

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора,
професора кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань
Національного університету "Львівська політехніка" на дисертаційну роботу
Михалевського Дмитра Валерійовича
на тему «Методологія підвищення ефективності оцінювання параметрів та характеристик
радіоканалів корпоративних телекомунікаційних мереж»,
яку подано на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю
05.12.02 – «Телекомунікаційні системи та мережі».

1. Актуальність теми дисертації

Сучасні тенденції розвитку телекомунікаційних технологій вимагають сумісного використання радіочастотних ресурсів. Сумісне використання радіочастотного ресурсу призводить до погіршення швидкості та достовірності передавання інформації у корпоративних телекомунікаційних мереж, особливо стандартів 5G і Wi-Fi, які працюють у закритих приміщеннях. Суттєвим недоліком таких мереж є зменшення ефективності передавання інформації по радіоканалах. Зокрема це зумовлено інтерференційними завадами від сусідніх мереж, багатопроменевим поширенням хвиль, електромагнітною сумісністю. Ці впливи призводять до затримок та помилок під час сеансів передачі трафіку, та до інформаційних втрат. В загальному це є значною проблемою у проектуванні та експлуатації корпоративних мереж розгорнутих на основі технологій радіодоступу 5G/Wi-Fi із метою досягнення максимально можливої пропускної здатності та стабільності радіоканалів.

З огляду на це, тема дисертаційної роботи, спрямована на вирішення проблеми підвищення швидкості передавання інформації без інформаційних втрат, є безсумнівно актуальною. Крім того, на каналному рівні розв'язано протиріччя між швидкістю передавання та втратами інформації.

Актуальність роботи підтверджується також її безпосереднім зв'язком із виконанням досліджень та використанням їх результатів у держбюджетних роботах,

Науково-прикладна проблема, яка вирішується у роботі, полягає у розробленні 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. Оцінка змісту та завершеності дисертації.

У дисертаційній роботі викладені наукові положення, висновки та рекомендації в достатній мірі обґрунтовані та в більшості підтверджені експериментально.

Дисертація складається із вступу, шести розділів, висновків, додатків та списку використаних джерел. Робота має загалом 405 сторінок, з яких основний зміст викладений на 318 сторінках. Список використаних джерел складається з 293 найменувань.

У першому розділі наведено результати аналізу літературних джерел та наукових праць про параметри і характеристики радіоканалів Wi-Fi і 5G, аналіз сучасного стану методів оцінювання енергетичних та інформаційних критеріїв. Встановлено, що використання

класичних підходів до оцінювання дають низьку інформативність, за рахунок існування значної кількості факторів впливу які не враховуються, або значно зменшують економічний ефект за рахунок використання дорогого обладнання.

В другому розділі розроблено метод просторового оцінювання потужності сигналу на вході приймача із врахуванням процесів поширення сигналів та внутрішніх і зовнішніх факторів впливу в радіоканалах корпоративних телекомунікаційних мереж. Основою методу є моделі оцінювання, які враховують геометричні розміри приміщень, положення точки доступу, заповненість приміщення перешкодами та відбиваючими поверхнями, інтервал флуктуацій.

В розділі наведено ряд досліджень, де експериментальним шляхом встановлено, що флуктуації потужності сигналу на вході приймача залежить від геометричних розмірів приміщення та коефіцієнта відбиття сигналу від поверхонь стін та об'єктів. Це явище враховується на основі параметрів Δc , Δg , Δa , Δb у моделях оцінювання. Встановлено, ділянки підсилення та послаблення сигналу у приміщенні із флуктуаціями до $\pm 2,5$ дБм і ± 5 дБм на відстанях до чотирьох метрів від відбиваючої поверхні. В найбільш складних умовах біля кутів приміщення флуктуації можуть досягати до 25 дБм.

На основі запропонованого методу є змога ефективніше на 9% визначати покриття корпоративних телекомунікаційних мереж із врахуванням максимально-можливої кількості факторів впливу для забезпечення оптимальних показників покриття мережі радіодоступу у приміщенні в реальному часі.

В третьому розділі проведено дослідження теоретичних та практичних аспектів визначення інформаційних параметрів радіоканалів на основі пропускну здатності та ефективної швидкості передачі інформації та врахування дії різного роду факторів впливу. Удосконалено математичну модель радіоканалів корпоративних телекомунікаційних мереж на основі коефіцієнту ефективності передачі інформації. 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. В розділі наведено ряд експериментальних досліджень радіоканалів корпоративних телекомунікаційних мереж при існуванні архітектурних перешкод, інтерференційних завад, кількості активних радіоканалів у мережі та їх вплив на рівень флуктуацій. Встановлено, що існування архітектурних перешкод різних типів у радіоканалах має однаковий характер впливу, що залежить від товщини та густини матеріалу, при умові значення потужності сигналу не нижче певного порогового значення. У запропонованих моделях режим роботи, кількість, тип та густина архітектурних перешкод враховується на основі інтервалів Δx , Δf , Δu і Δz .

Запропоновано метод визначення ефективної швидкості передачі інформації в радіоканалі на основі статистичних параметрів програмно-апаратних засобів моніторингу приймальних пристроїв. Метод призначений для підвищення ефективності визначення ефективної швидкості передачі інформації у приміщеннях на етапах експлуатації, для покращення технічних показників корпоративних телекомунікаційних мереж в реальному часі.

У четвертому розділі розроблено метод оцінювання гарантованої пропускну здатності радіоканалів корпоративних телекомунікаційних мереж для передачі різних типів трафіку, що

дало змогу підвищити швидкість отримання результатів на етапах проектування. На основі теоретичних досліджень, отримано математичні співвідношення на базі коефіцієнтів енергетичної та інформаційної ефективності, що показують функціональний зв'язок між потужністю сигналу на вході приймача, пропускну здатністю та ефективною швидкістю передачі інформації використовуючи параметр довжини радіоканалу. Це дало змогу провести ряд експериментальних досліджень для отримання статистичного зв'язку між основними параметрами радіоканалу. Розроблено моделі оцінювання ефективної швидкості передачі інформації, на основі статистичного зв'язку, які використовують потужність сигналу на вході приймача та його флуктуації, як основний інформативний параметр, враховують параметри приміщення і положення точки доступу. Розроблені квадратичні моделі оцінювання ефективної швидкості передачі інформації, які враховують додаткові флуктуації біля стін приміщення. Здійснено експериментальну перевірку запропонованого методу для можливості передавання трафіку по радіоканалах у просторі корпоративного приміщення.

У **п'ятому розділі** отримано та проаналізовано результати експериментальних досліджень дії факторів впливу на параметри радіоканалів в умовах корпоративних приміщень. На основі цього запропоновано узагальнені інтегральні показники 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.

Отримано результати експериментальних досліджень впливу інтерференційних завад, архітектурних перешкод, ефекту багатопроменевого поширення хвиль, виробничо-експлуатаційних відхилень параметрів приймальних пристроїв, розміру пакетів, мобільності абонентів, несиметричності випромінювання та роумінгу на роботу радіоканалів корпоративних телекомунікаційних мереж.

У **шостому розділі** розроблено основні положення методології оцінювання параметрів і характеристик радіоканалів та практичних рекомендацій для покращення технічних показників корпоративних телекомунікаційних мереж 5G/Wi-Fi на основі логіко-аналітичного інструменту та блок-схеми із комплексними показниками підвищення ефективності для підвищення технічної ефективності корпоративних телекомунікаційних мереж на етапах проектування та оптимізації.

Експериментальним шляхом встановлено, що запропоновані у роботі моделі оцінювання основних параметрів і характеристик мають ступінь адекватності 0,95 для оцінювання потужності сигналу на вході приймача та 0,9 для ефективної швидкості передачі інформації. 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.

На основі обробки експериментальних результатів досліджень радіоканалів у корпоративних приміщеннях, 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.

Проведено експериментальні дослідження мережі радіодоступу Wi-Fi із застосуванням блок-схеми основних положень методології. 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% та в 2 рази, вдалося розширити зону гарантованого надання інфокомунікаційної послуги.

Виходячи із аналізу основної частини дисертації, можна зробити висновок, що дисертація є завершеною науковою кваліфікаційною роботою.

3. Наукова новизна результатів, отриманих в дисертаційній роботі

Науковими результатами роботи є:

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. Важливість отриманих результатів для науки і практики, можливі шляхи використання результатів дослідження.

Наукові результати, отримані автором, можуть бути використані для покращення технічної ефективності існуючих корпоративних телекомунікаційних мереж побудованих на базі радіотехнологій 5G/Wi-Fi. Отримані висновки та рекомендації дають можливість більш системно, комплексно й ефективно вирішувати прикладні завдання, які пов'язані із впровадженням наступних стандартів 6G та Wi-Fi 7 у корпоративний сектор.

Практичне значення одержаних результатів дослідження полягає в наступному:

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 та прогнозувати 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.

Практична значимість отриманих результатів підтверджується їх використанням і впровадженням у корпоративних мережах Вінницької філії ВАТ Укртелеком, ТОВ «АТРАКОМ», ПрАТ «Лілея», а також в навчальному та науковому процесі Вінницького національного технічного університету.

5. Методи досліджень, які використовуються в дисертаційній роботі

Текст і стиль викладу в дисертаційній роботі є фаховим та доступним для широкого кола фахівців та дослідників в галузі телекомунікацій, завдяки вірним застосуванням апарату методів теорії радіозв'язку, теорії завадостійкості, кодування та інформації, теорії передачі та обробки даних, теорія цифрового радіозв'язку, методи аналізу на основі моделей затухання сигналу у вільному просторі, теорії моніторингу та радіомоніторингу, теорії контролю, теорії випадкових процесів, основні положення теорії ймовірності, методів математичного і фізичного моделювання та експериментальних досліджень, методів математичної статистики, методів статистичної обробки результатів, теорії статистичного та кореляційного аналізу, методів лабораторного та натурного експериментів, методів регресійного аналізу, що свідчить про високу кваліфікацію автора.

6. Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами.

Отримані в дисертаційній роботі результати безпосередньо пов'язані з виконанням низки науково-дослідних робіт в яких автор приймав участь як виконавець, а саме: «Розробка методів і пристроїв первинного цифрового оброблення високочастотних сигналів для систем радіоелектронної боротьби» (2016-2017 рр., № держреєстрації 0116U004710), «Методи та пристрої формування, оброблення й вимірювання сигналів радіоінформаційних систем промислових і військових об'єктів» (2017-2019 рр., № держреєстрації 0117U007139), «Методи та засоби цифрового оброблення радіосигналів для систем безпеки та моніторингу» (2019-2021 рр. № держреєстрації 0119U000296), а також госпдоговірної кафедральної тематики «Методи та засоби вимірювання та оброблення сигналів в радіотехнічних та телекомунікаційних системах на базі інфокомунікаційних технологій» (2013-2018 рр.), № 45K1; «Методи та засоби обробки надвисокочастотних сигналів в телекомунікаційних та радіотехнічних системах» (2019-2023 рр.), № 45K1.

7. Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків та рекомендацій.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Михалевського Д. В., впливають з наступного:

1. Чіткості та послідовності у постановці завдань досліджень.
2. Коректності теоретичних дослідження, на основі використання сучасного математичного апарату фундаментальних положеннях 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;

3. Обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій запропонованої методології, які підтверджуються розрахунками, отриманими математичними моделями, збіжністю теоретичних розрахунків з результатами практичних досліджень і моделювання, актами впровадження та експериментальними дослідженнями;

4. Застосуванням теорії планування експерименту та комп'ютерного оброблення результатів досліджень із використанням пакету програм «Statistica».

5. Застосуванням обчислювальних методів математичного моделювання і досліджень з використанням пакету програм «Mathcad».

Розроблені методи та моделі оцінювання ґрунтуються на фундаментальних засадах і не суперечать їм. Достовірність методів та адекватність моделей перевірено експериментально. Розроблені теоретичні положення мають зв'язок із результатами, що отримані класичними методами, але значно розширюють можливості оцінювання параметрів та характеристик радіоканалів корпоративних телекомунікаційних мереж.

8. Публікації та апробація результатів дисертаційної роботи.

Аналіз опублікованих автором праць свідчить про те, що основні наукові результати, наведені у дисертації, висвітлені у публікаціях автора.

Основні результати дисертаційної роботи Михалевського Д.В., опубліковано у 78 наукових працях, із яких 40 є одноосібними. Серед них 4 колективні монографії; 9 статей у журналах що індексуються в наукометричних базах: Scopus, Web of Science, серед яких 4 у закордонних періодичних виданнях, 20 статей у наукових фахових періодичних виданнях України, що індексуються в міжнародних базах даних; 13 в наукових журналах що індексуються в міжнародних базах даних (Index Copernicus, Google Scholar і ін.); 34 у збірниках матеріалів і тез доповідей міжнародних та всеукраїнських конференцій, а також 3 патенти України на корисну модель.

Результати роботи здобувача пройшли апробацію на значному числі семінарів та міжнародних науково-технічних конференцій.

9. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Зміст дисертаційної роботи Михалевського Д. В. на тему: “Методологія підвищення ефективності оцінювання параметрів та характеристик радіоканалів корпоративних телекомунікаційних мереж” відповідає паспорту спеціальності 05.12.02 – “Телекомунікаційні системи та мережі” з технічних наук, за якою вона подається до захисту, а також профілю спеціалізованої вчено ради Д 35.052.10. Дисертація задовольняє вимогам, які висуваються до робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук та пп. 9, 10 і 12 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”.

Автореферат дисертації в повній мірі розкриває основні наукові результати та положення отримані при виконанні роботи. Стиль викладення матеріалів дисертаційної роботи доступний та забезпечує без ускладнень сприйняття практичних і наукових результатів.

10. Зауваження до дисертаційної роботи

В цілому дисертація оформлена акуратно з дотриманням вимог до оформлення результатів науково-дослідних робіт. Разом з тим необхідно зауважити:

1. Формула (2.3) на сторінці 102 немає відповідного опису. Зокрема, не роз'яснено фізичний зміст та одиниці вимірювання змінних D_0 і D .

2. Рисунок на сторінці 157 недостатньо описаний в тексті дисертації. Зокрема не пояснено природа локальних мінімумів та локальних максимумів, та як вони співвідносяться із реальними перепадами трафіку.

3. На сторінці 208 у формулі 4.13, не пояснено поняття V_0 та ΔV , що ускладнює розуміння фізичної сутності розв'язуваної задачі. Зокрема незрозуміло чи це швидкість абонента чи зсув частоти опорних генераторів

4. У формулах (3.22) і (3.43) та у формулах (8) і (9) автореферату не розкриті часткові показники (складові) ефективності.

5. У висновках не висвітлено результатів основної мети роботи, тобто в підвищенні ефективності передавання даних. Зокрема, нерозкриті такі складові ефективності, як швидкість та достовірність передавання даних.

6. Для рисунку 3.18 не вказано умови за яких отримані результати фрагментів часових розподілів параметрів прийнятих і переданих кадрів. Зокрема вплив інтерференційних завад, сусідніх трафіків та багатопроменевого поширення хвиль.

7. У роботі зустрічаються не досить вдалі стилістичні речення.

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

Загальні висновки

1. Дисертаційна робота Михалевського Дмитра Валерійовича, яка виконана на тему «Методологія підвищення ефективності оцінювання параметрів та характеристик радіоканалів корпоративних телекомунікаційних мереж» за змістом є закінченим науковим дослідженням, у якому автором запропоновано нові та розвинені відомі методи та моделі оцінювання параметрів і характеристик радіоканалів корпоративних телекомунікаційних мереж, що в сукупності вирішують актуальну науково-прикладну проблему розробки ефективної методології оцінювання основних параметрів і характеристик радіоканалів шляхом створення нових та вдосконалення існуючих методів та моделей із врахуванням факторів впливу на базі статистичних зв'язків між параметрами та із імітацією дії кожного виду фактору впливу, як окремо так і комплексно.

Робота цілком відповідає вимогам "Паспорту" спеціальності 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі.

2. В роботі не використані положення кандидатської дисертації автора. У публікаціях здобувача й авторераті повно відбиті основні положення дисертації.

3. Автореферат дисертації повністю відповідає змісту дисертації.

4. Матеріали дисертації достатньо апробовані і висвітлені у 78 наукових публікаціях, зокрема в наукометричній базі Scopus та наукових фахових періодичних виданнях України.

5. Структура дисертації (поділ на розділи та підрозділи) є обґрунтованою.

6. Наведені зауваження не змінюють загальну позитивну оцінку наукової значимості і практичної цінності дисертаційної роботи.

7. Дисертаційна робота за актуальністю, науковою новизною та практичної цінністю відповідає вимогам «Порядок присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року (зі змінами та доповненнями) затвердженого постановою Кабінету Міністрів України, (зокрема пп. 9, 10 та 12), а її автор Михалевський Дмитро Валерійович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри теоретичної
радіотехніки та радіовимірювань
Національного університету
"Львівська політехніка"



А. П. Бондарев

Підпис д.т.н., професора Бондарєва А. П. ЗАСВІДЧУЮ
Вчений секретар Національного університету
"Львівська політехніка"



Р. Б. Брилинський

"13" 09 2021 р.