

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертацію Мерзлікіна Анатолія Олександровича
“МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА
ГОТОВНОСТІ КАНАЛІВ ЗВ’ЯЗКУ МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ
ХВИЛЬ”,

подану на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю
172 “Телекомунікації та радіотехніка”

Сучасний розвиток інформаційних технологій, зокрема, мобільного зв’язку, інтернету речей, відео із високою роздільною здатністю надає суттєвий поштовх розвитку телекомунікацій у бік розширення об’єму використовуваних сигналів, що природньо вимагає відповідного розширення об’єму каналу зв’язку. Широкі перспективи розв’язання цієї проблеми відкриває розширення частотного діапазону каналу у бік підвищення робочої частоти. За рахунок цього забезпечується водночас розширення частотного діапазону та збільшення пропускної спроможності мережі зв’язку, підвищення швидкості інформаційного обміну в мережі, підвищення енергетичної ефективності системи зв’язку, зменшення габаритів антен тощо. Саме цим та іншими перевагами обумовлено розробку та впровадження мереж інформаційного зв’язку покоління 5G, що працюють в міліметровому діапазоні. Втім, поширення електромагнітних хвиль міліметрової довжини в приземному шарі суттєво залежить від метеорологічного стану на трасі передачі, що суттєво впливає на основні показники якості мережі, зокрема, продуктивність, готовність, а також завадозахищеність. Таким чином, розробка методів підвищення якісних показників мереж телекомунікацій нового покоління на основі розробки та впровадження моделей поширення радіохвиль міліметрового діапазону з урахуванням регіональних особливостей гідрометеорологічного стану, що є

темою дисертації А.О. Мерзлікіна, є актуальною науково-технічною задачею.

До того ж актуальність роботи підсилюється створенням бази даних шляхом експериментальних досліджень, без яких є недоцільним введення нового покоління мереж зв'язку в Україні. Як зазначається в роботі, за відсутності даних про опади з коротким періодом усереднення, та без експериментальних досліджень атмосферного ослаблення радіохвиль міліметрового діапазону неможливо та економічно недоцільно вводити оптимізовані мережі наступних поколінь 5G-6G в Україні.

Проведене в дисертації дослідження є складовою частиною програми «Проект спільних досліджень поширення міліметрових хвиль для українських перспективних ліній зв'язку 5G», яка була представлена у 2016 році провідними науковцями України на *9th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW)*. Дисертація виконувалась на кафедрі радіотехнологій інформаційно-комунікаційних систем (РТІКС) Харківського національного університету радіоелектроніки, Результати роботи отримані в ході виконання науково-дослідної роботи №334 на спеціальну тему (№ ДР 0121U000040т). Крім того, отримані результати використовуються в навчальному процесі кафедри РТІКС при підготовці фахівців за освітньо-професійною програмою спеціальності «Інформаційні радіотехнології» в рамках навчальних дисциплін: «Радіопередавальні пристрої» та «Радіоприймальні пристрої».

Структура дисертації виглядає обґрунтованою і логічною і дозволяє прослідити хід, зміст і послідовність виконаних автором досліджень. Робота складається вступу, чотирьох розділів із висновками до кожного з них, змістовними і ґрунтовними загальними висновками, списком використаних джерел, додатками, що відповідає вимогам щодо дисертаційних досліджень на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Зміст кожного розділу пов'язаний із визначеною метою

досліджень та певним сформульованим дослідження, що підсумовується науковими висновками.

В дисертації розроблено та досліджено методику проведення річних цілодобових експериментальних досліджень з високим годинним розрізнюванням (1 хвилина та менше) з використанням оригінального програмно-апаратного радіометричного комплексу для частоти 40 ГГц (8мм) та нова багатопроменева модель поширення радіохвиль ММ ДХ для закритого простору, яка враховує електродинамічні характеристики матеріалів будівель, зокрема, стін, підлоги та стелі.

Розроблена автором методика проведення річних цілодобових експериментальних досліджень дозволила після відповідної статистичної обробки результатів вимірювань отримати нові дані стосовно кумулятивної функції сезонного розподілу повного вертикального атмосферного послаблення протягом року та у найгірші місяці року. Розроблено модель, яка дозволила отримати теоретичну оцінку досяжної швидкості передачі інформації для внутрішніх приміщень будівель (Indoor) мережі передачі інформації.

Отримані в роботі оцінки умов поширення радіохвиль ММ ДХ базуються на результатах експериментів безпосередньо на місці передбачуваного розгортання мереж зв'язку п'ятого покоління та обробки значної кількості статистичного матеріалу, чим забезпечується підвищення точності оцінок порівняно із розрахунками за допомогою інших метеорологічних моделей.

Найбільш вагомими результатами роботи можна вважати удосконалення математичної моделі оцінки продуктивності та завадостійкості системи зв'язку, яка відрізняється врахуванням діаграм спрямованості антен базових станцій, фазових антенних решіток (ФАР) точок доступу та пристроїв користувачів, що дозволяє виконувати дослідження в умовах щільної міської забудови, а також результати розрахунку енергетичного потенціалу ліній зв'язку для відкритого простору

(*Outdoor*) з використанням створеної експериментальної приземної лінії зв'язку на основі використання точок доступу *MikroTik Wireless Wire (RBwAPG-60ad kit)* у діапазоні 60 ГГц (5 мм), що дозволило та показало реалізованість сценарію розгортання мереж 5G в діапазоні 60 ГГц на базі малих сотів (*Small Cell*)..

Обґрунтованість та достовірність результатів дисертаційної роботи забезпечується коректним застосуванням методів радіометричних вимірювань, методів теорії цифрового зв'язку та підтверджується збігом даних натурних експериментів та числових розрахунків.

Повнота викладення основних результатів: За темою дисертації загалом опубліковано 16 наукових робіт, у тому числі 6 статей у провідних наукових виданнях, в тому числі 4 статті у фахових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України, затвердженого Міністерством освіти і науки України та одна стаття, що індексується у світових наукометричних базах даних Scopus, 9 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях (в тому числі 4 у Scopus) та одного патенту на корисну модель.

Оцінка змісту дисертації: У першому розділі проведений огляд впливу клімату на поширення та загасання радіохвиль міліметрового діапазону, а також наведені рівні загасання сигналу в опадах та карті кліматичних зон світу вказують на необхідність урахування регіональних мікрокліматичних особливостей при формуванні апаратурних параметрів та структури мереж зв'язку. Розглянуті та наведені характеристики опадів та їх вплив на впливають на ослаблення сигналу у міліметровому діапазоні хвиль.

Другий розділ присвячений розробці математичної моделі оцінки продуктивності та готовності системи зв'язку, яка реалізує багатоступеневу апроксимацію ліміту Шеннона та представлена у вигляді комп'ютерної програми в середовищі MATLAB та . розробці нової багатопроменевої моделі поширення радіохвиль ММ ДХ для закритого простору.

Високої позитивної оцінки заслуговує практична частина роботи, результати якої наведено в третьому та четвертому розділах дисертації.

Так, зокрема, у третьому розділі наведено результати розробки структури програмно-апаратного радіометричного комплексу для частоти 40 ГГц (8мм), а також розроблено методику проведення річних цілодобових експериментальних досліджень з високим часовим розрізненням (1 хвилина та менше). Розглянуто рекомендації ІТУ щодо поширення радіохвиль в атмосфері та показано, що для розрахунку готовності-неготовності ліній зв'язку потрібно мати дані кількості опадів з коротким часом інтегрування.

У четвертому розділі створено експериментальну приземну лінію зв'язку на основі використання точок доступу *MikroTik Wireless Wire (RBwAPG-60ad kit)* у діапазоні 60ГГц (5мм), що дозволило отримати нові дані щодо енергетичного потенціалу лінії зв'язку для відкритого простору (*Outdoor*) та показало реалізованість сценарію розгортання мереж 5G в діапазоні 60 ГГц на базі малих сотів (*Small Cell*). На основі експериментально отриманих даних річного циклу безперервних радіометричних спостережень розраховано помісячний та річний розподіли повного вертикального ослаблення радіохвиль в атмосфері для частоти 39 ГГц на похилих трасах для кутів 0 градусів, 60 градусів, 70 градусів та 80 градусів. Сформовано базу даних та розраховано розподіл інтенсивності дощів за найбільш несприятливий для здійснення зв'язку 4-х місячний період року для міста Харкова. Розраховано сукупний розподіл питомого загасання атмосфери за 4-місячний період. Отримані результати складають практичну цінність дисертації і можуть бути рекомендовані для впровадження під час розробки та створення перспективних мереж зв'язку.

Зауваження щодо змісту дисертації.

- оскільки темою дисертації заявлено підвищення якісних параметрів мережі зв'язку, критичний огляд існуючих методів їхнього забезпечення потрібна було б розширити;

- п. 5 наукової новизни виглядає тривіальним, оскільки розв'язання електродинамічної задачі багатопроменевого поширення радіохвиль не можливо без урахування граничних умов;

- в тексті дисертації зустрічаються хибні або незрозумілі терміни та висловлювання: часовий дозвіл, удільне ослаблення, підстава логарифму, основні недоліки міліметрового діапазону, розрізнявальна здатність або розрізнявальна спроможність, кумулятивний розподіл тощо. Це призводить до певних непорозумінь. Так, зокрема, термін кумулятивний розподіл потребує певного роз'яснення, оскільки в математиці існує чітке поняття кумулятивної функції розподілу, якому не відповідають наведені в розділах 3 та 4 результати;

- існування в роботі підрозділу 2.3 потребує певного пояснення або висновку, яким чином впливає вибір структури (а не архітектури, як сказано в дисертації) радіоприймача на показники якості мережі;


- кількість публікацій та апробацій дисертації, вказані в різних частинах тексту, розрізняються, що викликає певне непорозуміння.

Вказані зауваження можуть бути з'ясовані безпосередньо на засіданні спеціалізованої вченої ради під час захисту дисертації, на якому автором будуть надані певні відповіді та роз'яснення.

Висновок: Аналіз дисертації та публікацій у наукових фахових виданнях дає підстави для висновку про те, що дисертація Мерзлікіна Анатолія Олександровича «Методи та засоби підвищення продуктивності та готовності каналів зв'язку міліметрового діапазону хвиль» є завершеною, самостійно виконаною науковою працею, яка містить ознаки наукової новизни, має теоретичне і прикладне значення, відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог щодо оформлення дисертації», а також

відповідає вимогам, передбаченим п. 10 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України № 167 від 6.03.2019 р.) та вимогам 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 і може бути подане до розгляду спеціалізованої вченої ради на предмет допуску до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 – телекомунікації та радіотехніка, галузь знань 17 – електроніка та телекомунікації.

Рецензент – професор кафедри
проектування та експлуатації
електронних апаратів Харківського
національного університету радіоелектроніки,
доктор технічних наук, професор

 В. І. Чумаков

Підпис засвідчую:
Учений секретар




Ігор МАГДАЛІНА