

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу

**Прокопця Володимира Андрійовича**

на тему **«Комплексний метод планування**

**радіомережі стільникового зв'язку»**,

представлену на здобуття ступеня **доктора філософії**

в галузі знань **17 – Електроніка та телекомунікації**

за спеціальністю **172 – Телекомунікації та радіотехніка**

### **Актуальність теми дисертації.**

Завдання планування та оптимізації мереж 4G, 5G, що вирішувалось у дисертаційній роботі, є актуальним, оскільки зазначені покоління мереж невинно розвиваються і впроваджуються у сучасному світі все більше і більше для отримання, передавання і обробки великих і постійно зростаючих об'ємів трафіку, від так само зростаючої кількості інфокомунікаційних пристроїв мереж. У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-практичну задачу удосконалення процесу планування та оптимізації радіомережі стільникового зв'язку, оскільки, з однієї сторони, існуючі методи планування стільникових мереж мають певні обмеження і недоліки, а з іншої сторони, - задачу вирішено завдяки застосуванню сучасних підходів до моделювання систем і процесів на основі цифрового двійника.

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

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. *Вперше запропоновано комплексний метод планування радіомережі стільникового зв'язку, що відрізняється від існуючих використанням технології цифрового двійника, і враховує стан існуючої мережі, маркетингові прогнози трафіку, може бути автоматизованим та гнучким у налаштуванні і виборі параметрів для планування радіомережі.*

2. *Запропоновано метод рівномірного розподілу користувачів між сусідніми секторами, який відрізняється від відомих застосуванням технології цифрового двійника для перевірки коректності розподілу, що дозволяє рівномірно розподіляти трафік між секторами радіомережі.*

3. *Запропоновано метод комплексної оцінки рішень конфігурації стільникової радіомережі, який враховує як технічні, так і економічні та маркетингові показники функціонування стільникової мережі зв'язку, що є відмінністю від існуючих методів, та дозволяє визначити найкраще*

конфігураційне або апаратне рішення для збільшення ємності ділянки мережі з мінімальними економічними витратами.

4. *Запропоновано онтологічну модель* цифрового двійника процесу планування радіомережі стільникового зв'язку, яка дозволила описати як статичний, так і динамічний аспекти процесу планування радіомережі стільникового зв'язку, врахувати мультидисциплінарність цього процесу, а також визначити змістовні логічні зв'язки між компонентами даного процесу.

**Отримані наукові результати** автором **пройшли апробацію** у наукових статтях, конференціях, та опубліковані у колективній монографії, що **підтверджує їх достовірність, новизну, та обґрунтованість.**

Наукові дослідження виконані здобувачем **на кафедрі** інформаційно-комунікаційних технологій та систем Навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, **під керівництвом** професора Кафедри інформаційно-комунікаційних технологій та систем Навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, д.т.н., проф. Глоби Лариси Сергіївни, **в рамках наступних НДР та проектів:**

1. Держбюджетна тема №2218п «Гетерогенна мережа збору, передачі та обробки інформації для системи розподіленої генерації MicroGrid» (номер державної реєстрації 0119U001184).

2. Держбюджетна тема №2313п «Побудова інформаційно-аналітичної платформи для супроводження функціонування кіберфізичних систем» (номер державної реєстрації 0120U102298).

3. Міжнародний проект “Research Guidance System for Organizations Based on Self-improvement Domain Knowledge Map and Customized Industry Knowledge Graph” за співпраці НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» та Інституту інформаційних досліджень академії наук провінції Шандунь, КНР (номер договору 0305/55-М).

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Прокопця В.А. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності «172 – Телекомунікації та радіотехніка» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Інформаційно-комунікаційні технології».

Дисертаційна робота є **завершеною науковою працею** і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у **науковий напрям** планування та оптимізації радіомереж стільникового зв'язку останніх поколінь 4G, 5G.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, у якому зазначено 4.93% співпадінь та **95.07% унікальної інформації** у пояснювальній записці дисертаційної роботи, можна зробити висновок, що дисертаційна **робота Прокопця Володимира Андрійовича** 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. Викладки у пояснювальній записці дисертаційної роботи представлені у логічній послідовності та у доступному представленні для читача, що має відповідну професійну кваліфікацію за темою дослідження. Здобувач використав загальноприйняту технічну термінологію.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, списку використаних джерел із 184 найменувань, 4 додатків. Загальний обсяг роботи 192 сторінки, з яких 152 сторінки основного тексту, 19 сторінок використаних джерел, та 7 сторінок додатків. Робота містить 38 рисунків та 73 таблиці. Ілюстративний матеріал (рисунки, таблиці) виконаний якісно, на високому рівні.

У **вступі** здобувач розкрив історичні аспекти розвитку поколінь безпроводового зв'язку, обґрунтував актуальність обраної теми, зазначив зв'язок обраної теми з науково-дослідними роботами та темами, в рамках яких виконувалась дисертаційна робота, а також розкрив мету роботи, об'єкт, предмет, методи і задачі дослідження, та надав інформацію про апробацію результатів дослідження.

У **першому** розділі здобувач *детально розкрив проблему планування мережі стільникового зв'язку*, проаналізував процес планування мережі, пояснив важливість мультидисциплінарності планування та оптимізації сучасної радіомережі. Автор розглянув існуючі методи планування радіомережі систем стільникового зв'язку та проаналізував їх відповідність визначеним вимогам: вирішення задач попереднього, детального планування та оптимізації, урахування економічних, маркетингових, юридичних та інших аспектів планування. Здобувач зазначив основний недолік розглянутих підходів: фокус лише на технічному аспекті планування, що не відповідає потребам планування сучасних радіомереж, і тому потребує вдосконалення.

У **другому** розділі здобувач *описав відомі та запропоновані методи вирішення проблем планування мережі*, запропонував онтологічну модель вдосконаленого процесу планування радіомережі стільникового зв'язку, та провів аналіз статистичних показників функціонування радіомережі

стільникового зв'язку. На основі проведеного аналізу показників автор вибрав «кількість користувачів» як такий, що найбільше підходить для визначення стану ємності мережі. Автор також обґрунтував вибір моделі розповсюдження хвиль 3GPP TR 38.901 в.16, що спеціально розроблена для мереж 5G.

У **третьому** розділі здобувач *запропонував методи і їх покращення для планування радіомереж*, а саме: а) комплексний метод планування радіомережі стільникового зв'язку, який базується на технології цифрового двійника, враховує стан існуючої мережі, маркетингові прогнози трафіку, та передбачає його автоматизоване виконання для стратегічного, оперативного, чи тактичного планування радіомережі в режимі реального часу з метою проактивного управління ресурсами мережі; б) метод рівномірного розподілу користувачів між сусідніми секторами, який відрізняється від відомих застосуванням технології цифрового двійника для перевірки коректності розподілу; в) удосконалений метод комплексної оцінки рішень, який враховує технічні, економічні та маркетингові показники функціонування стільникової мережі зв'язку.

У **четвертому** розділі здобувач *описав розроблене програмне забезпечення для реалізації запропонованого комплексного методу планування та оптимізації радіомережі*. Автор також описав можливості інтеграції розробленого програмного забезпечення з існуючими процесами планування та оптимізації радіомережі. Здобувач провів експеримент з визначення найбільш підходящого методу лінійної регресії для задач планування, та описав моделювання роботи запропонованого алгоритму міжсекторального розподілу користувачів для сценарію неоднорідного навантаження при однакових значеннях конфігураційних параметрів.

Загальні **висновки** містять вичерпну інформацію про отримані теоретичні і практичні результати, отримані здобувачем у дисертаційному дослідженні.

Використані **джерела** здобувачем є актуальними та релевантними проведеному дослідженню.

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 пройшли рецензування, апробацію і висвітлені у 9 наукових публікаціях здобувача, серед яких:

- 2 статті у наукових фахових виданнях України за спеціальністю «172 – Телекомунікації та радіотехніка»;
- 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі Scopus;
- 2 тези доповідей на конференціях, проіндексованих у базі Scopus,

- 1 розділ колективної монографії;
- 2 тези у матеріалах всеукраїнських та міжнародних конференцій.

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

1. Отримано значну кількість науково-практичних результатів, проте жоден з них не захищений патентами на винаходи, корисні моделі для запропонованих теоретичних моделей, чи авторськими правами на твір для розробленого програмного забезпечення.

2. Недостатньо повно розкрита архітектура, дизайн, реалізація програмних компонент та алгоритми роботи розробленого програмного забезпечення на основі підходу SPL (Software Product Line), які зазначені в роботі як такі, що використані для моделювання і верифікації запропонованих покращених методів комплексного планування радіомережі. Це залишає запитання до розробленого програмного продукту. Також, заявлені публікації за темою дисертації не дають відповідь на ці запитання.

3. Реалізація цифрового двійника у дисертаційній пояснювальній записці та її додатках представлена математичною моделлю комплексного методу планування радіомережі стільникового зв'язку (Розділи 3, 4). Проте, у пояснювальній записці доцільно було б надати приклад повного циклу моделювання, який би починався з технічних параметрів радіомережі, абонентів мережі та їх географічного розміщення, маркетингових та інших параметрів, які беруть участь у розрахунках покращеного комплексного методу планування, та закінчувався результатами моделювання і демонстрував *комплексний метод планування радіомережі стільникового зв'язку з початку до кінця з використанням цифрового двійника.*

**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 **Прокопця Володимира Андрійовича** на тему «**Комплексний метод планування радіомережі стільникового зв'язку**» 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, автоматизація та електронні комунікації». 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.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене **наукове завдання створення комплексного методу планування радіомережі стільникового зв'язку** виконано повністю. Здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

**Здобувач Прокопець Володимир Андрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 – Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 – Телекомунікації та радіотехніка.**

**Рецензент:**

Доцент кафедри Електронних  
комунікацій та Інтернету речей  
Національного технічного університету  
України «Київський Політехнічний  
Інститут імені Ігоря Сікорського»,  
к.т.н., доцент



Сергій ОСИПЧУК

М.П.

29 січня 2024 року

