

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора
Передерія Віктора Івановича
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.

Широке впровадження бездротових технологій передачі даних у повсякденну практику сучасних підприємств, установ та об'єктів критичної інфраструктури супроводжується появою нових критичних викликів у сфері захисту інформації. Специфіка радіоефіру як відкритого та не обмеженого фізичними стінами середовища робить бездротові комп'ютерні мережі (БKM) вразливими до радіорозвідки, несанкціонованого доступу (НСД) та цілеспрямованих завадових впливів. Практика показує, що стандартні криптографічні протоколи логічного рівня (WPA2, WPA3) неспроможні повноцінно запобігти загрозам фізичного рівня (L1), таким як DoS-атаки (Deauthentication Flood), пасивне перехоплення Handshake-пакетів або розгортання фальшивих точок доступу типу «Evil Twin».

Традиційні підходи, що базуються на пасивному радіоекрануванні або клітках Фарадея, відрізняються високою вартістю, складністю монтажу та абсолютною статичністю, що унеможлиблює їх адаптацію до змінної радіообстановки. За таких обставин виникає актуальна науково-прикладна задача створення гнучких комплексних механізмів формування контрольованих зон (КЗ). Концепція полягає в інтеграції фізичних методів обмеження поширення радіосигналу (Transmit Power Control, спрямовані антени) з активними

програмно-апаратними засобами вибіркового пригнічення завад (смайт-джаммерами) та системами інтелектуального моніторингу периметра (WIDS/WIPS). Отже, дисертаційне дослідження Є. О. Уханя, спрямоване на підвищення ефективності захисту БКМ і керованості радіопокриттям, є своєчасним, актуальним та має вагомe практичне значення для сфери 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.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в комплексному методологічному підході до побудови систем захисту інформації в бездротовому просторі, що вперше інтегрує контроль як логічних, так і фізичних параметрів функціонування бездротових комп'ютерних мереж безпосередньо в єдиний процес формування контрольованої зони. Це забезпечує високу достовірність та адекватність отриманих результатів, оскільки запропоновані моделі не оперують абстрактними або відірваними від реальності метриками, а базуються на фізичних параметрах радіоефіру (зокрема, рівні потужності RSSI, відношенні сигнал/шум SNR та затуханні радіохвиль у заводових середовищах), які мають чітку операційну семантику, обмеження та фізичну природу поширення сигналів, що детально враховуються на етапах ітераційного керування. Обґрунтованість такого підходу переконливо підтверджується зниженням рівня невизначеності й зашумленості даних порівняно з традиційними методами, які аналізують лише логічні пакети мережевого трафіку. Це дозволило будувати захисні предиктивні контури, що є максимально релевантними реальним фізичним межах об'єктів та архітектурній специфіці бездротового обладнання.

Новизна дослідження також яскраво виявляється у розробці формалізованого методу оптимального позиціонування WiFi-джерел за допомогою модифікованого алгоритму ройового інтелекту (PSO), що дозволяє розв'язати проблему багатокритеріальної оптимізації радіопокриття, яка тривалий час була головною перешкодою для практичного впровадження систем вибіркового радіопригнічення. Запропоновані автором критерії оцінки ефективності (зокрема, нормалізація покриття, мінімізація витoku сигналу за межі фізичного периметра та максимізація SNR усередині захищеної зони) забезпечують високу об'єктивність, точність та відтворюваність геометричного моделювання КЗ. Це повністю усуває необхідність суб'єктивного емпіричного підбору параметрів чи ресурсомісткого повного перебору варіантів розташування засобів протидії. Завдяки цьому суттєво підвищується загальна надійність системи захисту, адже її функціонування спирається на чітко квантифіковані показники якості ізоляції радіосигналу на фізичному рівні.

Обґрунтованість наукових положень підтверджується проведенням автором глибоким системним аналізом сучасних вітчизняних та закордонних наукових праць провідних учених у сфері кібербезпеки БКМ, чітким та логічним формулюванням мети та задач дослідження, коректним математичним описом запропонованих моделей і алгоритмів, а також натурними експериментальними дослідженнями, які виконані в лабораторних умовах за допомогою загальноприйнятих інженерних методик і сучасних засобів моніторингу. Крім того, достовірність наукових результатів і висновків підтверджується публікаціями у профільних фахових виданнях, отриманням свідоцтва про реєстрацію авторського права на розроблене програмне забезпечення, а також успішними доповідями та дискусіями на авторитетних науково-практичних конференціях.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі комп'ютерної інженерії Чорноморського національного університету імені Петра Могили під керівництвом доктора технічних наук, професора Журавської Ірини Миколаївни, в рамках виконання державної науково-дослідної роботи «Розробка модулів автоматизації бездротових приладів відновлення пост-інфарктних, пост-інсультних пацієнтів в індивідуальних умовах віддаленої реабілітації» (№ державної реєстрації 0121U109898).

Отже, в дисертаційній роботі виконано важливе науково-практичне завдання, що полягало у розробленні комбінованих методів та програмно-апаратних засобів формування контрольованих зон в бездротових комп'ютерних мережах, а здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності та виявив високу наукову кваліфікацію.

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 трирівневої 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 пропускної 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. Слід зазначити обмеженість архітектурного аналізу БКМ: автор фокусує дослідження на формуванні КЗ для інфраструктурного режиму (Infrastructure Mode) технології IEEE 802.11. Поза увагою залишилися особливості захисту та формування периметра для розподілених коміркових мереж (Mesh/WDS), які дедалі частіше використовуються у промислових інфраструктурах.

2. Розрахунки та натурні експерименти (Розділ 4) проводилися за умови відносно стабільного фонового зашумлення ($\text{Noise}\backslash\text{Floor} = -96$ дБм). Бажано було б надати оцінку стійкості запропонованого ітераційного алгоритму адаптивного керування за умов різкої, динамічної зміни інтерференційного фону (наприклад, при масовому увімкненні сторонніх побутових або промислових джерел завад).

3. У підрозділах 2.3 та 3.3.2 детально описано використання реляційної бази даних PostgreSQL для перевірки профілів пристроїв. Проте в роботі недостатньо чітко розкрито алгоритм обробки випадків, коли легітимний пристрій легально змінює свої логічні атрибути (наприклад, оновлення версії ОС або зміна Hostname), що може призвести до помилкового тригерування джаммера.

4. Наведений у додатку В конфігураційний файл RouterOS v7 містить налаштування інтерфейсів бездротового зв'язку та правил брандмауера для інтеграції з Zabbix, але в тексті дисертації бракує розгорнутого аналізу безпеки самого каналу управління (SNMP/API) між ядром мережі та сенсорами ESP32, який сам по собі може стати об'єктом атаки.

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

Офіційний опонент:

професор кафедри комп'ютерних технологій
та інформаційної безпеки Національного
університету кораблебудування
імені адмірала Макарова,
д-р техн. наук, професор

Віктор ПЕРЕДЕРІЙ