

## **ВІДГУК**

### **офіційного опонента**

професора, д.т.н. Семенка А.І.

на дисертаційну роботу

Михалевського Дмитра Валерійовича на тему «Методологія підвищення ефективності оцінювання параметрів та характеристик радіоканалів корпоративних телекомунікаційних мереж», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – «Телекомунікаційні системи та мережі».

### **1. Актуальність теми дисертації**

Як правило, найбільш оптимальне рішення при побудові сучасних корпоративних телекомунікаційних мереж вдається досягти використовуючи безпроводні технології стандартів Wi-Fi і 5G. До переваг таких радіотехнологій можна віднести: висока пропускна здатність радіоканалів, простота розгортання локальних мереж, незначні матеріальні витрати, низька вартість обслуговування та експлуатації та ін. Але розгортання мереж радіодоступу у корпоративних приміщеннях для об'єднання офісних приміщень, корпусів, різноманітних виробничих майданчиків тощо, призводить до виникнення ряду проблем та пошуку компромісних рішень. Для прикладу, у приміщенні більш доцільно використання стандарту Wi-Fi, а 5G технологію раціональніше використовувати для пристроїв, які знаходяться поза межами приміщень.

Мережі масового обслуговування стандарту 5G передбачають використання неліцензійних діапазонів частот 2,4 ГГц і 5 ГГц. Для корпоративних телекомунікаційних мереж є доцільним використання частотного ресурсу діапазонів 2,4 ГГц і 5 ГГц для радіотехнологій 5G і Wi-Fi з точки зору оптимального економічного рішення. Проте сумісне використання радіочастотного ресурсу має значний вплив на параметри та характеристики мереж радіодоступу. Особливо це стосується корпоративних телекомунікаційних мереж, які працюють в умовах приміщень, де виникають внутрішні фактори впливу від архітектурних перешкод. Це сприяє появі затримок та помилок під час сеансів передачі трафіку, що призводить до інформаційних втрат, що знижує ефективність якості обслуговування абонентів.

Має місце протиріччя між потребою підвищення швидкості передавання інформації для покращення якості надання інфокомунікаційних послуг та необхідністю адаптивної оптимізації мережі для зменшення інформаційних втрат на основі методів оцінювання параметрів та характеристик радіоканалів в умовах обмеженого радіочастотного ресурсу і існування внутрішніх та зовнішніх факторів впливу в приміщеннях. Метою дисертаційної роботи є усунення згаданого протиріччя шляхом підвищення ефективності оцінювання

параметрів і характеристик радіоканалів корпоративних телекомунікаційних мереж. Отже, тема дисертаційної роботи є актуальною і спрямована на вирішення науково-прикладної проблеми розроблення методології оцінювання основних параметрів і характеристик радіоканалів корпоративних телекомунікаційних мереж 5G/Wi-Fi із врахуванням факторів впливу на базі статистичних зв'язків між параметрами та імітацією дії кожного з них, як окремо так і комплексно з метою отримання оптимальних технічних показників радіоканалів для зменшення інформаційних втрат.

## **2. Ступінь обґрунтованості наукових положень і достовірність результатів**

Наукові положення, висновки за результатами досліджень та рекомендації щодо застосування отриманих результатів теоретично обґрунтовані і експериментально підтверджені. Поставлені в дисертації завдання вирішувались із застосуванням теорії радіозв'язку, теорії завадостійкості, кодування та інформації, теорії передачі та обробки даних, теорії цифрового радіозв'язку, методів аналізу на основі моделей затухання сигналу у вільному просторі, теорії моніторингу та радіомоніторингу, теорії контролю, теорії випадкових процесів, основні положення теорії ймовірності.

Достовірність отриманих результатів підтверджена перевіркою запропонованих методів та моделей експериментальним дослідженням корпоративної телекомунікаційної мереж

## **3. Наукова новизна одержаних результатів**

1. Вперше запропоновано метод оцінювання просторового розподілу потужності сигналу на вході приймача, який, на відміну від відомих, враховує процеси поширення сигналів та внутрішні і зовнішні фактори впливу в радіоканалах корпоративних телекомунікаційних мереж для забезпечення неперервної оптимізації покриття мережі радіодоступу у приміщенні із мінімальними інформаційними втратами.

2. Розвинуто математичну модель процесу передавання інформації у радіоканалах корпоративних телекомунікаційних мереж, яка, на відміну від відомих, відрізняється узагальненим поєднанням технічних параметрів специфікацій стандартів, що у сукупності дає змогу оцінювати вплив різноманітних технологій та активність абонентів у мережі на кількість корисної інформації у радіоканалах.

3. Вперше формалізовано інтегральні показники ефективності радіоканалів на основі регресійних моделей оцінювання ефективної швидкості передачі інформації, які, на відміну від відомих, дають змогу прогнозувати інформаційні

втрати в межах покриття мереж радіодоступу із врахуванням архітектурних перешкод у корпоративних приміщеннях.

4. Вперше розроблено метод визначення ефективної швидкості передачі інформації у радіоканалах корпоративних телекомунікаційних мереж, який, на відміну від відомих, базується на поєднанні методів моніторингу та статистичного аналізу із використанням програмно-апаратних засобів спеціалізованих або абонентських приймальних пристроїв, що дало змогу покращити результативність управління ресурсами в програмно-конфігурованих мережах радіодоступу.

5. Вперше запропоновано метод оцінювання гарантованої пропускної здатності радіоканалів корпоративних телекомунікаційних мереж для передачі різних типів трафіку, який, на відміну від відомих, використовує статистичний зв'язок між параметрами радіоканалу, що дало змогу збільшити швидкодію обробки результатів під час початкової оптимізації мережі на етапах проектування.

6. Вперше запропоновано узагальнені інтегральні показники факторів впливу у радіоканалах, на основі еталонних моделей середньостатистичних значень в межах покриття мереж радіодоступу, що дають можливість оцінювати дію факторів впливу на основні параметри радіоканалів, як окремо так і комплексно.

7. Набула подальшого розвитку стохастична модель флуктуацій основних параметрів радіоканалів на основі інтервалу розсіювання моделей регресій, яка, на відміну від відомих, використовує статистичну імовірність і дисперсію, що дає можливість значно спростити отримання кінцевого результату інтервалів флуктуацій на основі середньостатистичних результатів моделей оцінювання.

8. Вперше розроблено методологію оцінювання параметрів і характеристик радіоканалів корпоративних телекомунікаційних мереж, яка дає змогу підвищити ефективність досліджень, отримання нових знань про роботу радіоканалів в умовах приміщень і дію факторів впливу на їх параметри, що дає можливість створення логіко-аналітичного інструменту для підвищення технічної ефективності корпоративних телекомунікаційних мереж на етапах проектування та оптимізації.

#### **4. Практичне значення одержаних результатів**

Основними практичними результатами дисертаційної роботи є:

1. На основі експериментальних та статистичних досліджень встановлено, що достовірність запропонованих методів становить: 0,997 для оцінювання потужності сигналу на вході приймача із похибкою  $\pm 0,3$  дБм при флуктуаціях

$\Delta P = \pm 2$  дБм та 0,95 для визначення ефективної швидкості передачі інформації із похибкою до 0,6 Мб/с при  $\Delta V = \pm 2$  Мб/с для випадку мінімальної дії факторів впливу у приміщенні. Ступінь адекватності отриманих моделей, становить не менше за 0,95 для потужності сигналу на вході приймача та 0,9 для ефективної швидкості передачі інформації.

2. Метод оцінювання гарантованої пропускної здатності радіоканалів корпоративних телекомунікаційних мереж та стохастична модель флуктуацій основних параметрів радіоканалів на основі інтервалу розсіювання моделей регресій дали змогу підвищити швидкодію отримання кінцевого результату до 5 с із достовірністю 0,95 і похибкою оцінювання до 1 дБм та 1 Мб/с при  $\Delta V = \pm 2$  Мб/с для мінімальної дії факторів впливу у приміщенні.

3. Отримано коефіцієнти просторових розподілів потужності сигналу на вході приймача та ефективної швидкості передачі інформації для приміщень при кутовому та центральному положенні точки доступу в діапазонах 2,4 ГГц і 5 ГГц, що дало змогу враховувати дію статичних і випадкових факторів впливу, а також існування додаткових флуктуацій біля стін приміщення.

4. На основі експериментальних досліджень, отримано коефіцієнти флуктуацій потужності сигналу на вході приймача та ефективної швидкості передачі інформації, які дають можливість враховувати взаємозв'язок факторів впливу та параметрів радіоканалу.

5. Експериментальним шляхом встановлено, що у порівнянні із існуючими методами і моделями оцінювання параметрів радіоканалу, запропоновані рішення дали змогу досягти підвищення ефективності оцінювання потужності сигналу на вході приймача на 9% та ефективної швидкості передачі інформації на 12% використовуючи можливості приймально-передавального обладнання.

6. На основі експериментальних досліджень доведено, що використання запропонованої методології оцінювання параметрів і характеристик радіоканалів корпоративних телекомунікаційних мереж в умовах значного завантаження частотного ресурсу, дало змогу підвищити ефективну швидкість передачі інформації у 3 рази, а рівень сигналу покращити на 8% у порівнянні із традиційними методами. Крім того, в 2 рази, вдалося розширити зону гарантованого надання інфокомунікаційної послуги на рівні радіодоступу мережі Wi-Fi.

Практичне впровадження дисертаційної роботи підтверджене відповідними актами, які наведені у додатку.

## **5. Оцінка змісту дисертації, її завершеності й оформлення**

Дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи складає 405 сторінок друкарського тексту, із них 11 сторінок вступу, 318 сторінок основного тексту,

155 рисунків, 24 таблиць, список використаних джерел із 293 найменувань, 2 додатки на 17 сторінках.

У 1-му розділі автором встановлено, що використання класичних підходів до оцінювання дають низьку інформативність, за рахунок існування значної кількості факторів впливу, які не враховуються, або значно зростають затрати на оптимізацію за рахунок використання дорогого обладнання. Це потребує створення нових підходів до процесу оцінювання, аналізу і контролю параметрів та характеристик радіоканалів корпоративних телекомунікаційних мереж, що показано у структурно-логічній схемі досліджень на рис. 1 автореферату.

В 2-му розділі автор запропонував метод просторового оцінювання потужності сигналу на вході приймача із врахуванням процесів поширення сигналів та внутрішніх і зовнішніх факторів впливу в радіоканалах корпоративних телекомунікаційних мереж 5G/Wi-Fi. Метод є простим для реалізації та може використовуватись для будь-якого приймального пристрою з метою оцінювання покриття корпоративних телекомунікаційних мереж із врахуванням максимально-можливої кількості факторів впливу та для забезпечення неперервної оптимізації покриття мережі радіодоступу у приміщенні.

У 3-му розділі дисертантом вдосконалено математичну модель радіоканалів корпоративних телекомунікаційних мереж на основі коефіцієнту ефективності передачі інформації, яка дає змогу оцінювати вплив різного роду технологій та активність абонентів на кількість корисної інформації враховуючи специфікації стандартів. Вперше запропоновано інтегральні показники інформаційної ефективності радіоканалів для визначення впливу різного роду архітектурних перешкод на процеси передавання даних в межах приміщень на основі проведення експериментальних досліджень та використання регресійних моделей (8, 9) в авторефераті. Також запропоновано метод визначення ефективної швидкості передачі інформації в радіоканалі на основі статистичних параметрів програмно-апаратних засобів моніторингу приймальних пристроїв.

У 4-му розділі дисертантом запропоновано метод оцінювання гарантованої пропускної здатності радіоканалів корпоративних телекомунікаційних мереж для передачі різних типів трафіку, що дало змогу підвищити швидкодію отримання результатів під час початкової оптимізації мережі на етапах проектування.

У 5-му розділі автор зосередив увагу на узагальнених інтегральних показниках факторів впливу у радіоканалах, які використовують еталонні моделі середньостатистичних значень в межах покриття мереж радіодоступу, що дало можливість прогнозувати дію кожного окремого фактору на характеристики радіоканалу.

У 6-му розділі автореферату дисертаційної роботи вперше запропоновано стохастичну модель флуктуацій основних параметрів радіоканалів на основі інтервалу розсіювання моделей регресій. Така модель використовує співвідношення взаємозв'язку статистичної імовірності, дисперсії та інтервалу флуктуацій, а також статистичний зв'язок між флуктуаціями основних параметрів радіоканалу, що дає можливість значно пришвидшити отримання кінцевого результату оцінювання, оскільки за один цикл оцінювання можна отримати інформацію про технічні параметри радіоканалу та наближений результат інтервалів флуктуацій.

Як позитивний фактор слід відзначити великий обсяг експериментальних вимірювань, що дозволило одержати важливі результати роботи.

### **5. Повнота викладу результатів дисертаційної роботи у фахових виданнях**

Проведений аналіз показав, що здобувач має необхідний обсяг наукових публікацій. Результати дисертаційної роботи висвітлені у 78 наукових працях, із яких 40 є одноосібними. Серед них 4 колективні монографії; 4 статті у закордонних виданнях, що входять до наукометричних баз Scopus/Web of Science, 5 статей у фахових виданнях України, що індексується наукометричною базою Scopus, 15 – статей у фахових виданнях України, 13 статей в наукових журналах що індексуються в міжнародних базах даних. Отримано 3 патенти на корисну модель України.

Результати дисертаційної роботи, доповідались на 34-х міжнародних науково-технічних конференціях.

### **8. Зауваження по роботі**

1. В розділі 1 недостатньо розглянуті відомі результати досліджень особливості розповсюдження радіохвиль в приміщеннях.

2. В розділі 4 при розробці методу оцінювання гарантованої пропускної здатності радіоканалів корпоративних телекомунікаційних мереж для передачі різних типів трафіку, автор наводить дослідження для випадку передавання відеотрафіку у радіоканалу стандарту 802.11n 40 МГц. Але, не представлені результати дослідження й порівняльна характеристика для інших типів трафіку.

3. У другому розділі на рис. 2.20. для методу оцінювання просторового розподілу потужності сигналу на вході приймача, наведено приклад оцінювання рівня флуктуацій відносно усередненого розрахунку розподілу сигналу у приміщенні. При цьому, не вказано на основі яких вхідних параметрів отримано усереднені значення.

4. При оцінюванні достовірності оцінювання основних параметрів радіоканалу не зрозуміло, за якими критеріями обрано радіоканал стандарту

802.11ac для проведення експериментальних досліджень, а також як результати будуть відрізнятись для радіоканалів інших стандартів.

5. Автором наголошується про збільшення швидкодії обробки результатів під час початкової оптимізації мережі на етапах проектування. Проте, в дисертаційній роботі відсутній аналіз факторів, які впливають на швидкодію та розрахунки часових інтервалів оцінювання параметрів радіоканалу.

6. В роботі не розглянута технологія використання RAKE –приймача для обробки багатопроменевих сигналів через впливи перешкод та порівняння результатів з одержаними автором висновками.

7. В роботі не наведені рекомендації щодо використання одержаних результатів для аналізу та синтезу інших телекомунікаційних систем, крім корпоративних систем.

8. Автором не достатньо пояснений термін «інформаційні втрати» та метод кількісної оцінки даного параметру.

9. В роботі не описана методика експериментального вимірювання характеристик розповсюдження радіохвиль в приміщеннях.

10. Недостатньо обгрунтовано твердження щодо збільшення ефективної швидкості передачі інформації в 3 рази (п.6 практичного значення роботи).

11. Перелік посилань на інформаційні джерела наведений з порушенням вимог стандарту.

Наведені зауваження не зменшують наукового рівня та цінності дисертаційної роботи в цілому.

### **9. Загальні висновки**

1. Дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні, є завершеною науковою працею та має суттєве практичне значення. В дисертації міститься розв'язок актуальної науково-прикладної проблеми розроблення методології оцінювання параметрів та характеристик радіоканалів із врахуванням максимально-можливої кількості різноманітних факторів впливу на основі статистичних зв'язків між ними з метою підвищення технічної ефективності корпоративних телекомунікаційних мереж на етапах проектування та оптимізації.

2. Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

3. Автореферат дисертації об'єктивно і достатньо повно відображає її зміст, а також основні результати та висновки.

4. Матеріали дисертації достатньо апробовані на міжнародних науково-технічних конференціях, а також опубліковані в 37 наукових статтях в спеціалізованих виданнях.

5. За актуальністю, ступенем новизни, мірою обгрунтованості наукових положень, достовірністю, теоретичною та практичною цінністю одержаних

результатів роботи Михалевського Дмитра Валерійовича «Методологія підвищення ефективності оцінювання параметрів та характеристик радіоканалів корпоративних телекомунікаційних мереж» повністю відповідає паспорту обраної спеціальності та вимогам п.п. 9, 10, 12, 13 положення про «Порядок присудження наукових ступенів», а її автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

**Офіційний опонент**

професор кафедри  
«Комп'ютерна інженерія»  
Відкритого міжнародного  
Університету розвитку людини «Україна»,  
лауреат Державної премії СРСР  
доктор технічних наук, професор,



Семенко А.І.

