

## **ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ РОЗРОБКИ ОБЛАДНАННЯ ТА РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**УДК 621.396.49**

**Гарист А. В.,**

*garist@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9265-7568,*

*начальник відділу,*

*Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз*

*Служби безпеки України, м. Київ*

### **ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ЗАВАДОСТІЙКОСТІ WI-FI МЕРЕЖ У ЩІЛЬНОМУ РАДІОЕЛЕКТРОННОМУ СЕРЕДОВИЩІ**

**Анотація.** У статті розглянуто актуальну проблему забезпечення високої продуктивності та завадостійкості Wi-Fi мереж в умовах щільного радіоелектронного середовища, яке характерне для сучасних офісних центрів, навчальних корпусів, житлових кварталів і громадських місць. Зростання кількості бездротових пристроїв, підвищення вимог до швидкості передавання даних, а також одночасна робота багатьох джерел радіовипромінювання створюють суттєві труднощі для стабільного функціонування мереж стандарту Wi-Fi. За таких умов погіршується рівень прийнятого сигналу, зростає ймовірність помилок, збільшується затримка передачі даних та знижується фактична пропускна здатність каналу. Особливу складність становить взаємний вплив бездротових систем, що працюють у близьких частотних діапазонах. До них належать не лише точки доступу Wi-Fi, а й мережі Bluetooth, пристрої IoT, радіомодулі систем автоматизації та побутова електроніка з активними передавачами. У результаті мережеве середовище стає динамічним і важкопрогнозованим, а класичні схеми розподілу ресурсів втрачають ефективність. Це зумовлює потребу в удосконаленні методів планування радіоканалів, адаптивного вибору робочих частот, керування потужністю передавачів і застосування інтелектуальних алгоритмів оптимізації трафіку. Актуальність теми зумовлена також переходом до нових версій стандарту Wi-Fi, які орієнтовані на вищу щільність підключень, менші затримки та кращу роботу при множинних підключеннях. Водночас навіть сучасні рішення не завжди забезпечують достатню якість зв'язку без урахування конкретних особливостей радіоелектронного оточення. Тому дослідження, спрямовані на підвищення завадостійкості Wi-Fi мереж, мають не лише теоретичне, а й практичне значення для побудови надійних бездротових інфраструктур. У статті проведено аналіз основних чинників, що впливають на продуктивність Wi-Fi мереж у зашумленому середовищі, та визначено ефективні підходи до мінімізації впливу завад. Результати дослідження можуть бути використані під час проектування, модернізації та оптимізації бездротових мереж у складних умовах експлуатації.

**Ключові слова:** Wi-Fi мережа, передавання даних, Wi-Fi інфраструктура, бездротова система, радіочастотний спектр, завада.

**Haryst A. V.,**

garist@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9265-7568,

The Ukrainian scientific and research

Institute of special equipment and forensic expertise of the Security Service of Ukraine, Kyiv

## **IMPROVING THE PERFORMANCE AND IMMUNITY OF WI-FI NETWORKS IN A DENSE RADIO ELECTRONIC ENVIRONMENT**

**Abstract.** The article considers the current problem of ensuring high performance and interference immunity of Wi-Fi networks in a dense radio electronic environment, which is typical for modern office centers, educational buildings, residential areas and public places. The growth in the number of wireless devices, increased requirements for data transfer speed, as well as the simultaneous operation of many sources of radio radiation create significant difficulties for the stable functioning of Wi-Fi standard networks. Under such conditions, the level of the received signal deteriorates, the probability of errors increases, the data transmission delay increases and the actual channel bandwidth decreases. Of particular difficulty is the mutual influence of wireless systems operating in close frequency ranges. These include not only Wi-Fi access points, but also Bluetooth networks, IoT devices, radio modules of automation systems and consumer electronics with active transmitters. As a result, the network environment becomes dynamic and unpredictable, and classic resource allocation schemes lose their effectiveness. This necessitates the improvement of radio channel planning methods, adaptive selection of operating frequencies, transmitter power control, and the use of intelligent traffic optimization algorithms. The relevance of the topic is also due to the transition to new versions of the Wi-Fi standard, which are focused on higher connection density, lower latency, and better performance with multiple connections. At the same time, even modern solutions do not always provide sufficient communication quality without taking into account the specific features of the radio electronic environment. Therefore, research aimed at increasing the noise immunity of Wi-Fi networks is of not only theoretical but also practical importance for building reliable wireless infrastructures. The article analyzes the main factors affecting the performance of Wi-Fi networks in a noisy environment, and identifies effective approaches to minimizing the impact of interference. The results of the study can be used when designing, upgrading, and optimizing wireless networks in difficult operating conditions.

**Key words:** Wi-Fi network, data transmission, Wi-Fi infrastructure, wireless systems, radio frequency spectrum, interference.

**DOI:** <https://doi.org/10.32782/2522-1221-2026-46-02>

**Постановка проблеми.** У сучасних умовах стрімкого зростання кількості бездротових пристроїв Wi-Fi мережі працюють у все більш складному та насиченому радіоелектронному середовищі. Особливо це помітно в офісних центрах, навчальних закладах, багатоквартирних будинках, торговельних комплексах і на промислових об'єктах, де одночасно функціонують десятки або навіть сотні джерел радіовипромінювання. За таких умов мережі стикаються із взаємними завадами, перевантаженням каналів, нестабільністю з'єднання та нерівномірним розподілом ресурсів між користувачами. У результаті фактична швидкість передавання даних часто суттєво відрізняється від розрахункової, а якість обслуговування погіршується.

Проблема ускладнюється тим, що більшість типових рішень для побудови Wi-Fi інфраструктури орієнтовані на середні умови експлуатації

та не повною мірою враховують динаміку радіооточення. На практиці рівень завад змінюється залежно від щільності підключень, розташування точок доступу, наявності сусідніх мереж, характеристик приміщення та режимів роботи кінцевих пристроїв. Це призводить до частих помилок, зростання затримок, повторних передавань і зниження енергоефективності мережевого обладнання. Особливо гостро ця ситуація проявляється у діапазонах, де працює велика кількість суміжних бездротових систем.

Незважаючи на розвиток сучасних стандартів Wi-Fi, питання підвищення продуктивності та завадостійкості в умовах щільного радіоелектронного середовища залишається недостатньо вирішеним. Існуючі підходи до автоматичного вибору каналу, регулювання потужності та балансування навантаження не завжди забезпечують

стабільний результат без урахування локальних особливостей конкретного середовища. Саме тому виникає потреба в комплексному дослідженні факторів, що впливають на якість функціонування Wi-Fi мереж, а також у розробленні ефективних методів їх адаптації до умов високої щільності завад.

Проблематика полягає в необхідності підвищення продуктивності Wi-Fi мереж та забезпечення їхньої стійкої роботи в умовах інтенсивних взаємних завад і обмеженого частотного ресурсу. Розв'язання цієї проблеми дасть змогу покращити якість бездротового зв'язку, підвищити надійність мережевої інфраструктури та ефективність використання радіочастотного спектра.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У останні роки проблематика підвищення продуктивності та завадостійкості Wi-Fi мереж у щільному радіоелектронному середовищі активно досліджується як у навчально-наукових роботах, так і в прикладних публікаціях, присвячених оптимізації бездротових інфраструктур. Значна частина робіт зосереджена на аналізі методів покращення швидкості передавання даних, зменшення затримок і підвищення стабільності з'єднання в умовах інтенсивного навантаження на радіоканал.

Практичні публікації та технічні огляди 2024–2026 років підкреслюють, що переваги Wi-Fi 7 не завжди реалізуються в повному обсязі через регуляторні обмеження, високу вартість оновлення інфраструктури та необхідність масового переходу клієнтських пристроїв на новий стандарт. Новий стандарт має значний потенціал, але його впровадження потребує технічно й економічно обґрунтованого підходу. Подібну думку підтримують матеріали щодо корпоративних мереж, де підкреслюється, що Wi-Fi 7 доцільний насамперед у високонавантажених або нових інфраструктурах [1].

Окремий напрям досліджень пов'язаний із роботою Wi-Fi 6 у щільних розгортаннях. У статті «Rate Control With Spatial Reuse for Wi-Fi 6 Dense Deployments» розглянуто підходи до керування швидкістю передавання з урахуванням просторового повторного використання спектра, що є особливо актуальним для офісів і багатоквартирних будинків [2]. У свою чергу, стаття «Performance Analysis of Uplink Multi-User OFDMA in IEEE 802.11ax» присвячена аналізу з'єднань багатьох користувачів за технологією OFDMA, який розглядається як один із базових інструментів підвищення пропускної здатності в навантажених мережах [3].

Паралельно досліджуються методи структуризації Wi-Fi мереж, зокрема побудова топології з урахуванням активності клієнтів, маршрутизації трафіку та зменшення затримок. Такі підходи спрямовані на підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу, балансування навантаження між точками доступу та покращення енергоефективності мережевого обладнання. Разом із тим більшість відомих рішень орієнтована на окремі аспекти роботи мережі й не завжди враховує комплексний вплив взаємних завад, особливостей планування спектра та змінної щільності користувачів [4].

Отже, аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про наявність суттєвого прогресу в удосконаленні стандартів і методів оптимізації Wi-Fi, але водночас виявляє недостатню опрацьованість питань адаптації мереж до щільного радіоелектронного середовища. Саме це обґрунтовує актуальність подальшого дослідження шляхів підвищення продуктивності та завадостійкості Wi-Fi мереж [5].

**Постановка завдання.** Метою статті є дослідження особливостей функціонування Wi-Fi мереж у щільному радіоелектронному середовищі та обґрунтування підходів до підвищення їхньої продуктивності й завадостійкості. У статті передбачається дослідити вплив взаємних завад, перевантаження частотних каналів, конфліктів, нерівномірного розподілу навантаження між точками доступу та особливостей просторового розміщення мережевого обладнання на ефективність функціонування Wi-Fi мереж.

Об'єктом дослідження є Wi-Fi мережі, що функціонують в умовах щільного радіоелектронного середовища. Предметом дослідження є методи, алгоритми та технічні засоби підвищення продуктивності й завадостійкості таких мереж.

Результатом виконання поставленого завдання має стати визначення ефективних підходів до оптимізації параметрів Wi-Fi мереж, які забезпечують більш стабільну роботу бездротового сегмента, підвищення якості обслуговування користувачів та раціональніше використання радіочастотного ресурсу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Можливості сучасних Wi-Fi мереж істотно залежать від умов їх експлуатації, а саме від щільності розміщення точок доступу, кількості активних користувачів, рівня зовнішніх завад і особливостей поширення випромінювання в конкретному приміщенні чи на відкритій місцевості.

У щільному радіоелектронному середовищі основними факторами, що знижують продуктивність мережі, є взаємне накладання каналів, повторні передавання пакетів, зростання затримок і нерівномірне завантаження окремих сегментів мережі. Це особливо характерно для офісних будівель, навчальних аудиторій, торговельних центрів і багатоквартирних житлових будинків, де одночасно працює велика кількість бездротових пристроїв.

Одним із ключових шляхів підвищення ефективності Wi-Fi є правильне проектування радіомережі ще на етапі її розгортання. Доцільно враховувати не лише формальні параметри покриття, а й реальну щільність користувачів, наявність джерел завад, матеріали огорожувальних конструкцій та можливі зони екранування сигналу. Практика показує, що навіть за достатнього рівня потужності сигналу мережа може працювати нестабільно через неправильний вибір каналу або невдале розміщення точок доступу. Тому планування частотного ресурсу та просторової структури мережі має бути адаптивним і базуватися на аналізі реальної радіообстановки.

Важливе значення має механізм автоматичного вибору каналу. У діапазонах, де одночасно працює багато мереж, статичне призначення каналу часто призводить до перевантаження окремих частот і зниження пропускної здатності. Використання динамічних алгоритмів дозволяє точкам доступу переходити на менш завантажені канали та зменшувати вплив сусідніх мереж. Разом із цим доцільним є регулювання потужності передавачів, оскільки надмірно висока потужність не завжди покращує якість зв'язку, а інколи лише збільшує взаємні завади між суміжними вузлами.

Окрему роль у підвищенні продуктивності відіграє балансування навантаження між точками доступу. У великих мережах частина клієнтів може підключатися до найближчої точки доступу, яка вже перевантажена, тоді як інші вузли працюють із недовантаженням. Застосування механізмів керування організацією клієнтів, пріоритету трафіку та розподілу користувачів між декількома точками доступу дає змогу підвищити загальну ефективність мережі. Особливо це важливо для сервісів, чутливих до затримок, таких як відеоконференції, IP-телефонія та потокова передача даних.

У сучасних версіях стандарту Wi-Fi передбачено низку рішень, спрямованих на роботу в умовах високої щільності підключень. До них

належать багатокористувацький доступ, ефективніше використання спектра та покращені механізми обробки трафіку. Проте на практиці потенціал цих технологій повністю реалізується лише за умови грамотного налаштування мережевого обладнання та врахування особливостей конкретного середовища. Саме тому технічні можливості стандарту мають поєднуватися з локальною оптимізацією мережі.

Таким чином, підвищення продуктивності та завадостійкості Wi-Fi мереж у щільному радіоелектронному середовищі досягається не окремим технічним рішенням, а сукупністю взаємопов'язаних заходів. До них належать раціональне планування топології, адаптивне керування частотними каналами, оптимізація потужності передавання, балансування навантаження та використання можливостей сучасних стандартів зв'язку. Комплексне застосування цих підходів дає змогу забезпечити стабільну роботу мережі, підвищити якість обслуговування користувачів і ефективніше використовувати радіочастотний ресурс.

Для більшості корпоративних мереж перехід на Wi-Fi 7 сьогодні часто є передчасним, якщо основними критеріями є вартість, стабільність і реальна користь для бізнесу, а не максимальна пікова швидкість. Найчастіше більш раціональним кроком є доопрацювання Wi-Fi 6/6E або навіть оптимізація поточної інфраструктури, бо саме це дає кращий баланс ціни та результату.

Wi-Fi 7 дійсно додає важливі можливості, зокрема Multi-Link Operation, ширші канали та покращення для щільних мереж, але ці переваги повністю розкриваються лише за наявності сумісних клієнтів, правильно спроектованої мережі та відповідного спектра. Для багатьох офісів основне навантаження – це відеозустрічі, хмара, CRM-система, друк, POS-система і корпоративні сервіси, а для них Wi-Fi 6 уже часто достатній. У такій ситуації переплата за Wi-Fi 7 не завжди дає відчутний приріст у щоденній роботі.

Перехід на Wi-Fi 7 зазвичай означає не лише купівлю нових точок доступу, а й заміну або оновлення комутаторів, кабельної інфраструктури, контролерів, а також поступове оновлення клієнтських пристроїв. Це збільшує загальну вартість проекту, тоді як реальна користь з'являється поступово, у міру оновлення парку пристроїв. Для малого та середнього бізнесу це часто робить окупність довшою, ніж у випадку модернізації до якісно налаштованого Wi-Fi 6.

З погляду стабільності, новий стандарт сам по собі не гарантує кращого результату. Більшість проблем у корпоративних мережах виникає через радіопланування, щільність точок доступу, завади та неправильні налаштування, а не лише через “застарілість” стандарту. Крім того, у деяких регіонах доступ до 6 ГГц може бути регуляторно обмежений, що зменшує частину переваг Wi-Fi 7. Тому в реальних умовах стабільність часто більше залежить від якості впровадження, ніж від покоління Wi-Fi.

У сучасних умовах ефективність Wi-Fi мережі значною мірою визначається не лише технічними характеристиками обладнання, а й якістю її радіочастотного планування. У практиці розгортання корпоративних і високонавантажених бездротових мереж дедалі більшого значення набувають методи динамічного керування радіоресурсом, зокрема Radio Resource Management, автоматичний вибір каналів, контроль ширини каналу та адаптивне регулювання потужності передавачів. Такі механізми дозволяють зменшити рівень взаємних завад, підвищити стабільність зв'язку та раціональніше використовувати доступний спектральний ресурс.

Особливо важливим для щільних середовищ є правильний вибір ширини каналу. Хоча широкі канали забезпечують вищу теоретичну пропускну здатність, у реальних умовах офісних, промислових та навчальних об'єктів вони часто призводять до зростання імовірності накладання спектра та ко-канальних завад. Саме тому в багатьох сценаріях доцільніше застосовувати не максимальну ширину каналу, а таку конфігурацію, яка забезпечує кращий баланс між швидкістю, повторним використанням частот і стабільністю роботи мережі. Досвід сучасних випробувань Wi-Fi 7 також показує, що навіть нові покоління бездротового зв'язку в щільних корпоративних середовищах не завжди використовують канали 320 МГц, оскільки це обмежує спектральне повторне використання та ускладнює планування мережі.

Не менш значущою є проблема ко-канальної інтерференції, яка виникає внаслідок надмірного перекриття зон обслуговування сусідніх точок доступу. На відміну від випадкового шуму, така інтерференція безпосередньо зменшує доступний ефірний час, збільшує затримки, рівень джитера та кількість повторних передавань. У зв'язку з цим важливим завданням під час побудови Wi-Fi мережі є не максимальне збільшення кількості точок доступу, а досягнення оптимального

балансу між щільністю покриття, рівнем сигналу та ступенем перекриття осередків. Надмірне ущільнення інфраструктури може погіршити роботу мережі навіть у разі використання сучасного обладнання.

Перспективним напрямом підвищення ефективності Wi-Fi мереж є інтеграція централізованого моніторингу та аналітики. Сучасні платформи керування дають змогу виявляти перевантажені точки доступу, контролювати зміну рівнів сигналу, аналізувати характер трафіку та своєчасно коригувати конфігурацію мережі. Завдяки цьому адміністратор може не лише реагувати на проблеми після їх виникнення, а й запобігати деградації якості обслуговування в реальному часі. Для корпоративних мереж такий підхід є особливо важливим, оскільки забезпечує узгодження радіочастотних параметрів із бізнес-пріоритетами, вимогами до безперервності сервісів і безпеки передавання даних.

Таким чином, практика останніх років підтверджує, що підвищення продуктивності Wi-Fi мереж у щільному радіоелектронному середовищі досягається насамперед за рахунок грамотного радіочастотного проектування, оптимізації ширини каналів, контролю інтерференції та впровадження інтелектуального керування мережею. Саме комплексне поєднання цих рішень створює передумови для стабільної роботи бездротової інфраструктури в умовах зростання навантаження та підвищення вимог до якості зв'язку.

**Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі.** У результаті проведеного дослідження встановлено, що продуктивність Wi-Fi мереж у щільному радіоелектронному середовищі визначається сукупним впливом взаємних завад, перевантаження частотних каналів, нерівномірного розподілу користувачів між точками доступу та особливостей просторового поширення сигналу. Показано, що навіть за використання сучасного мережевого обладнання реальна якість бездротового зв'язку може суттєво знижуватися в умовах високої щільності підключень і наявності суміжних джерел випромінювання.

У статті обґрунтовано, що підвищення ефективності Wi-Fi мереж потребує комплексного підходу, який поєднує раціональне планування топології, адаптивний вибір каналів, оптимізацію потужності передавання та балансування навантаження між точками доступу. Встановлено, що застосування сучасних механізмів стандартів Wi-Fi 6 і Wi-Fi 7, зокрема OFDMA, MU-MIMO, Multi-Link

Operation та adaptive puncturing, створює передумови для підвищення пропускної здатності, зменшення затримок і покращення стабільності мережі в багатокористувачьких сценаріях.

Разом із тим визначено, що самі по собі технологічні можливості нових стандартів не гарантують високої ефективності без належного врахування характеристик конкретного середовища функціонування мережі. Отже, перспективним напрямом подальших досліджень є розроблення адаптивних алгоритмів керування параметрами Wi-Fi мереж, які здатні у реальному часі реагувати на зміну радіообстановки та структури трафіку.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Михалевський Д.В., Бриль Д.Р. Оцінювання покриття корпоративних безпроводних мереж стандарту Wi-Fi за допомогою штучного інтелекту. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2025. Том 36 (75) № 6, ч. 1, С.82-87. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.6.1/12>.
2. Rate Control With Spatial Reuse for Wi-Fi 6 Dense Deployments [Електронний ресурс]. IEEE, 2020. Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/iel7/6287639/8948470/09194746.pdf> (дата звернення: 15.03.2026).
3. Performance Analysis of Uplink Multi-User OFDMA in IEEE 802.11ax [Електронний ресурс]. IEEE, 2018. Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8422692/> (дата звернення: 20.03.2026).
4. Дира В.В. Методи оптимізації взаємодії Ethernet і Wi-Fi у гібридних телекомунікаційних інфраструктурах. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2025. Том 36 (75) № 3, ч. 1, С.62-70. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.3.1/09>.
5. Understanding Multi-link Operation in Wi-Fi 7 [Електронний ресурс]. IEEE, 2023. Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10293865/> (дата звернення: 22.05.2026).
6. Bellalta B., Kosek-Szott K., Checco A., Zocca A. Wi-Fi meets ML: a survey on improving IEEE 802.11 performance with machine learning [Електронний ресурс]. 2024. Режим доступу: [https://repositori.upf.edu/bitstream/handle/10230/56024/Bellalta\\_Iee\\_Wi-fi.pdf](https://repositori.upf.edu/bitstream/handle/10230/56024/Bellalta_Iee_Wi-fi.pdf) (дата звернення: 22.05.2026).
7. Liu R., Choi N. A first look at Wi-Fi 6 in action: throughput, latency, energy efficiency, and security //

Proceedings of the ACM on Measurement and Analysis of Computing Systems. 2023. Vol. 7, no. 1. Art. 25. Режим доступу: <https://doi.org/10.1145/3579451> (дата звернення: 22.05.2026).

8. 802.11ax Technology White Paper [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://wwwsg.h3c.com/en/Support/Resource\\_Center/EN/Home/Switches/00-Public/Trending/Technology\\_White\\_Papers/802.11ax\\_Technology\\_White\\_Papers/](https://wwwsg.h3c.com/en/Support/Resource_Center/EN/Home/Switches/00-Public/Trending/Technology_White_Papers/802.11ax_Technology_White_Papers/) (дата звернення: 22.05.2026).

### REFERENCES

1. Mykhalevskiy D.V., Bryl D.R. Otsiniuvannia pokryttia korporativnykh bezprovodnykh merezh standartu Wi-Fi za dopomohoiu shturnoho intelektu. Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky. 2025. Tom 36 (75) № 6, ch. 1, 82-87. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.6.1/12>.
2. Rate Control With Spatial Reuse for Wi-Fi 6 Dense Deployments. IEEE, 2020. Internet crime report. <https://ieeexplore.ieee.org/iel7/6287639/8948470/09194746.pdf>
3. Performance Analysis of Uplink Multi-User OFDMA in IEEE 802.11. IEEE, 2018. Internet crime report. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8422692>.
4. Dyra V.V. Metody optymizatsii vzaemodii Ethernet i Wi-Fi u hibrydnykh telekomunikatsiynykh infrastrukturakh. Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky. 2025. Tom 36 (75) № 3, ch. 1, 62-70. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.3.1/09>.
5. Understanding Multi-link Operation in Wi-Fi 7. IEEE, 2023. . Internet crime report. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10293865>.
6. Bellalta B., Kosek-Szott K., Checco A., Zocca A. Wi-Fi meets ML: a survey on improving IEEE 802.11 performance with machine learning 2024. Internet crime report. [https://repositori.upf.edu/bitstream/handle/10230/56024/Bellalta\\_Iee\\_Wi-fi.pdf](https://repositori.upf.edu/bitstream/handle/10230/56024/Bellalta_Iee_Wi-fi.pdf)
7. Liu R., Choi N. A first look at Wi-Fi 6 in action: throughput, latency, energy efficiency, and security //

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Дата першого надходження статті до видання: 02.07.2026  
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 31.07.2026  
Дата публікації (оприлюднення) статті: 12.10.2026