

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу

Лавріненка Владислава Сергійовича

на тему «Підвищення якості прийому сигналу в сенсорних телекомунікаційних мережах міста шляхом використання відбиття радіохвиль міліметрового діапазону»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

### **Актуальність теми дисертації.**

Бездротові сенсорні мережі та сервіси Інтернету речей (IoT) визначають новий рівень взаємодії користувачів з навколишнім середовищем. Ці мережі стають ключовим інструментом для вирішення різноманітних завдань — починаючи від екологічного моніторингу до управління міською інфраструктурою. Обмін даними між розподіленими сенсорними вузлами забезпечує взаємодію з пристроями та об'єктами оточуючого середовища. Кількість пристроїв в мережі радіодоступу постійно зростає, але слід зазначити, що більшість кінцевих пристроїв збільшується у містах, де є висотна забудова, різноманітні заводи та шуми а в деяких випадках неможливо організувати суцільне покриття базовими станціями. Це приклади декількох проблем, яких існує ще багато. Але, широке застосування мереж 5-го покоління може вирішити частину таких проблем, проте через складність та неоднорідність мереж, необхідно шукати універсальні підходи до поліпшення можливостей мереж радіодоступу, зокрема досліджувати особливості поширення та можливості використання неліцензованого міліметрового діапазону хвиль.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- В роботі отримали подальший розвиток теоретичні дослідження щодо використання стільникової мережі п'ятого покоління в сенсорних мережах, зокрема використання міліметрового діапазону 60-65 ГГц, для підвищення якості передачі сигналу, розширення частотного ресурсу, підвищення пропускну здатності телекомунікаційних мереж.

- Автором запропоновано застосування суперпозиції та відбиття для посилення сигналу в міліметровому Е-діапазоні радіохвиль сенсорних мереж,

які використовуються в мобільних системах міського середовища. Це дає можливість розширити зону покриття або зменшити енерговитрати у приймально-передавальних пристроях.

- Вперше автором отримано модель радіоканалів, яка дозволяє моделювати проходження сигналів міліметрового діапазону 60-65 ГГц в телекомунікаційних системах у місті з урахуванням відбиття. Також на основі моделі розроблено методику для покращення проходження сигналу і підвищення якості його прийому в телекомунікаційних системах міліметрового діапазону каналів 5G.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі Прикладної радіоелектроніки (ПРЕ) радіотехнічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках НДР під керівництвом професора кафедри д.т.н, с.н.с Степанова Михайла Миколайовича.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання, а саме підвищити якість передачі сигналу міліметрового діапазону, його енергетики в складних умовах міста сенсорних мереж п'ятого покоління для поліпшення можливості мереж радіодоступу, 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 Лавріненка В. С. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності «172 Телекомунікації та радіотехніка» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Телекомунікації та радіотехніка.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям Телекомунікації та радіотехніка.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Лавріненка В. С. 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. Робота має логічно правильну структуру, матеріал викладений послідовно, змістовно, з усіма необхідними поясненнями, розрахунками та графічним матеріалом,



термінологія використовується загальноновживана, що дає змогу сприймати легко матеріал.

Дисертація складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 153 сторінки.

У вступі виконано обґрунтування актуальності обраної теми дисертаційної роботи: пояснена важливість бездротових сенсорних мереж та окреслено складнощі, з котрими стикаються та можуть зітнутися в майбутньому фахівці з електронних комунікацій та радіотехніки. Із розвитком критично важливих IoT-сервісів та збільшенням обсягу даних зростає попит на пропускну здатність, технічні засоби та енергію, роблячи використання частотного ресурсу міліметрових хвиль ключовим для підвищення швидкості та якості бездротового зв'язку. Проте, міліметровий діапазон зустрічає перешкоди у вигляді високого рівня затухання сигналів та чутливості до перешкод, особливо в міському середовищі з його високою густонаселеністю та численними об'єктами. Саме це обмежує дальність та надійність зв'язку. Використання штучних відбивачів, що дозволяють керувати дифракцією та відбиттям хвиль, стає стратегією для подолання цих обмежень, забезпечуючи поліпшення пропускну здатності та дальності зв'язку. Ці технологічні новації відкривають дорогу для оптимізації міліметрових телекомунікаційних мереж, що є вирішальним для розширення бездротових мереж, включно з IoT-пристроями та сенсорними мережами, забезпечуючи стабільне покриття та високоякісний зв'язок у складних умовах міського середовища. Виходячи з цього сформульовано мету та визначено завдання дослідження, надано інформацію про наукову та практичну новизну роботи, апробацію основних результатів дослідження на науково-практичних конференціях та їх публікацію у формі статей у фахових виданнях.

У першому розділі на основі розгляду наукових джерел висвітлено різні аспекти сучасних телекомунікаційних технологій. Розглянуто поняття бездротових сенсорних мереж, їх роль та вплив у контексті зеленої комунікації, що є фундаментом для розуміння їх ролі та потенціалу в сучасному світі електронних комунікацій. Проведено огляд потрібних технологій, а також основних викликів, з якими стикаються мультимедійні бездротові сенсорні мережі, визначається широкий спектр застосувань даних мереж у різних секторах, окреслено їх практичну важливість. Також представлено основні характеристики сенсорних мереж та визначені вимоги до ефективності та надійності. У розділі детально аналізуються основні компоненти, включаючи види сенсорних вузлів, їх програмне забезпечення, розглядаються стандарти та технології, що стосуються транспортних протоколів для бездротових мереж, особливий акцент робиться на технологіях бездротової передачі даних, їх характеристиках та архітектурних особливостях. Завершуючи розділ, підбито



висновки, які резюмують ключові аспекти, розкриті в контексті сучасних і прогресуючих сенсорних мереж.

У другому розділі розглянуто та проаналізовано ряд архітектурних моделей для сервісів Інтернету речей, включно з трирівневою, програмно-конфігурованою та восьмирівневою архітектурою, спеціалізованою для 5G-IoT, що призначені для оптимізації та підвищення продуктивності IoT-мереж. На основі аналізу існуючих пропозицій стосовно архітектур, виділено та описано ключові рівні для ефективного функціонування розгортаного сервісу. Розглядаються архітектури 5G New Radio, включаючи сценарії використання, варіативність у розгортанні мереж та властивості мережі радіодоступу. У заключній частині розділу проведено розрахунок зони покриття для IoT-сервісів на основі 5G, виділено ключові компоненти для роботи сервісу та конкретизовано теоретичні аспекти, що підкреслює вплив високої щільності під'єднаних пристроїв та розміщення базових станцій на комплексність та ресурсоемність мереж.

Третій розділ дослідження присвячений вирішенню окресленої науково-прикладної задачі за рахунок аналізу поширення хвиль міліметрового діапазону, увага приділяється питанням ліцензування та особливостям поширення радіохвиль міліметрового діапазону в різних сценаріях, зокрема в умовах міського середовища, описані деякі вже існуючі моделі каналів міліметрового діапазону хвиль. Також розглядається бюджет радіосистеми з врахуванням підсилення, акцент зроблено на аналізі дифракції, посиленні та загасанні сигналу міліметрового діапазону, розглядаються ефекти відбиття та розсіювання з метою створення моделі поширення та підсилення хвиль. Зокрема, пошук варіантів створення зон зі штучними відбивачами, що може покращити ефективність та розширити зону покриття мобільних систем міліметрового діапазону в міському середовищі без втручання на пряму в складні гетерогенні структури бездротових сенсорних та стільникових мереж.

У списку використаних джерел автором представлено 82 наукові праці, включаючи джерела мережі Інтернет.

У додатках автор наводить: акт впровадження результатів дисертаційного дослідження в навчальний процес кафедри прикладної радіоелектроніки радіотехнічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського.

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 7 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України.



У першій статті автор систематизував можливі сценарії використання технології 5G NR та розгортання її архітектури з огляду на їх переваги та недоліки, а також залежно від мети та місця розгортання. Це вимагало глибокого розуміння принципів роботи технології 5G NR та її можливостей для різних сфер застосування. У другій статті автор проаналізував та описав функціональне призначення основних логічних компонентів для дистанційного моніторингу, надавши загальну структурну схему подібних систем. Зокрема автор розглянув вибір бездротового інтерфейсу та актуальність використання гетерогенних стільникових мереж для передачі даних в мережах п'ятого покоління. У третій статті автор самостійно провів аналіз, описав та запропонував ряд технологій, компонентів та підходів для створення енергоефективних мультимедійних, бездротових сенсорних мереж на базі технологій радіодоступу 5G. Це вимагало глибокого розуміння технічних аспектів та можливостей технології 5G, а також уміння аналізувати їх в контексті створення ефективних бездротових мереж. Також автором здійснено обробку та аналіз отриманих результатів у відповідних математичних пакетах, сформулювало відповідні висновки та визначено перспективи подальших досліджень.

Також результати дисертації були апробовані на 4 наукових фахових конференціях.

Це підтверджує високий науковий рівень публікацій дисертанта та академічну доброчесність. Також, автором було зроблено три доповіді на Міжнародних науково-технічних конференціях.

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

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи**

- Кількість літератури, використаної при написанні дисертації, складається лише з 82 джерел, що виглядає достатнім, але враховуючи актуальність теми, та постійні дослідження в даному напрямку, кількість опрацьованого матеріалу могла бути більшою.

- незрозуміло, яким чином пов'язаний радіус покриття базових станцій з запропонованим підходом до отримання максимуму сигналу.

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 Лавріненка Владислава Сергійовича на тему «Підвищення якості прийому сигналу в сенсорних телекомунікаційних мережах міста шляхом використання відбиття радіохвиль міліметрового діапазону» 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 електроніки 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 Лавріненко Владислав Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації» за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

**Рецензент:**

Ст. викладач кафедри ЕКІР НН ІТС  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, к.т.н

/  /

Валерій НОВІКОВ



«08» серпня 2024 року

