною та послідовною. Загальний обсяг становить 115 сторінок, включаючи 22 рисунки, 10 таблиць та 5 додатків.

**Усі додатки (А–Д) містять цінні практичні матеріали: акти впровадження, тексти конфігураційних скриптів RouterOS v7 та коди оригінальних прошивок для мікроконтролерів ESP32, що підтверджує високий рівень інженерної підготовки здобувача. Перевірка дисертації на наявність текстових збігів підтвердила високий рівень унікальності тексту, відсутність плагіату чи фабрикації даних, що свідчить про безумовне дотримання автором принципів академічної доброчесності.**

**Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота виконана державною мовою із чітким дотриманням правил сучасної науково-технічної термінології. Текст є логічно послідовним, структурованим та аргументованим; наукові ідеї та результати експериментів викладено у зрозумілій і доступній для сприйняття формі.

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, наведених після кожного розділу, та 5 додатків. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи становить 115 сторінок.

У вступі належним чином розгорнуто актуальність, сформульовано мету, об'єкт, предмет та 4 завдання дослідження, розкрито наукову новизну та прикладну цінність.

У першому розділі проведено детальний системний аналіз сучасних логічних протоколів безпеки та методів фізичного обмеження покриття. Виявлено фундаментальні обмеження статичних засобів та обґрунтовано необхідність побудови систем активного радіозашумлення на основі смарт-джаммерів.

У другому розділі розроблено теоретичний базис системи. Представлено аналітичну модель поширення радіохвиль всередині приміщень, цільову функцію оптимізації рою часток PSO, а також алгоритми тривірневої логічної сегментації трафіку через VLAN та автентифікації WPA3 SAE. Розглянуто застосування REM-карт і методів «мережевої мімікрії» (Honey-SSIDs).

У третьому розділі наведено опис практичного втілення системи захисту периметра БКМ. Запропоновано ієрархічну архітектуру «Ядро – Периметр – Моніторинг», розроблено алгоритм збору даних через SNMP Trap повідомлення від точок доступу до центрального шлюзу та логіку функціонування джаммера на базі модуля ESP32.

У четвертому розділі представлено результати експериментальної валідації. Проведено розрахунок уточнених коефіцієнтів ( $N = 31,2$ ;  $L_f = 11,5$  дБ), що знизило RMSE моделі до 2,3 дБ. Кількісно доведено, що стабілізація потужності на рівні 8 дБм формує «радіотінь» за стінами ( $RSSI < -85$  дБм). Виміряно латентність системи активної протидії (2,15–2,55 с), яка повністю блокує атаки типу Evil Twin. Оцінено вплив на легітимний трафік: завдяки спрямованим антенам зниження пропускну здатності в КЗ не перевищило 5,9 %.

У висновках наведено основні результати роботи, а також рекомендації з подальшого розвитку.

Дисертаційна робота оформлена відповідно 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 в 11 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України (категорія «Б»); 1 стаття у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus; 6 публікацій у матеріалах та тезах доповідей конференцій, а також 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.

Також результати дисертації були апробовані на 6 наукових фахових конференціях.

Публікації автора вичерпно відображають основні положення, результати, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертації. Кількість та якість наукових публікацій дозволяють стверджувати про достатнє оприлюднення результатів дисертаційної роботи. Публікації виконано з дотриманням загальноприйнятих принципів академічної доброчесності, зокрема, розглянуті ідеї мають відповідні посилання на використані джерела інформації. У статтях, опублікованих у співавторстві та зарахованих за темою дисертації, основні ідеї було запропоновано та досліджено автором дисертаційної роботи самостійно.

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

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

Водночас, поряд з позитивною оцінкою дисертації Уханя Єгора Олександровича, представлене на захист наукове дослідження, як і будь-які нові наукові роботи, містить окремі дискусійні положення, які потребують додаткової аргументації або роз'яснення дисертантом під час публічного захисту для врахування у подальших наукових розробках з обраної тематики:

1. Недостатній аналіз впливу метричних похибок на точність оптимізації. Запропонований автором метод оптимального позиціонування WiFi-джерммерів на основі модифікованого алгоритму ройового інтелекту (PSO) оперує вхідними даними про координати та рівні сигналів. Проте у роботі бракує детального розгляду різних варіантів оцінки похибки позиціонування (як інструментальної похибки вимірювання RSSI сенсорами, так і геометричної похибки визначення координат часток). Бажано було б надати аналіз того, як накопичення цих похибок у процесі ітераційного пошуку впливає на стійкість цільової функції та чи не призводить це до зміщення локалізації сформованої «радіотіні» за межі розрахованого периметра.

2. Обмеженість врахування багатопроменевого поширення хвиль у динамічних середовищах. У другому розділі при математичному описі аналітичної моделі поширення радіохвиль у заводових середовищах автор використовує класичні коефіцієнти затухання стін ( $L_p$ ) та усереднений показник втрат у вільному просторі. Проте поза увагою автора залишилося деталізоване врахування ефектів багатопроменевого поширення (Multipath Fading) та швидких завмирань сигналу, які виникають у приміщеннях зі складною геометрією за умови інтенсивного переміщення людей або зміни інтер'єру (динамічна складова REM-карти).

3. Специфіка функціонування WIPS-сенсорів при високій щільності легітимного трафіку. При описі практичного втілення ієрархічної архітектури «Ядро – Периметр – Моніторинг» (Розділ 3) зазначається, що сенсори на базі ESP32 здійснюють моніторинг ефіру та надсилають SNMP Trap повідомлення. Проте в дисертації недостатньо висвітлено питання стійкості самих WIPS-сенсорів до переповнення буфера (Buffer Overflow) або пропуску пакетів у координаційному контурі, якщо мережа розгортається на об'єктах із надвисокою щільністю пристроїв (High Density WLAN), де об'єм службового трафіку є критично великим.

4. Академічна відстороненість від аналізу енергоспоживання активних засобів протидії. У четвертому розділі наведено детальні кількісні показники латентності системи активної протидії (2,15–2,55 с) та рівні стабілізації потужності (8 дБм). Проте, зважаючи на прикладну орієнтацію роботи на

об'єкти критичної інфраструктури, бажано було б побачити оцінку енергоефективності розроблених смарт-джаммерів на базі ESP32. Зокрема, як впливає тривала генерація заводових імпульсів на температурний режим роботи сенсорів та можливості їх автономного живлення від резервних джерел.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

**Висновок про дисертаційну роботу.**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Уханя Єгора Олександровича на тему «Методи та засоби формування контрольованих зон в бездротових комп'ютерних мережах» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для сфери комп'ютерної інженерії. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам пп.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 (із змінами та доповненнями).

Здобувач Ухань Єгор Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія

**Рецензент:**

доцент кафедри комп'ютерної інженерії  
Чорноморського національного  
університету імені Петра Могили,

канд. техн. наук, доцент

«20» Травня 2026 р.

Володимир САВІНОВ

