

ВІДГУК

офіційного опонента, кандидата технічних наук, доцента

КОЗЕЛА Віктора Миколайовича

на дисертаційну роботу УХАНЯ Єгора Олександровича

«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.

Сучасний етап розвитку мережевих технологій характеризується тотальною інтеграцією бездротових локальних комп'ютерних мереж (БКМ) у корпоративні, промислові та критичні інфраструктури. Специфіка радіоефіру як відкритого середовища поширення сигналу робить його вразливим до широкого спектра загроз фізичного та логічного рівнів (L1/L2). Поширення радіохвиль за межі фізичного периметра створює передумови для несанкціонованого доступу (НСД), активного перехоплення пакетів (Sniffing), DDoS-атак та створення фальшивих точок доступу типу «злий двійник» (Evil Twin).

Традиційні програмно-криптографічні методи захисту інформації (зокрема протоколи автентифікації WPA2/WPA3) фокусуються виключно на логічному рівні моделі OSI та виявляються недостатніми проти атак фізичного рівня. Водночас класичні пасивні методи (радіоекранування приміщень, клітки Фарадея) є статичними, високовартісними та непридатними для швидкої адаптації в умовах динамічної зміни радіообстановки.

У зв'язку з цим виникає гостра необхідність переходу до комплексного формування контрольованих зон (КЗ), які поєднують інтелектуальне програмне керування параметрами радіоефіру (адаптивне регулювання потужності передавачів, спрямовані антени) з апаратними засобами вибіркового

радіопригнічення (смарт-джаммерами) та логічними механізмами захисту периметра (WIDS/WIPS, Fingerprinting). Таким чином, дослідження Уханя Є. О., спрямоване на розроблення, удосконалення та розвиток методів і засобів створення керованого й захищеного бездротового периметра, є вкрай актуальним для галузі інформаційних технологій.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше розроблено метод позиціонування WiFi-джаммерів, який реалізує нормалізацію покриття радіосигналу для формування контрольованої зони, що дозволяє локалізувати сигнал у приміщеннях зі складною геометрією без використання дороговартісного та статичного фізичного екранування.
2. Удосконалено комбінований метод створення контрольованої зони, який поєднує фізичне регулювання потужності передавача та логічну ідентифікацію пристроїв на основі цифрових відбитків (Device Fingerprinting). Це дозволило підвищити рівень виявлення несанкціонованих точок доступу під час атак «Evil Twin» до 91,5 %, зберігаючи працездатність системи у складних заводських середовищах на рівні 88,5 %.
3. Удосконалено модель формування контрольованої зони, яка реалізує замкнений шестиетапний цикл – від початкового RF-моделювання до адаптивного управління трафіком (QoS/QoE), що забезпечує цілісність внутрішнього та зовнішнього периметрів мережі.
4. Набув подальшого розвитку метод аналізу безпеки бездротового зв'язку за стандартами 3-го покоління (WPA3) із застосуванням елементів інтелектуального аналізу для динамічної зміни рівнів захисту залежно від типу та критичності виявленої загрози.

Обґрунтованість та достовірність отриманих результатів базується на комплексному методологічному підході. Автор коректно поєднує теоретичний аналіз стандартів IEEE 802.11 із математичним моделюванням затухання радіохвиль (модель ITU-R P.1238), алгоритмами стохастичної оптимізації (Particle Swarm Optimization) та інструментами інтелектуального моніторингу (Zabbix, СКБД PostgreSQL). Достовірність положень повністю підтверджується експериментальними дослідженнями на базі спеціалізованого стенду (маршрутизатори ядра MikroTik CCR2116, точки доступу RB951Ui та сенсори/джаммери на базі мікроконтролерів ESP32). Введення метрики середньоквадратичної помилки (RMSE) дозволило емпірично верифікувати модель із точністю до 2,3 дБ.

Результати роботи пройшли належну апробацію на 6 науково-практичних конференціях та висвітлені в 11 наукових працях (включаючи 1 статтю у виданні, проіндексованому в Scopus, та 3 статті у фахових виданнях категорії Б). Наукові дослідження виконувалися у відповідності до завдань науково-дослідної роботи ЧНУ ім. Петра Могили «Розробка модулів автоматизації бездротових приладів відновлення пост-інфарктних, пост-інсультних пацієнтів в індивідуальних умовах віддаленої реабілітації» (№ держ. реєстрації 0121U109898), в якій здобувач брав безпосередню участь як виконавець.

Здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності та продемонстрував здатність самостійно розв'язувати складні комплексні задачі у сфері комп'ютерної інженерії із забезпеченням захисту інформації.

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» для третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти. 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. Робота демонструє значний особистий внесок здобувача: ключові алгоритми, схеми автоматизації, архітектура бази даних метрик та коди прошивок мікроконтролерів (наведені в додатках Б.1, Б.2), які розроблені автором самостійно. Звіт про перевірку на текстові запозичення свідчить про дотримання 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. Дисертація складається з вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 5 додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено зв'язок із науковими програмами, окреслено об'єкт, предмет, методи, наукову новизну та практичне значення.

Перший розділ присвячено системному аналізу існуючих рішень у сфері захисту бездротових мереж, визначенню вразливостей стандартів IEEE 802.11 та обґрунтуванню доцільності переходу до активних методів захисту периметра. На основі цього сформульовано чітку наукову прогалину та задачі дослідження.

У другому розділі здійснено математичну формалізацію процесу формування контрольованих зон на основі моделі ITU-R P.1238, цільової функції оптимізації розміщення джаммерів (алгоритм PSO) та алгоритмів Device Fingerprinting.

Третій розділі містить опис практичної програмно-апаратної реалізації системи на базі обладнання MikroTik, сенсорів на ESP32 та інтеграції з платформою Zabbix і СКБД PostgreSQL.

У четвертому розділі наведено результати натурного експерименту. Кількісно оцінено точність калібрування моделі (RMSE знижено до 2,3 дБ),

виміряно час реакції системи на атаки (2,15–2,55 с) та оцінено вплив на легітимний трафік (деградація параметрів QoS, наведених у табл. 4.4, становить до 6 %).

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.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Основні наукові та практичні результати висвітлені в 11 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 1 стаття у виданні Scopus, 3 статті у фахових виданнях категорії «Б», 6 публікацій у матеріалах конференцій та 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму. Кількість і якість публікацій повністю відповідають чинним вимогам МОН України.

Публікації автора повною мірою відображають ключові положення, математичні моделі, алгоритми та рекомендації, сформульовані в дисертації. Кількість і якість опублікованих праць повністю відповідають чинним вимогам МОН України та дозволяють стверджувати про достатнє оприлюднення результатів дослідження. Усі публікації виконано з суворим дотриманням принципів академічної доброчесності. У роботах, які написані у співавторстві, основні ідеї щодо моделювання затухання радіохвиль, алгоритмів оптимізації PSO та побудови програмно-апаратних засобів на базі мікроконтролерів було запропоновано, розроблено та досліджено здобувачем самостійно.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Оцінюючи позитивно загальний науковий рівень та практичну цінність дисертаційної роботи, до неї варто висловити такі зауваження та дискусійні питання:

1. Обмеження експериментального діапазону частот: Більшість практичних та експериментальних результатів (зокрема, калібрування моделі ITU-R P.1238,

коди прошивок мікроконтролерів ESP32 та конфігурація точок доступу RB951Ui-2HnD) наведені виключно для діапазону частот 2,4 ГГц. У дисертації доцільно було б приділити більше уваги особливостям формування меж КЗ у сучасних високошвидкісних діапазонах 5 ГГц та 6 ГГц (стандарти 802.11ac/ax/be), де характер загасання хвиль та дифракція суттєво відрізняються.

2. Концептуальність аналізу бездротових стандартів: У підрозділі 2.4 здобувач розглядає перспективні можливості захисту із застосуванням концепту "WPA4". Проте на сьогодні офіційного міжнародного стандарту з такою назвою від Wi-Fi Alliance не затверджено, через що виконаний аналіз має виключно прогностичний та теоретичний характер.

3. Архітектурні обмеження системи моніторингу: Використане у третьому розділі ядро моніторингу Zabbix через свої базові особливості (опитування агентів/сенсорів за встановленими інтервалами часу) вносить часовий лаг у збір метрик (що відображено на графіках реакції системи в межах 2.15–5 секунд). Для динамічних бездротових атак високої інтенсивності така затримка може бути критичною. Здобувачу слід було детальніше обґрунтувати вибір платформи Zabbix у порівнянні з системами аналізу потокових даних у реальному часі.

4. Необхідність деталізації алгоритму ідентифікації: У другому та третьому розділах автор пропонує використовувати механізм Device Fingerprinting на основі DHCP-опцій, Hostname та сімейства ОС для захисту від підміни MAC-адрес (Spoofing). Проте в роботі недостатньо висвітлено математичний апарат або критерії класифікації, за якими пристрій визначається як «підозрілий» у разі незначних флуктуацій мережевих пакетів, що може призвести до хибно-позитивних спрацювань.

5. Обмеженість аналізу EMC: Описуючи роботу активного модуля протидії (джаммера) на базі ESP32, автор зазначає необхідність дотримання норм

законодавства щодо використання радіочастотного ресурсу (електромагнітна сумісність). Проте в четвертому розділі бракує кількісного аналізу впливу Friendly Jamming на суміжні бездротові мережі, що функціонують поза межами досліджуваної лабораторії, але в межах того самого радіоканалу.

б. Обчислювальна складність оптимізації: Автор застосовує алгоритм ройового інтелекту (PSO) для знаходження глобального екстремуму цільової функції розміщення джаммерів. Бажано було б надавати оцінку часу збіжності цього алгоритму та обчислювальної складності для приміщень зі значно більшою кількістю капітальних стін та потенційних точок витоку, оскільки це впливає на можливість масштабування системи.

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 галузі «Інформаційні технології».

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

Офіційний опонент:

декан факультету інформаційних технологій
та дизайну, доцент кафедри комп'ютерних систем
та мереж Херсонського національного
технічного університету,
канд. техн. наук, доцент



Віктор КОЗЕЛ

«27» ТРАВНЯ 2026 р.

Підпис *Віктора Козеля*
засвідчую
Начальник відділу кадрів ХНТУ

Віктор Козель

