ЗАТВЕРДЖУЮ
Перший проректор Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій
член-кореспондент НАН України,
доктор технічних наук, професор,
лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки,
Заслужений діяч науки і техніки України
_____ Олександр КОРЧЕНКО
«26» травня 2026 року

ВИСНОВОК

міжкафедрального семінару кафедри Телекомунікаційних систем та мереж Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційної роботи
Табора Дениса Івановича на тему: «Методи і модель підвищення ефективності передавання багатоканальним пристроєм в мережах стандарту IEEE 802.11be», поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань
17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

Витяг
з протоколу № 11 засідання кафедри Телекомунікаційних систем та мереж
від «22» травня 2026 року

Присутні: Головуючий на засіданні – директор Навчально-наукового інституту Телекомунікацій к.т.н., доцент Кравченко Владислав Ігорович.
З кафедри Телекомунікаційних систем та мереж:
завідувач кафедри - д.т.н., професор Заїка Віктор Федорович;
доцент кафедри - к.т.н., доцент Лаврінець Костянтин Григорович;
доцент кафедри - к.т.н., доцент Варфоломеєва Оксана Григорівна;
доцент кафедри - к.т.н., доцент Миронов Дмитро Вікторович;
професор кафедри - д.т.н., професор Власов Олександр Миколайович;
З кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій:
завідувач кафедри - к.т.н., доцент Галаган Наталія Вікторівна;
професор кафедри - д.т.н., професор Беркман Любов Наумівна;
доцент кафедри - PhD Скрипнік Вікторія Володимирівна;
професор кафедри - к.т.н., доцент Дакова Лариса Валеріївна;
З кафедри Робототехніки та технічних систем:
завідувач кафедри - д.т.н., професор Мельник Юрій Віталійович;

професор кафедри - к.т.н., доцент Бондаренко Тарас Григорович;
доцент кафедри - к.т.н., доцент Градобоєва Неля Вікторівна;

З кафедри Інтернет-технологій:

завідувач кафедри - к.т.н., Трейтяк В'ячеслав Віталійович.

Запрошені:

З кафедри Технічних систем кіберзахисту:

завідувач кафедри - д.т.н., професор Туровський Олександр Леонідович;
професор кафедри - к.т.н., доцент Пепа Юрій Володимирович.

Всього присутніх - 16 осіб, серед присутніх 5 докторів технічних наук, 10 кандидатів технічних наук та 1 доктор філософії.

ПОРЯДОК ДЕННИЙ:

Обговорення дисертаційної роботи аспіранта кафедри Телекомунікаційних систем та мереж Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій Табора Дениса Івановича на тему: «Методи і модель підвищення ефективності передавання багатоканальним пристроєм в мережах стандарту IEEE 802.11be», поданої на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Дисертація виконана на кафедрі Телекомунікаційних систем та мереж Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. Тема дисертаційної роботи затверджена в новій редакції та призначено наукового керівника:

кандидата технічних наук, доцента кафедри Телекомунікаційних систем та мереж Миронова Дмитра Вікторовича.

СЛУХАЛИ: доповідь про дисертаційну роботу Табора Дениса Івановича «Методи і модель підвищення ефективності передавання багатоканальним пристроєм в мережах стандарту IEEE 802.11be», подану на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

ТАБОР Д.І.: Шановні Голово, члени міжкафедрального семінару, присутні! Вашій увазі пропонується доповідь за дисертаційною роботою на тему: «Методи і модель підвищення ефективності передавання багатоканальним пристроєм в мережах стандарту IEEE 802.11be».

Сучасний етап розвитку бездротових локальних мереж характеризується зростанням обсягів трафіку, підвищенням щільності розгортання точок доступу та посиленням вимог до сервісів, чутливих до затримки і стабільності передачі даних.

У попередніх поколіннях Wi-Fi (4/5/6) приріст продуктивності досягався екстенсивним шляхом: за рахунок розширення смуг, переходу на складнішу модуляцію та збільшення кількості просторових потоків. Проте в неліцензованому спектрі зростання номінальної швидкості на фізичному рівні

вже не забезпечує пропорційного збільшення реальної пропускної здатності. Фундаментальним рішенням стало запровадження в новому поколінні Wi-Fi 7 багатоканальної роботи, завдяки якій багатоканальні пристрої можуть одночасно використовувати кілька ліній зв'язку в різних діапазонах, агрегувати їх, динамічно балансувати навантаження або дублювати пакети.

Аналіз наукових досліджень показує, що для об'єктивної оцінки реальної пропускної здатності в мережах нового покоління необхідне створення вдосконалених аналітичних інструментів для точного моделювання протоколів доступу до середовища. Водночас стоїть задача розробки комплексних причинно-наслідкових моделей технічної діагностики та радіомоніторингу, які б дозволяли на основі емпіричних вимірювань швидко прогнозувати придатність бездротового каналу для передачі трафіку під дією зовнішніх дестабілізуючих факторів. Окрім цього, значна увага науковців приділена створенню динамічних політик балансування навантаження, здатних адаптивно перерозподіляти інформаційні потоки між доступними радіоінтерфейсами залежно від миттєвого рівня перевантаженості каналів.

Основні проблеми, що зумовлюють актуальність дослідження, такі:

– стрімке зростання щільності пристроїв та обсягів трафіку, що призводить до перевантаженості неліцензованого спектра;

– проблема сумісності, справедливого доступу до каналу та деградації продуктивності під час спільної роботи пристроїв Wi-Fi 7 із пристроями попередніх поколінь (Wi-Fi 4/5/6);

– внутрішні завади при багатоканальній роботі, що обмежують можливості одночасного приймання та передавання через вплив між сусідніми радіоінтерфейсами.

Отже, постає науково-технічна задача, що полягає у розробці та удосконаленні моделей і методів управління ресурсами бездротової мережі, які, на відміну від існуючих, враховують комплексний вплив стану каналів, міжлінкових завад та обмежень режимів багатоканальної роботи в мережах стандарту IEEE 802.11be

Метою дослідження є підвищення ефективності передавання багатоканальним пристроєм шляхом розробки методів і моделей управління, що забезпечують максимізацію сумарної пропускної здатності та мінімізацію середньої затримки доставки пакетів у мережах стандарту IEEE 802.11be.

Для досягнення поставленої мети автором виконано наступні завдання дослідження:

– Провести аналіз архітектури багатоканального пристрою та мереж стандарту IEEE 802.11be для систематизації факторів, що впливають на ефективність роботи.

– Провести аналіз методів оцінювання стану каналу для багатоканальної роботи.

– Розробити модель, що дозволить проводити оцінку ефективності розподілу трафіку між каналами в багатоканальному пристрої.

– Розробити метод розподілу ресурсів спрямований на підвищення продуктивності передачі даних для багатоканального пристрою стандарту IEEE

802.11be.

– Експериментально перевірити ефективність запропонованого методу шляхом імітаційного моделювання та порівняти її з існуючими підходами.

Для досягнення поставленої мети у дисертаційній роботі особисто Табором Денисом Івановичем було одержано нові наукові результати:

– Удосконалено метод оцінки каналу для багатоканального пристрою стандарту IEEE 802.11be, який, на відміну від існуючих, ґрунтується на комплексному аналізі стану радіосередовища за рахунок впровадження інтегрованого показника якості та вагових коефіцієнтів, які формалізують поточне завантаження спектру, динаміку завад та вплив пристроїв попередніх поколінь Wi-Fi, що дозволяє проводити оцінку і забезпечити обґрунтований вибір оптимальних частотних конфігурацій і каналів.

– Вперше розроблено математичну модель розподілу трафіку для багатоканального пристрою, яка ґрунтується на представленні пристрою як єдиної системи масового обслуговування, де стан середовища та обмеження режимів багатоканальної роботи формалізуються вектором стану і матрицею рішень, а обґрунтування вибору досягається за рахунок встановлення аналітичного зв'язку між цими параметрами керування та очікуваними показниками якості обслуговування, що дозволяє прийняти рішення про доцільність використання політик розподілу трафіку для поточного циклу планування при багатоканальній роботі.

– Вперше розроблено метод розподілу ресурсів між каналами багатоканального пристрою, який інтегрує результати аналізу стану радіосередовища та модель розподілу трафіку за рахунок поєднання профілювання потоків даних за категоріями доступу із прогнозуванням їхнього часу зайнятості радіоресурсу та оптимізацією матриці розподілу навантаження, що дозволяє забезпечити узгоджене керування каналами для підвищення сумарної пропускної здатності та мінімізації затримок доставки пакетів при багатоканальній роботі.

Достовірність отриманих наукових результатів підтверджується експериментальною перевіркою. Верифікація довела ефективність розробленого методу, який у порівнянні з існуючими забезпечує підвищення сумарної пропускної здатності в середньому на 7–10 % та зменшення середньої затримки доставки пакетів з 2–3 мс до 1 мс, що задовольняє вимоги для обслуговування трафіку застосунків реального часу за умов високого навантаження.

Доповідь закінчено. Дякую за увагу!

Після завершення доповіді Табору Денису присутніми були поставлені наступні запитання:

1. Чому ефективне використання частотного ресурсу в багатоканальних бездротових мережах важко забезпечити традиційними методами локального вибору каналу?

2. Які основні цілі та завдання ставилися під час розроблення методу спільного управління ресурсами мережі?

3. Чому алгоритми, що орієнтуються лише на найменш завантажений канал, виявляються неефективними в умовах багатоканальної роботи та взаємних завад?

4. У чому полягає наукова новизна запропонованих моделей розподілу інформаційних потоків та оцінки загальної спектральної конфігурації пристрою?

5. Які типи характеристик сигналу, параметрів завадостійкості та показників черг очікування використовувалися під час побудови моделей?

6. Який математичний апарат застосовано для формалізації процесу розподілу інформаційних потоків між доступними лініями зв'язку?

7. Які результати імітаційного моделювання підтвердили ефективність розробленої системи порівняно з існуючими підходами?

8. Які переваги має запропонована система розподілу ресурсів порівняно з іншими політиками розподілу?

9. Як у роботі оцінюється ймовірність порушення часових обмежень та очікувана затримка для трафіку, чутливого до часу доставки?

10. У яких практичних сценаріях розгортання мереж та за яких умов навантаження найбільш доцільно застосовувати результати вашого дослідження?

11. Які інструменти використовувалися для створення імітаційної моделі та перевірки ефективності алгоритмів?

12. Які апаратні обмеження щодо неможливості одночасної передачі та приймання враховує запропонована математична модель?

13. Які критерії та показники використовувались для оцінки якості та порівняння розроблених методів керування доступом до середовища?

14. Які наукові публікації, виступи на конференціях або реалізації супроводжували дисертаційне дослідження?

15. Де саме вже впроваджено або планується впровадити результати вашої роботи на підприємствах або навчальному процесі?

На всі питання були дані вичерпні відповіді.

СЛУХАЛИ: відгук наукового керівника кандидата технічних наук, доцента Миронова Дмитра Вікторовича про дисертаційну роботу аспіранта Табора Дениса Івановича на тему: «Методи і модель підвищення ефективності передавання багатоканальним пристроєм в мережах стандарту IEEE 802.11be», подану на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

МИРОНОВ Д.В.: Дисертаційна робота Табора Дениса Івановича «Методи і модель підвищення ефективності передавання багатоканальним пристроєм в мережах стандарту IEEE 802.11be» наукові положення якої були використані під час проведення досліджень та підготовки матеріалів науково-дослідної роботи, що виконувалася у Державному університеті інформаційно-комунікаційних технологій за темою «Методи моніторингу продуктивності

телекомунікаційних мереж на основі аналізу показників їх якості» (договір № 11/24 від 03.06.2024 р. з ПНВП «Сардер Телеком»), а також використовуються в навчальному процесі Навчально-наукового інституту телекомунікацій Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій при виконанні кваліфікаційних робіт і викладанні навчальних дисциплін «Сенсорні бездротові мережі» та «Проєктування телекомунікаційних систем та мереж».

У процесі підготовки дисертації Табор Денис проявив себе як самостійний, наполегливий, відповідальний і високоерудований науковець, здатний формулювати та ефективно вирішувати складні наукові завдання. Він володіє сучасними методами наукових досліджень, аналітичними підходами, а також комунікаційними та іншими професійними компетентностями, що дозволяють йому логічно і послідовно представляти результати власних досліджень, публікувати їх у наукових виданнях, брати участь у наукових дискусіях, демонструючи вміння аргументовано обґрунтовувати та відстоювати власні наукові досягнення.

Автором дослідження коректно визначено мету, завдання, об'єкт і предмет дисертаційної роботи, що забезпечило логічну та методологічно цілісну побудову всіх етапів дослідження. У процесі виконання роботи було ефективно застосовано комплексний підхід, який поєднує методи системного аналізу, багатокритеріальної оптимізації, теорії масового обслуговування, теорії прийняття рішень в умовах стохастичної невизначеності та імітаційного моделювання. Застосування математичних моделей спектральної конфігурації, алгоритмів розподілу навантаження та механізмів параметрів доступу забезпечило всебічне дослідження проблеми узгодженого управління радіоресурсами з урахуванням міжлінкової взаємодії та апаратних обмежень режимів багатоканальної роботи. Під час роботи автором проведено перевірку запропонованих моделей та методу шляхом імітаційного моделювання в середовищі MATLAB (з пакетом WLAN Toolbox) з відтворенням гетерогенних сценаріїв, фізичної асиметрії каналів та перевагою трафіку реального часу, що дозволило оцінити їх ефективність в умовах конкуренції за радіосередовище. Такий підхід дав змогу не лише теоретично обґрунтувати новизну отриманих результатів, але й підтвердити їхню практичну придатність для імплементації на рівні управління доступом багатоканальних пристроїв. Забезпечено комплексне дослідження сумарної пропускної здатності, затримки доставки пакетів, частоти колізій, стійкості системи до перевантажень спектра та здатності алгоритмів дотримуватися жорстких часових обмежень для сервісів, чутливих до затримок.

У ході виконання дисертації автором повністю досягнуто поставленої мети - підвищення сумарної пропускної здатності та зменшення середньої затримки доставки пакетів у багатоканальних пристроях шляхом застосування моделей і методів управління радіоресурсами. Отримані результати мають суттєве практичне значення для фахівців у галузях телекомунікацій, проєктування та адміністрування бездротових мереж та експлуатації високощільних інформаційно-комунікаційних інфраструктур. Запропоновані рішення можуть бути інтегровані у програмне забезпечення пристроїв стандарту IEEE 802.11be,

системи управління радіоресурсами. Застосування матеріалів дослідження у навчальному процесі сприятиме підвищенню рівня професійної підготовки спеціалістів і формуванню сучасної компетентності у питаннях проєктування, розгортання та оптимізації бездротових мереж Wi-Fi 7.

Основні наукові результати викладені в 5 наукових статтях опублікованих у спеціалізованих фахових виданнях, затверджених наказом МОН України. Матеріали виступів на наукових та науково-практичних конференціях опубліковано у 3 збірниках тез доповідей.

Основні наукові та прикладні результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримані автором особисто.

Робота є самостійно виконаним науковим дослідженням, що відповідає принципам академічної доброчесності та не містить некоректних запозичень. Вона повністю відповідає спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка, за якою подається до захисту.

Дисертаційна робота Табора Дениса Івановича є завершеним науковим дослідженням, що робить вагомий внесок у розвиток теоретичних і прикладних аспектів телекомунікацій, зокрема у сфері узгодженого управління, оптимізації та динамічного розподілу радіочастотних ресурсів у бездротових мережах. Запропоновані автором науково-методичні підходи сприяють удосконаленню сучасних протоколів передачі даних, підвищенню спектральної ефективності, забезпеченню необхідної якості обслуговування для пріоритетного трафіку та формуванню адаптивних механізмів вибору каналів. Розроблені моделі та методи, зокрема метод оцінки стану каналів з урахуванням міжлінкової взаємодії, математична модель розподілу трафіку, демонструють високу ефективність в умовах функціонування мереж стандарту IEEE 802.11be. Дисертаційне дослідження відзначається актуальністю, науковою новизною і практичною значущістю, відкриваючи нові можливості для суттєвого підвищення пропускної здатності та надійності мереж Wi-Fi 7.

Робота виконана на високому науковому рівні, засвідчує наукову зрілість, ґрунтовну підготовку та високу професійну компетентність здобувача у галузі телекомунікації.

Отримані результати можуть бути використані операторами зв'язку, провайдерами телекомунікаційних послуг, у центрах управління мережами, у системах динамічного управління радіоресурсами та контролерах бездротових локальних мереж, при проєктуванні та експлуатації високощільних бездротових інфраструктур, а також у навчальному процесі підготовки фахівців за спеціальностями «Телекомунікації та радіотехніка» і «Мережеві технології».

Вважаю, що дисертаційна робота повністю готова до захисту, а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Призначені рецензенти:

д.т.н., професор, професор кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій Беркман Любов Наумівна; доктор філософії (PhD), доцент кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій Скрипнік Вікторія Володимирівна загалом позитивно оцінили дисертаційну роботу, відзначивши

її високу актуальність, теоретичну значущість та практичну цінність. Особливу увагу було приділено науковій новизні, обґрунтованості результатів і систематизованому підходу до вирішення поставленої проблеми.

Зокрема, **доктор технічних наук, професор, професор кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій Беркман Любов Наумівна** відзначила високий науковий рівень дисертаційної роботи Табора Дениса Івановича та її актуальність у контексті сучасних проблем управління радіочастотним ресурсом та дефіциту вільного спектра.

Загальний аналіз дисертації дозволив зробити наступні висновки:

1. Ознайомлення зі змістом дисертаційної роботи підтверджує логічність її побудови, чіткість наукової аргументації, а також обґрунтованість висновків і рекомендацій, сформульованих автором самостійно.

2. Структура роботи відповідає визначеній меті та поставленому науковому завданню. Дисертація ґрунтується на положеннях теорії телекомунікацій, теорії масового обслуговування, аналізу моделей гетерогенного трафіку та теорії математичного моделювання, що забезпечує її теоретичну глибину. Актуальність дослідження підтверджується проведеним аналізом сучасних систем управління бездротовими мережами, де за певними показниками ми бачимо, що розробка нових методів узгодженого управління радіочастотним ресурсом є важливою і необхідною для підвищення пропускної здатності та спектральної ефективності мереж стандарту IEEE 802.11be.

3. Автором сформульовано оригінальні наукові рішення, спрямовані на удосконалення механізмів динамічного розподілу радіоресурсів та управління доступом у бездротових мережах. Це реалізовано у запропонованій моделі, що поєднує метод оцінки стану каналів та алгоритми балансування навантаження з урахуванням апаратних обмежень режимів STR/NSTR. Розроблена система аналізує завантаженість радіосередовища й забезпечує гарантоване обслуговування пріоритетного трафіку. Отримані результати мають значний потенціал для підвищення надійності та ефективності сучасних високощільних телекомунікаційних інфраструктур.

4. Дисертаційне дослідження є самостійною науковою працею, що не містить некоректних запозичень. Опубліковані результати досліджень відображають основні положення наукової новизни та відповідають вимогам до дисертацій за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Позитивно оцінюючи положення дисертаційного дослідження Табора Д.І., **Беркман Л. Н.** звернула увагу на певні аспекти, що можуть бути уточнені або розширені:

1. У роботі приділено значну увагу технічним аспектам оцінки стану каналів та розподілу ресурсів, однак аналіз специфіки саме асиметричних умов завантаженості каналів при багатоканальній роботі, а також їх відмінностей від класичних однолінкових сценаріїв передачі даних потребує певного поглиблення. Було б корисно детальніше розглянути конкретні механізми виникнення міжлинійних завад у режимах NSTR, а також їхній вплив на здатність системи забезпечувати стабільну пропускну здатність при використанні широких каналів.

2. У роботі ґрунтовно досліджено принципи функціонування розробленого методу управління ресурсами, однак доцільно було б глибше проаналізувати вплив динамічно змінюваних умов радіоелектронної обстановки, таких як різкі піки інтерференції від сусідніх мереж, мобільність абонентських пристроїв чи зміна конфігурації доступних частотних смуг, на точність алгоритмів пріоритетизації трафіку та ймовірність затримок при перемиканні між лінками.

3. Дослідження має суттєвий прикладний потенціал, проте було б доцільно ширше розглянути питання практичної інтеграції запропонованих алгоритмів у програмно-апаратні стеки керування точками доступу (наприклад, у поєднанні з існуючими RRM-системами або контролерами бездротових мереж), а також визначити конкретні вимоги до обчислювальної складності запропонованих моделей та їх масштабованості в умовах обслуговування великої кількості одночасних підключень.

Наведені зауваження стосуються насамперед аспектів подальшого розвитку наукової тематики й не зменшують загальної цінності виконаного дослідження. Робота є завершеним науковим дослідженням, що робить вагомий внесок у розвиток методів управління радіочастотним ресурсом, оптимізації багатоканальної роботи у мережах Wi-Fi 7 та підвищення ефективності використання спектра. За рівнем наукової аргументації, методологічного опрацювання та практичної значущості отриманих результатів, дисертація відповідає вимогам, що висуваються до досліджень на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка». Робота виконана державною мовою з дотриманням норм академічної доброчесності.

Доктор філософії (PhD), доцент кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій Скрипнік Вікторія Володимирівна охарактеризувала дисертаційну роботу як ґрунтовне наукове дослідження високого рівня, що відображає актуальні виклики у сфері телекомунікацій, зокрема проблему підвищення пропускної здатності та ефективного управління радіоресурсами у мережах стандарту IEEE 802.11be. Робота містить чітке теоретичне обґрунтування, сучасні підходи до оцінки стану каналів з урахуванням міжлінкової взаємодії, математичні моделі розподілу трафіку за режимами STR/NSTR та практичні рішення щодо мінімізації часових затримок передачі пакетів. Наукові результати дослідження мають важливе значення для розвитку інтелектуальних систем динамічного управління радіоресурсами, підвищення спектральної ефективності бездротових інфраструктур та їх впровадження у сучасних мережах різного профілю.

Разом із позитивною оцінкою дисертації, рецензент висловив окремі зауваження та наголосив на перспективах подальших досліджень:

1. Запропонований механізм управління радіоресурсами та багатолінковими операціями орієнтований на загальні закономірності функціонування мереж Wi-Fi 7. Доцільно було б перевірити його ефективність у різних типах середовищ, таких як високощільні корпоративні мережі, сценарії з великою кількістю IoT-пристроїв або середовища з трафіком реального часу,

де профілі завантаженості каналів та вимоги до затримок можуть суттєво відрізнятися від стандартних.

2. У роботі переважно аналізуються сценарії зі стаціонарним розподілом ресурсів. Доцільним є поглиблене дослідження впливу часових факторів — тривалості сесій передачі даних, нерівномірності надходження пакетів, динамічної зміни інтерференції від сторонніх мереж на стійкість алгоритмів до різких коливань навантаження, що потребують миттєвої адаптації параметрів багатоканального з'єднання.

3. Дослідження фокусується на моделях розподілу ресурсів та оцінки каналів, однак потребує розширеного аналізу ефективності різних стратегій адаптації, зокрема динамічного перемикання між лінками, балансування трафіку в реальному часі, інтеграції з існуючими MAC-протоколами або механізмами агрегації каналів. Варто визначити оптимальні параметри калібрування для зменшення ймовірності колізій та затримок у реальних умовах експлуатації обладнання стандарту IEEE 802.11be.

Загалом, рецензована робота виконана на високому науковому рівні, вирізняється системністю, новизною технічних рішень та практичною цінністю отриманих результатів, проведена з дотриманням норм академічної доброчесності. Це дає підстави оцінити її позитивно та рекомендувати до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Рецензентами відзначено, що дисертаційна робота відповідає встановленим вимогам щодо наукової новизни, теоретичної та практичної значущості, а також може бути рекомендована до спеціалізованої вченої ради для попереднього розгляду та захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційної роботи Табора Дениса Івановича на тему «Методи і модель підвищення ефективності передавання багатоканальним пристроєм в мережах стандарту IEEE 802.11be», поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

Актуальність теми дослідження. Сучасний етап розвитку бездротових локальних мереж характеризується зростанням обсягів трафіку, підвищенням щільності розгортання точок доступу та посиленням вимог до сервісів, чутливих до затримки і стабільності передачі даних.

У попередніх поколіннях Wi-Fi (4/5/6) приріст продуктивності досягався екстенсивним шляхом: за рахунок розширення смуг, переходу на складнішу модуляцію та збільшення кількості просторових потоків. Проте в неліцензованому спектрі зростання номінальної швидкості на фізичному рівні вже не забезпечує пропорційного збільшення реальної пропускної здатності. Фундаментальним рішенням стало запровадження в новому поколінні Wi-Fi 7 багатоканальної роботи, завдяки якій багатоканальні пристрої можуть одночасно використовувати кілька ліній зв'язку в різних діапазонах, агрегувати їх, динамічно балансувати навантаження або дублювати пакети.

Аналіз наукових досліджень показує, що для об'єктивної оцінки реальної пропускної здатності в мережах нового покоління необхідне створення вдосконалених аналітичних інструментів для точного моделювання протоколів доступу до середовища. Водночас стоїть задача розробки комплексних причинно-наслідкових моделей технічної діагностики та радіомоніторингу, які б дозволяли на основі емпіричних вимірювань швидко прогнозувати придатність бездротового каналу для передачі трафіку під дією зовнішніх дестабілізуючих факторів. Окрім цього, значна увага науковців приділена створенню динамічних політик балансування навантаження, здатних адаптивно перерозподіляти інформаційні потоки між доступними радіоінтерфейсами залежно від миттєвого рівня перевантаженості каналів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Наукові положення в межах даного дослідження були використані під час проведення досліджень та підготовки матеріалів науково-дослідної роботи, що виконувалася у Державному університеті інформаційно-комунікаційних технологій за темою «Методи моніторингу продуктивності телекомунікаційних мереж на основі аналізу показників їх якості» (договір № 11/24 від 03.06.2024 р. з ПНВП «Сардер Телеком»), а також використовуються в навчальному процесі Навчально-наукового інституту телекомунікацій Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій при виконанні кваліфікаційних робіт і викладанні навчальних дисциплін «Сенсорні бездротові мережі» та «Проєктування телекомунікаційних систем та мереж».

Мета і завдання дослідження.

Метою дослідження є підвищення ефективності передавання багатоканальним пристроєм шляхом розробки методів і моделей управління,

що забезпечують максимізацію сумарної пропускної здатності та мінімізацію середньої затримки доставки пакетів у мережах стандарту IEEE 802.11be.

Для досягнення поставленої мети автором виконано наступні *окремі завдання дослідження*:

– Провести аналіз архітектури багатоканального пристрою та мереж стандарту IEEE 802.11be для систематизації факторів, що впливають на ефективність роботи.

– Провести аналіз методів оцінювання стану каналу для багатоканальної роботи.

– Розробити модель, що дозволить проводити оцінку ефективності розподілу трафіку між каналами в багатоканальному пристрої.

– Розробити метод розподілу ресурсів, спрямований на підвищення продуктивності передачі даних для багатоканального пристрою стандарту IEEE 802.11be.

– Експериментально перевірити ефективність запропонованого методу шляхом імітаційного моделювання та порівняти її з існуючими підходами.

Об'єкт дослідження – процес розподілу трафіку та ресурсів між каналами багатоканального пристрою у мережах стандарту IEEE 802.11be

Предмет дослідження – методи і моделі управління для максимізації сумарної пропускної здатності та мінімізації середньої затримки доставки пакетів.

Методи дослідження: системного аналізу, багатокритеріального аналізу, методи теорії прийняття рішень в умовах стохастичної невизначеності, методи теорії ймовірностей та математичної статистики, методи теорії масового обслуговування, методи комбінаторної оптимізації та евристичного пошуку, а також методи імітаційного (стохастичного) моделювання на базі таких інструментів, як MATLAB з використанням модуля WLAN Toolbox.

Достовірність отриманих наукових результатів підтверджується даними експериментальних перевірок та актами практичного впровадження, які засвідчують ефективність розроблених рішень, а саме:

– підвищення сумарної пропускної здатності в середньому на 7–10 % за рахунок розроблених моделей і методів управління радіоресурсами;

– зменшення середньої затримки доставки пакетів з 2–3 мс до 1 мс, що задовольняє вимоги щодо якості обслуговування трафіку застосунків реального часу.

Для оцінки результатів було використано порівняння розробленого методу з стратегіями розподілу трафіку між каналами в багатоканальному пристрої. Розроблені методи та модель застосовувались на тестовому моделюванні і показали високі результати у діапазоні середніх і високих навантажень.

Наукова новизна дослідження:

– Удосконалено метод оцінки каналу для багатоканального пристрою стандарту IEEE 802.11be, який, на відміну від існуючих, ґрунтується на комплексному аналізі стану радіосередовища за рахунок впровадження інтегрованого показника якості та вагових коефіцієнтів, які формалізують поточне завантаження спектру, динаміку завад та вплив пристроїв попередніх

поколінь Wi-Fi, що дозволяє проводити оцінку та забезпечити обґрунтований вибір оптимальних частотних конфігурацій і каналів.

– Вперше розроблено математичну модель розподілу трафіку для багатоканального пристрою, яка ґрунтується на представленні пристрою як єдиної системи масового обслуговування, де стан середовища та обмеження режимів багатоканальної роботи формалізуються вектором стану і матрицею рішень, а обґрунтування вибору досягається за рахунок встановлення аналітичного зв'язку між цими параметрами керування та очікуваними показниками якості обслуговування, що дозволяє прийняти рішення про доцільність використання політик розподілу трафіку для поточного циклу планування при багатоканальній роботі.

– Вперше розроблено метод розподілу ресурсів між каналами багатоканального пристрою, який інтегрує результати аналізу стану радіосередовища та модель розподілу трафіку за рахунок поєднання профілювання потоків даних за категоріями доступу із прогнозуванням їхнього часу зайнятості радіоресурсу та оптимізацією матриці розподілу навантаження, що дозволяє забезпечити узгоджене керування каналами для підвищення сумарної пропускної здатності та мінімізації затримок доставки пакетів при багатоканальній роботі.

Практичне значення отриманих результатів.

Дисертаційна робота має науково-практичний характер, її основні результати є самостійно розробленими, математично обґрунтованими та перевіреними за допомогою імітаційного моделювання.

Практична цінність одержаних результатів полягає в тому, що запропоновані в дисертаційній роботі математична модель та методи можуть слугувати основою для розробки та вдосконалення алгоритмів керування доступом до середовища в багатоканальних пристроях бездротових мереж стандарту IEEE 802.11be, а саме:

– Удосконалений метод оцінки каналу дозволяє автоматизувати процес динамічного вибору оптимальних частотних конфігурацій безпосередньо в пристроях. Завдяки впровадженню комплексного показника стану радіосередовища дозволяє знизити вплив міжканальних завад та пристроїв попередніх поколінь Wi-Fi, що підвищує стабільність з'єднання у щільно завантаженому спектрі.

– Математична модель розподілу трафіку дає можливість здійснювати кількісне порівняння та аналітичну оцінку ефективності різних політик керування доступом на рівні MAC, що дозволяє прогнозувати рівень затримок для пріоритетного трафіку та обґрунтовано обирати оптимальну стратегію розподілу навантаження між каналами в умовах апаратних обмежень багатоканальної роботи.

– Метод розподілу ресурсів може бути інтегрований у алгоритми канального рівня і дозволить реалізувати узгоджене між каналами динамічне керування навантаженням. Завдяки профілюванню потоків та оптимізації матриці керування дозволяє збільшити сумарну пропускну здатність

багатоканального пристрою та зменшити середній час доставки пакетів.

Особистий внесок здобувача.

Дисертація є самостійною науковою працею, в якій висвітлені власні ідеї і розробки автора, що дозволили вирішити поставлені наукові завдання. Робота містить теоретичні та методичні положення і висновки, сформульовані дисертантом особисто. Ідеї, положення чи гіпотези інших авторів мають відповідні посилання і використані для обґрунтування наукових позицій здобувача. Усі наукові праці, в яких опубліковано основні результати дисертаційного дослідження, виконані здобувачем одноосібно, без співавторів.

Апробація результатів дослідження.

Основні результати дисертаційної роботи були представлені та обговорені на міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях:

– V Всеукраїнська науково-практична конференція «Telecommunication: problems and innovation» (м. Київ, 2023);

– V Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасні інтелектуальні інформаційні технології в науці та освіті» (м. Київ, 2025);

– IX International Workshop «Computer Modeling and Intelligent Systems» CMIS-2026 (м. Запоріжжя, 2026).

Публікації

Основні наукові результати викладені в 5 наукових статтях опублікованих у спеціалізованих фахових виданнях, затверджених наказом МОН України. Матеріали виступів на наукових та науково-практичних конференціях опубліковано у 3 збірниках тез доповідей.

Список опублікованих праць за темою дисертації

1. Д. І. Табор, «Адаптивний алгоритм зміни каналу для багатоканального пристрою Wi-Fi 7 в умовах гетерогенних мереж» *Наукові записки Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій*, №1(7), С. 46 – 51, 2025, doi: 10.31673/2786-8362.2025.011691.

2. Д. Табор, «Оцінка ключових можливостей бездротової мережі Wi-Fi 7 покоління» *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, №4, С. 297 – 307, 2024, doi: 10.31891/2219-9365-2024-80-37.

3. Д. Табор, «Порівняння режимів доступу багатоканальних пристроїв в мережі IEEE 802.11be» *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, № 1, С. 250 – 259, 2025, doi: 10.31891/2219-9365-2025-81-31.

4. Д. Табор, «Методика розподілу ресурсів у багатодіапазонних бездротових мережах із пріоритетизацією трафіку» *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, №3, С. 171 – 175, 2025, doi: 10.31891/2219-9365-2025-83-22.

5. Д. Табор, «Метод математичного моделювання розподілу трафіку в багатолінкових пристроях» *Наукові записки Державного університету*

інформаційно-комунікаційних технологій, №1(9). С. 62 – 70, 2026, doi: 10.31673/2786-8362.2026.012742.

Структура та обсяг дисертації.

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів та висновків до них, а також бібліографії, що містить 107 посилань на 9 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 122 сторінки, з них 111 сторінок основного тексту, 26 малюнків, 4 таблиці.

Характеристика особистості здобувача.

Табор Денис Іванович у 2022 році закінчив Державний університет телекомунікацій та отримав диплом Магістра за спеціальністю «Телекомунікації та радіотехніка». У 2022 році вступив до аспірантури Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій, за спеціальністю «172 Телекомунікації та радіотехніка».

Під час виконання дисертаційної роботи Табор Денис провів ґрунтовне дослідження, спрямоване на аналіз сучасного стану проблематики, заявленої у дисертації. Було чітко визначено об'єкт, предмет, мету та завдання дослідження, обґрунтовано актуальність теми та обрано відповідні методи для досягнення поставлених цілей. Здобувач Табор Денис брав безпосередню участь під час постановки наукових завдань і обговорення отриманих результатів. Проявив себе як відповідальний, дисциплінований та ініціативний дослідник, здатний працювати як самостійно, так і в команді. Продемонстрував високий рівень теоретичної підготовки, володіє сучасними методами дослідження, аналітичними інструментами та практичними навичками. Системно підходить до вирішення наукових завдань, критично оцінює результати власної роботи, виявляє наполегливість у досягненні поставлених цілей.

Оцінка мови та стилю дисертації

Дисертація виконана фаховою українською мовою, текстове подання матеріалу відповідає стилю науково-дослідної літератури.

Рецензенти рекомендують: відповідно до **п.15** 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 2022р. №44, ***пропонується такий склад разової ради:***

Голова ради:

Мельник Юрій Віталійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Робототехніки та технічних систем Навчально-наукового інституту Телекомунікацій Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій

Рецензенти:

Беркман Любов Наумівна, доктор технічних наук, професор, професор кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій Навчально-наукового інституту Телекомунікацій Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій.

Скриннік Вікторія Володимирівна, доктор філософії (PhD), доцент кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій Навчально-наукового інституту Телекомунікацій Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій.

Офіційні опоненти:

Хлапонін Юрій Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри Інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки Державного торговельно-економічного університету.

Степанов Михайло Миколайович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри прикладної радіоелектроніки Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського.

На підставі результатів попередньої експертизи дисертації **Табора Дениса Івановича** і повноти публікації основних результатів дослідження

УХВАЛЕНО:

1. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Табора Дениса Івановича на тему «Методи і модель підвищення ефективності передавання багатоканальним пристроєм в мережах стандарту IEEE 802.11be».

2. Констатувати, що за актуальністю, ступенем наукової новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Табора Д.І. відповідає спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка та вимогам **Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах),** затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261, пп. **6, 7, 8 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.

3. Рекомендувати дисертацію Табора Д.І. на тему «Методи і модель підвищення ефективності передавання багатоканальним пристроєм в мережах стандарту IEEE 802.11be» до захисту на здобуття ступеня доктора філософії у разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

4. Рекомендувати вченій раді Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій затвердити склад разової спеціалізованої вченої ради:

Голова ради:

Мельник Юрій Віталійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Робототехніки та технічних систем Навчально-наукового інституту

Телекомунікацій Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій.

Рецензенти:

Беркман Любов Наумівна, доктор технічних наук, професор, професор кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій Навчально-наукового інституту Телекомунікацій Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій.

Скрипнік Вікторія Володимирівна, доктор філософії (PhD), доцент кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій Навчально-наукового інституту Телекомунікацій Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій.

Офіційні опоненти:

Хлапонін Юрій Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри Інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки Державного торговельно-економічного університету.

Степанов Михайло Миколайович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри прикладної радіоелектроніки Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського.

Результати голосування щодо рекомендації до захисту дисертації Табора Дениса Івановича:

"За" – 16

"Проти" – немає

"Утримались" – немає

Додаток: Презентація Табора Дениса Івановича на 26 сторінках.

Головуючий на засіданні
Директор Навчально-наукового інституту
Телекомунікацій Владислав КРАВЧЕНКО

ЗАВІДУВАЧ КАФЕДРИ
Телекомунікаційних систем та мереж Віктор ЗАЇКА

Секретар засідання Оксана ВАРФОЛОМЕЄВА