

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Омельянець Олександри Олександрівни
на тему «Вплив технологічних параметрів на експлуатаційні
характеристики електронної безпроводової системи передавання даних»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації
за спеціальністю 171 Електроніка

Актуальність теми дисертації.

Технології безпроводових локальних мереж стандарту IEEE 802.11 (Wi-Fi) набули значного поширення як засіб створення локальних мереж обміну даними і засіб доступу до ресурсів Інтернет. З часу створення у 1997 році, технології фізичного і канального рівнів мереж IEEE 802.11 зазнали суттєвих змін і удосконалення. Удосконалення спрямовані на збільшення пропускної здатності мережі та поліпшення якісних показників. У межах дисертаційної роботи досліджено основні характеристики мережі 802.11 ас і отримано оцінки ефективності удосконалених технічних рішень, запропонованих у цій специфікації. Питанням щодо функціонування мереж IEEE 802.11 на канальному рівні присвячено багато досліджень, а питання функціонування мережі на фізичному рівні залишається здебільшого поза увагою фахівців. Водночас процеси, що мають місце на фізичному рівні, суттєво впливають на характеристики мережі, їх врахування може забезпечити кращі експлуатаційні показники мережі в цілому, що й визначає актуальність проведених досліджень.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в нижче наведеному:

1. Отримав подальший розвиток метод дослідження експлуатаційних характеристик безпроводових мереж на підґрунті концепції віртуального конкурентного вікна для визначення показників якості передавання мультимедійного трафіку у змішаних мережах з пріоритизацією.

2. Удосконалено метод оцінювання впливу технологічних параметрів на граничні експлуатаційні характеристики електронної безпроводової системи передавання даних за стандартом IEEE 802.11 ас в режимі конкурентного доступу.

3. Вперше обґрунтовано оцінки ефективності технологічних рішень, застосованих для підвищення пропускної здатності безпроводової електронної

системи передавання даних за стандартом IEEE 802.11 ас, за умов обмеженого енергетичного ресурсу.

4. Отримала подальший розвиток теорія функціонування безпроводової мережі передавання даних з конкурентним доступом в режимі пріоритизації трафіку.

Обґрунтуванням і підтвердженням достовірності положень наукової новизни, отриманих в дисертації, є наведена в роботі така інформація:

– Стосовно першого пункту в роботі запропоновано оригінальні математичні співвідношення, що доповнюють математичний апарат, сформований на підґрунті концепції віртуального конкурентного вікна, для визначення показників якості передавання мультимедійного трафіку у змішаних мережах з пріоритизацією. Із застосуванням зазначених співвідношень запропоновано і здійснено відповідні дослідження. Отримано обґрунтовані результати.

– Метод оцінювання впливу технологічних параметрів на граничні експлуатаційні характеристики електронної безпроводової системи передавання даних за стандартом IEEE 802.11 ас в режимі конкурентного доступу удосконалено шляхом обґрунтованого обмеження кількості активних станцій мережі, врахуванням обмежень щодо обсягу корисного навантаження в кадрі даних і енергетичних обмежень функціонування системи.

– Шляхом здійснення досліджень із застосуванням згаданих вище методів отримано обґрунтовані оцінки ефективності технологічних рішень, застосованих для підвищення пропускну здатності безпроводової електронної системи передавання даних за стандартом IEEE 802.11 ас за умов обмеженого енергетичного ресурсу. Отримані результати суттєво доповнюють бачення стосовно ефективності застосованих технологічних рішень.

– На відміну від узагальненого підходу до розгляду процесів у конкурентному середовищі IEEE 802.11, запропоновано диференційований підхід до оцінювання ймовірності передавання пріоритизованих кадрів у часових інтервалах з різними характеристиками. Запропонований підхід застосований в роботі для оцінювання якості голосових з'єднань у змішаних мережах з пріоритизацією.

Положення наукової новизни підтверджені результатами експериментальних досліджень.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Омелянець Олександри Олександрівни повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 171 Електроніка та напрямам досліджень відповідно до освітньої програми «Електроніка».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «електромагнітна сумісність та енергозабезпечення мультимедійної апаратури».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Омелянець Олександри Олександрівни є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Викладений у роботі матеріал добре структурований і відповідає логіці побудови дисертаційної роботи, формулювання думок чітке, що сприяє розумінню поданого матеріалу по суті, наведені обґрунтування послідовні й аргументовані, в тексті роботи використано загальноприйняту термінологію.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 162 сторінки.

У вступі наведено обґрунтування актуальності теми дисертаційної роботи, зазначено об'єкт і предмет дослідження, наведено перелік завдань дисертаційної роботи, сформульовано наукову новизну результатів досліджень та їх практичну значущість, охарактеризовано методи досліджень, застосовані в дисертації..

У першому розділі наведено результати критичного аналізу особливостей технічних рішень, передбачених специфікацією IEEE 802.11ac. Зокрема розглянуто питання доступу до середовища, частотні ресурси, можливі для застосування, спосіб організації частотних каналів у межах діапазону 5 ГГц, розподіл часу й тривалості часових інтервалі під час конкурентного доступу до каналу, особливості радіоканалу та характеристики систем модуляції й кодування. Також проаналізовано структуру кадру без агрегування і агрегованого кадру. Окремо розглянуто структуру електронної системи передавання даних і особливості її апаратної реалізації. На завершення першого розділу наведено результати огляду досліджень експлуатаційних характеристик

мереж IEEE 802.11ac, оприлюднених у науково-технічних інформаційних джерелах.

Другий розділ присвячено теоретичному оцінюванню експлуатаційних характеристик мереж IEEE 802.11ac. Перш за все, обґрунтовано метод подальших досліджень. На підставі аналізу методів часового слоту, запропонованого Дж. Б'янкі, й методу, що ґрунтується на концепції віртуального конкурентного вікна, обрано останній, оскільки в цьому методі сформовано математичну модель, в якій установлені однозначні залежності між системними параметрами та експлуатаційними характеристиками. Із застосуванням методу віртуального конкурентного вікна зроблено теоретичні дослідження пропускної здатності безпроводового каналу, в разі використання частотних смуг 20, 40, 80, 160 МГц для мереж без конкуренції (одна станція з насиченим навантаженням) і для режиму конкурентного доступу з числом станцій від 2 до 16. У дослідженні розглянуто режими модуляції й кодування від MCS5 до MCS9. Отримано оцінки для затримки передавання та її нерівномірності. З'ясовано, що зі збільшенням кількості активних станцій у мережі зростає ймовірність того, що не всі станції зможуть передати свої кадри з використанням семи (першої і шести повторних) наданих спроб. Залежно від типу кадрів і налаштування мережі, такі кадри можуть бути відкинуті або будуть продовжені спроби їх передати. Зі збільшенням кількості активних станцій у безпроводовій мережі сумарна пропускна здатність зростає в інтервалі від однієї до чотирьох станцій, внаслідок зменшення усередненої величини конкурентного вікна, а потім зменшується через виникнення колізій, тим швидше, чим більше станцій у мережі. Збільшення ширини частотної смуги безпроводового каналу в однопоточковому режимі є не дуже ефективним засобом збільшення пропускної здатності каналу, за відсутності агрегування пакетизованого потоку даних. У разі застосування агрегованих кадрів для передавання насиченого трафіку (наприклад, «закачка» великих файлів), пропускна здатність безпроводового каналу значно зростає. Якщо застосувати агрегування вхідних файлів PSDU до максимального рівня, передбаченого в специфікації IEEE802.11ac (11454 байти), пропускна здатність каналу зростає і перевищує 50, максимальної теоретично розрахованої величини в каналах 20 і 40 МГц.

Третій розділ присвячено дослідженню зони обслуговування точки доступу. Визначено радіус зони обслуговування для станції з випромінюваною потужністю 100 мВт для всіх можливих режимів модуляції й кодування MCS0 – MCS9. Проведено розрахунки радіусу зони обслуговування, в разі застосування кількох просторових потоків для передавання даних. З'ясовано практичну залежність зони обслуговування точки доступу від застосованого в мережі режиму модуляції й кодування, та обґрунтовано, що радіус зони може

змінюватись до десяти разів навіть без наявності фізичних перешкод. Розмір зони обслуговування залежить також від ширини частотної смуги радіоканалу і зменшується вдвічі, у разі збільшення частотної смуги в чотири рази. Хоча в діапазоні 5ГГц сигнали частотних смуг окремих каналів на рівні «мінус»20 дБ майже не перекриваються, внаслідок відносно великої інтенсивності позасмугового випромінювання і великої чутливості приймачів, у суміжних частотних каналах можуть виникати помітні взаємні завади під час передавання преамбули попередніх специфікацій стандарту, що зменшує ефективність використання каналного ресурсу.

У четвертому розділі розглянуто питання, пов'язані з передаванням голосового трафіку в мережах IEEE 802.11ac зі змішаним навантаженням. Наведено результати порівняльного аналізу кодеків для застосування в IP-мережах. Розглянуто особливості генерування голосового трафіку і зроблено розрахунок максимально можливої кількості голосових з'єднань у мережі з однією точкою доступу. Для розрахунку використано характеристики найменш ефективного кодеку G.711. Теоретично досліджено функціонування мереж зі змішаним трафіком, в одній із яких пріоритизований трафік складається із насиченого низькопріоритетного трафіку типу «background» і високопріоритетного голосового трафіку (voice over IP), а в іншій – із насиченого трафіку загального пріоритету «best effort» і високопріоритетного голосового трафіку. Обґрунтовано можливість організації великої кількості (кілька десятків) голосових з'єднань через одну точку доступу. З урахуванням того, що технологію IEEE 802.11ac призначено для використання в приміщеннях у межах відносно невеликої зони обслуговування, вона є надійним засобом організації голосових з'єднань.

У п'ятому розділі наведено результати експериментальних досліджень пропускну здатності безпроводового каналу IEEE 802.11ac в реальних умовах. Для дослідження використано стаціонарний комп'ютер, як файлообмінний сервер локальної мережі, два ноутбуки, один із яких має одну приймально/передавальну антену, інший – дві, а також смартфони. Всі використані апаратні засоби підтримують роботу мережі IEEE 802.11ac з максимальними системними параметрами. Вимірювання пропускну здатності мережі здійснено програмними засобами OpenWrt, Wi-Fi Analyzer, SpeedTest. Визначено, що при передаванні насиченого трафіку точки доступу здійснюють агрегування файлів, максимальна величина яких визначається налаштуваннями виробника. Практичні вимірювання підтвердили результати теоретичних досліджень. Під час експериментів отримано оцінки впливу неузгодженості антен абонентської станції й точки доступу, а також вплив умов багатопроменевого розповсюдження на рівень сигналу на вході абонентської станції. Зроблено експерименти щодо організації голосових з'єднань з чотирма

смартфонами в мережі з насиченим трафіком, які підтвердили висновки теоретичних розрахунків.

Загальні висновки по роботі засвідчують виконання завдань дисертації в повному обсязі. Висновки подано чітко і конкретно.

У додатках наведено дані проміжних розрахунків, характеристики експериментального обладнання і скрін-шоти програмних налаштувань.

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 у 8-и наукових публікаціях здобувача, серед яких: 4 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України.

Також результати дисертації були апробовані на 4-х наукових фахових конференціях з оприлюдненням повного тексту доповідей у відповідних Матеріалах конференцій.

Всі оприлюднені публікації є ґрунтовними науковими працями, підготовленими з повним дотриманням принципів академічної доброчесності і висвітлюють основні результати дисертаційних досліджень.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

У другому розділі при оцінюванні ефективності застосування технології багатокористувацького багатопроменевого передавання даних доцільно було б дослідити питання стосовно впливу кутового рознесення променів на загальну пропускну здатність системи і швидкість передавання даних.

У третьому розділі при дослідженні зони обслуговування доцільно було б окремо зробити додаткове дослідження і моделювання процесів у приміщеннях з багатопроменевим розповсюдженням хвиль для отримання більш детальних оцінок впливу системних параметрів на зону обслуговування та якісні показники 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 Омелянець Олександри Олександрівни на тему «Вплив технологічних

параметрів на експлуатаційні характеристики електронної безпроводової системи передавання даних» 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 знань 17 Електроніка та телекомунікації. 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 Омелянець Олександра Олександрівна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 171 Електроніка

Офіційний опонент:

доцент кафедри електроніки
та телекомунікацій, кандидат
технічних наук, доцент



Микола ЄВСЮК

М.П.

«17» серпня 2025 року



ВІРНО:
Начальник відділу кадрів
«17» 06 2025

