

ВІДГУК офіційного опонента

на дисертаційну роботу Максимюка Тараса Андрійовича за темою «Інтелектуальне автоматизоване управління децентралізованими системами мобільного зв'язку», подану до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

1. Актуальність теми

Сучасна динаміка розвитку інформаційних технологій призводить до стрімкого зростання обсягів трафіку, які проходять через гетерогенну інфраструктуру мереж фіксованого та мобільного зв'язку. Це, в свою чергу, потребує постійного вдосконалення технологій та стандартів зв'язку з метою підвищення ефективності їх функціонування за технічними та економічними показниками. Особливо актуальним це питання постає саме для мереж мобільного зв'язку, враховуючи їх особливості відкритого середовища передавання та обмеженого радіочастотного ресурсу, що значно ускладнює процес модернізації та підвищує вартість обладнання для побудови мережної інфраструктури. Дані особливості призвели до того, що процес еволюції мереж мобільного зв'язку здійснюється довготривалими циклами, які прийнято нумерувати поколіннями, наприклад 2G, 3G, 4G, 5G та 6G. Кожен цикл триває приблизно десять років, які потрібні не лише для проведення процедури стандартизації, але і для того щоб оператори змогли забезпечити прибуток зі своїх капітальних інвестицій. Такі особливості суттєво ускладнюють модернізацію телекомунікаційної інфраструктури мереж мобільного зв'язку. Незважаючи на те, що нові методи та засоби для підвищення ефективності мереж мобільного зв'язку з'являються кожен день, їх широке впровадження є недоцільним у зв'язку із необхідністю значних капітальних вкладень, що можуть перекривати потенційні переваги впроваджень.

Додатковою складністю є те, що існуюча модель ліцензування радіочастотного ресурсу передбачає видачу ліцензій операторам для використання в національному масштабі, що потребує значного обсягу додаткових інвестицій з боку операторів. Це ускладнює вихід на ринок нових операторів, оскільки для розгортання мережної інфраструктури в національному масштабі потрібні надзвичайно великі капіталовкладення. З іншого боку, використання локального ліцензування, дало б змогу операторам придбати дешевшу ліцензію на радіочастоти з територіальним обмеженням та розгорнути інфраструктуру значного меншого масштабу. Це забезпечує можливість виходу на ринок мобільного зв'язку представників малого та середнього бізнесу за рахунок зниження порогового рівня інвестиційного бар'єру. Проте, з технічної точки зору така модель є надзвичайно складною в реалізації, що потребує нових методів управління та моніторингу радіочастотного ресурсу. Існуючі методи моніторингу

радіочастот не є придатними для контролю локальних зон, оскільки здебільшого передбачають самостійний контроль з боку операторів, що є надто складним завданням, у випадку великої кількості операторів з нечіткими територіальними межами дії ліцензій. Тому, ринок потребує нових методів координованого використання радіочастотного ресурсу та мережної інфраструктури операторами, а також моделей децентралізованого управління процесом надання сервісів у мережах мобільного зв'язку для забезпечення повсюдного обслуговування абонентів у мережах різних операторів.

Технічні, економічні та організаційні аспекти проблем розподілу радіочастотних ресурсів розглядаються у дисертаційній роботі Максимюка Тараса Андрійовича, яка спрямована на підвищення ефективності функціонування мультиоператорних мереж мобільного зв'язку за рядом технічних та економічних показників, в умовах децентралізованого розгортання інфраструктури, відкритого ринку радіочастотного ресурсу та адаптивного обслуговування абонентів без прив'язки до оператора.

Крім того, актуальність досліджень в даному напрямку підтверджується їх виконанням в рамках низки науково-дослідних робіт в Україні та за кордоном.

2. Загальна характеристика дисертаційної роботи

В дисертаційній роботі вирішено науково-прикладну проблему розроблення методів, моделей та засобів інтелектуального управління децентралізованою мультиоператорною інфраструктурою мереж мобільного зв'язку, з метою підвищення її техніко-економічної ефективності для операторів та абонентів, в умовах принципово нових засад використання радіочастотного ресурсу та мережної інфраструктури.

Дисертаційна робота складається з переліку умовних скорочень, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і 4 додатків, які містять опис розробленого програмного забезпечення, акти впровадження результатів дисертаційної роботи, а також список праць автора. Загальний обсяг роботи складає 435 сторінок друкарського тексту, із них 13 сторінок вступу, 304 сторінки основного тексту, 170 рисунків, 16 таблиць, список використаних джерел із 336 найменувань.

У **вступі** описано існуючі невирішені протиріччя, обґрунтовано науково-прикладну проблему, основні процедурні положення, а також приведено інформацію про зв'язок роботи з науково-дослідними роботами та факти впровадження основних практичних результатів.

Перший розділ дисертаційної роботи містить огляд найбільш актуальних літературних джерел за тематикою досліджень. Зокрема автором проаналізовано існуючі стандарти побудови мереж мобільного зв'язку 5G. Детально розглянуто сучасні та перспективні методи управління мережами мобільного зв'язку на різних рівнях функціонування з використанням засобів штучного інтелекту. Проведено огляд існуючих підходів до децентралізації

мереж мобільного зв'язку з використанням технології блокчейн. На основі проведеного аналізу, сформульовано структурно-логічну схему дисертаційного дослідження.

У другому розділі дисертантом запропоновано багаторівневий підхід до синтезу децентралізованої системи мобільного зв'язку з інтелектуальним управлінням. Зокрема, варто відзначити запропоновану автором модель децентралізації операторів, радіочастотного ресурсу та мережної інфраструктури з використанням розподілених реєстрів блокчейн. Дана модель вдало доповнюється запропонованим методом адаптивного вибору оператора абонентом в режимі реального часу на основі запропонованої функції корисності, яка враховує як технічні так і економічні параметри. Це дає змогу забезпечити децентралізацію систем мобільного зв'язку національного масштабу. Для координації функцій управління мережею мобільного зв'язку запропоновано систему моніторингу та управління, яка є відокремленою від операторів, та може використовуватись для узгодженого збору даних і навчання алгоритмів штучного інтелекту з метою їх подальшого спільного використання у децентралізованих системах мобільного зв'язку.

У третьому розділі розв'язується завдання децентралізованого синтезу фізичної топологічної структури мережі мобільного зв'язку. Для цього запропоновано інтелектуальний алгоритм генерування реалістичних траєкторій переміщення абонентів на основі нейронних мереж. Унікальністю даного підходу є його можливість вивчати приховані закономірності переміщення абонентів на основі малої вибірки даних. Це дало змогу генерувати значні обсяги синтетичних даних, які в подальшому у розділі використовуються для навчання запропонованого методу пошуку ефективних топологічних структур на основі самоорганізованих карт Кохонена. Особливістю нового методу є його адаптованість під реальні віртуальні копії середовища покриття з тривимірною забудовою, що забезпечується шляхом заміни метрики Евклідової відстані на метрику співвідношення сигнал/шум. Крім того, запропонований метод дає змогу реалізувати децентралізований синтез топологічної структури багатьма операторами, шляхом фіксації вагових коефіцієнтів карти для вузлів існуючої мережної інфраструктури.

Четвертий розділ повністю присвячений проблемі управління радіочастотними ресурсами ліцензійного та неліцензійного діапазонів у децентралізованих мультиоператорних мережах мобільного зв'язку. Зокрема автором запропоновані техніко-економічні моделі спільного використання ліцензійних та неліцензійних радіочастотних ресурсів в мультиоператорних мережах. Дані моделі базуються на теорії ігор та смарт-контрактах між операторами, з урахуванням впливу їх економічних стратегій на показники ефективності функціонування мережі. Окремо варто відзначити досліджені автором моделі та алгоритми для адаптивного використання неліцензійного радіочастотного ресурсу. Враховуючи потенційні діапазони неліцензійного спектру, які не використовуються наразі у повному обсязі, розроблені у

розділі методи дадуть змогу суттєво підвищити пропускну здатність мережі мобільного зв'язку. Крім того, у розділі запропоновано модель інтелектуального управління радіочастотним ресурсом на основі рекурентних нейронних мереж, яка дає змогу операторам прогнозувати зміни завантаженості базових станцій та адаптувати розподіл радіочастотного ресурсу між ними у відповідності до прогнозованого попиту абонентів.

У **п'ятому розділі** розглядаються основні методи та моделі управління магістральними інформаційними потоками на різних рівнях агрегації трафіку з метою забезпечення наскрізного рівня якості обслуговування. Зокрема, у цьому розділі запропоновано вдосконалений метод мультиплексування інформаційних потоків у оптичних мережах доступу, який враховує таку важливу характеристику як взаємозв'язок між інтенсивністю трафіку у сусідніх сегментах децентралізованих систем мобільного зв'язку. Це дало автору змогу прогнозувати вплив масового переміщення груп абонентів на сумарний обсяг трафіку в різних сегментах доступу оптичних мереж. Крім того, у розділі узагальнено процес управління інформаційними потоками на магістральному рівні. Особливість даного методу є використання декомпозиції сумарного агрегованого трафіку на окремі інформаційні потоки різних класів сервісу, що дало змогу окремо прогнозувати частку кожного із них у загальному агрегованому трафіку. Для додаткового підвищення якості надання сервісів, у роботі запропоновано алгоритм кешування контенту, який дає змогу попередньо завантажувати контент у пам'яті абонентського пристрою для підвищення якості його сприйняття абонентом. Таким чином, у розділі автору вдалось досягти узгодженого диференціювання трафіку з різними вимогами до якості та забезпечити наскрізне управління інформаційними потоками в децентралізованих системах мобільного зв'язку.

У **шостому розділі** представлено основні практичні рекомендації для побудови децентралізованих мереж мобільного зв'язку. Зокрема, проведено порівняння альтернативних моделей розгортання інфраструктури для операторів різного масштабу. Сформовано рекомендації стосовно регулювання ринку радіочастотного ресурсу, а також правових аспектів використання смарт-контрактів та технології блокчейн для децентралізації ринку мобільного зв'язку. Розроблено прототип децентралізованої мережі мобільного зв'язку на основі програмно апаратних платформ NI USRP 2900, яка підтримує можливість програмувати мережні функції та дає змогу практично реалізувати ряд представлених у роботі методів та алгоритмів.

У **висновках** дисертаційної роботи узагальнено основні отримані результати, які в підсумку дали змогу вирішити науково-прикладну проблему розроблення методів, моделей та засобів інтелектуального управління децентралізованою мультиоператорною інфраструктурою мереж мобільного зв'язку, з метою підвищення її техніко-економічної ефективності для операторів та абонентів, в умовах відкритого ринку радіочастотного ресурсу та мережної інфраструктури.

Додатки до роботи містять коди розроблених програм, акти впровадження та список праць автора.

3. Наукова новизна дисертаційної роботи

1. Вперше запропоновано структурно-функціональну модель децентралізованої мережі мобільного зв'язку, яка базується на відокремленні площини абонентів, площини мережної інфраструктури, площини операторів, площини децентралізації та площини інтелектуального управління, що дає змогу операторам автоматизовано координувати процес спільного використання мережної інфраструктури, на основі смарт-контрактів, токенизації активів та методів штучного інтелекту.

2. Вперше запропоновано метод адаптивного вибору оператора мобільного зв'язку в режимі реального часу на основі інтегральної функції корисності абонента, який забезпечує повсюдне обслуговування на основі публічного ключа у мережі блокчейн, що дає змогу покращити співвідношення між якістю та вартістю сервісу для абонентів та підвищити прибутки операторів.

3. Набув подальшого розвитку метод проектування покриття мережі мобільного зв'язку на основі самоорганізованих карт Кохонена, який, на відміну від інших методів, використовує метрику співвідношення сигнал/шум для врахування просторових характеристик зони покриття, а також фіксовані вагові коефіцієнти для існуючих базових станцій, що дає змогу операторам децентралізовано синтезувати квазі-оптимальну топологічну структуру за множиною критеріїв ефективності, шляхом врахування статистичних даних переміщення абонентів.

4. Вперше запропоновано модель спільного використання ліцензійного радіочастотного ресурсу в мультиоператорній мережі мобільного зв'язку, яка базується на торгівлі токенизованими активами радіочастотного ресурсу на основі смарт-контрактів та теорії ігор, що дає змогу підвищити середню пропускну здатність та знизити кількість відмов в обслуговуванні для абонентів, а також забезпечити прозорий розподіл ресурсів між операторами за правилами ринкової економіки, в залежності від запитів кінцевих користувачів.

5. Вперше запропоновано модель спільного використання неліцензійного радіочастотного ресурсу операторами мобільного зв'язку на основі смарт-контрактів та кооперативної теорії ігор, що дає змогу забезпечити автоматизований справедливий розподіл ресурсів між операторами.

6. Набув подальшого розвитку метод інтелектуального управління радіочастотним ресурсом в мультиоператорних мережах мобільного зв'язку, який на відміну від відомих, використовує прогнозування часових характеристик трафіку окремих типів з використанням глибоких рекурентних нейронних мереж, що дає змогу підвищити якість обслуговування абонентів та прибутки операторів за рахунок попереднього резервування радіочастотного ресурсу.

7. Набув подальшого розвитку метод інтелектуального мультиплексування інформаційних потоків у оптичних мережах доступу, який на відміну від відомих, враховує взаємозв'язок між інтенсивністю

трафіку в сусідніх сегментах мережі мобільного зв'язку, що дає змогу підвищити ефективність управління потоками в децентралізованих мережах мобільного зв'язку в умовах впливу екзогенних факторів.

8. Набув подальшого розвитку метод інтелектуального управління інформаційними потоками в оптичній транспортній інфраструктурі, який на відміну від відомих, забезпечує узгоджене диференціювання інформаційних потоків з різними вимогами до якості сервісу на основі штучного інтелекту, що дало змогу забезпечити наскрізне управління інформаційними потоками в децентралізованих системах мобільного зв'язку національного масштабу.

4. Оцінка обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Максимюка Тараса Андрійовича, підтверджується аналітичними моделями, які не суперечать основним принципам реалізації мереж мобільного зв'язку, їх коректністю з точки зору теорії ймовірності, математичної статистики, методів машинного навчання та теорії ігор. Достовірність аналітичних моделей додатково підтверджено імітаційним моделюванням з використанням програмного забезпечення, яке відповідає рекомендаціям 3GPP для тестування мереж мобільного зв'язку. Основні практичні результати дисертаційної роботи впроваджені на практиці, що підтверджено відповідними актами. Нові отримані результати вдало доповнюють попередні дослідження у даному напрямку. Крім того, ключові положення дисертації були представлені автором на 34 науково-технічних конференціях та симпозіумах, що проводились в Україні та за кордоном.

5. Повнота викладу результатів дисертаційної роботи у наукових публікаціях

За результатами дисертаційної роботи, автором опубліковано 86 наукових праць, з яких – 1 монографія, 1 патент, 12 статей у закордонних періодичних виданнях індексованих у Scopus та Web of Science, 3 статті у закордонних періодичних виданнях, індексованих іншими наукометричними базами, 12 статей у фахових періодичних виданнях України, 1 стаття у іншому періодичному виданні.

Крім того, результати дисертаційної роботи Максимюка Т.А. пройшли апробацію на різних конференціях, що підтверджується, 34-ма публікаціями у матеріалах міжнародних конференцій, які індексовані наукометричними базами Scopus/Web of Science та 20-ма публікаціями у матеріалах інших конференцій.

Загалом, усі публікації повністю висвітлюють матеріали дисертаційної роботи.

6. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертація оформлена у відповідності до чинних вимог для докторських дисертацій п.п. 9, 10, 12 чинного «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р., а також наступним змінам та доповненням до цієї постанови. Автореферат дисертації коректно узагальнює отримані наукові результати та запропоновані рекомендації, і оформлений згідно з вимогами. Матеріал у авторефераті представлений у лаконічній формі, що забезпечує доступність сприйняття основних положень дисертаційної роботи.

7. Важливість одержаних результатів для науки і народного господарства та перспективи їх використання

Отримані результати мають вагомим практичне значення для економіки та народного господарства України. Зокрема, практичне впровадження результатів роботи стимулюватиме подальший розвиток мереж мобільного зв'язку четвертого та п'ятого покоління, а також прискорить процеси цифрової трансформації економіки.

Зокрема, автором:

1. Розроблено систему децентралізованого краудсорсингового моніторингу просторових характеристик мережі мобільного зв'язку, яка працює на основі асинхронних протоколів Інтернету речей, що дає змогу забезпечити операторам гнучкий процес збору даних із статистичною повнотою інформації для аналітичних засобів машинного навчання, не створюючи при цьому надлишкове використання ресурсів.

2. Запропоновано модель токенизації радіочастотного та інфраструктурного ресурсу на основі стандарту ERC 721, яка дає змогу оцифрувати мережні активи операторів або сторонніх стейкхолдерів з метою їх обміну, шляхом фінансових транзакцій у мережі блокчейн, що забезпечує підвищення середньої пропускної здатності для абонентів до 30% та зменшення кількості відмов в обслуговуванні до 14%, в умовах спільного використання ліцензійного радіочастотного ресурсу.

3. Розроблено децентралізовану блокчейн-платформу для управління смарт-контрактами, яка дає змогу підвищити пропускну здатність для абонентів до 11% при незмінній вартості сервісу та збільшити прибутки операторів до 27%, при використанні адаптивного вибору оператора в режимі реального часу.

4. Запропоновано алгоритм моделювання мобільності абонентів, який використовує генеративно-змагальні нейронні мережі у поєднанні із технологіями геоінформаційних систем, що дає змогу підвищити системну спектральну ефективність мережі мобільного зв'язку на 7%, за рахунок оцінювання просторово-часових статистичних характеристик трафіку, на етапі її синтезу, з урахуванням існуючої інфраструктури середовища та

індивідуальних атрибутів кінцевих абонентів.

5. Розроблено імітаційну модель фізичної інфраструктури мережі мобільного зв'язку, яка враховує тривимірну копію місцевості на основі геоінформаційної системи OpenStreetMaps та реальне розташування базових станцій на основі OpenCellID, що дає змогу на 20% підвищити ймовірність обслуговування абонентів із прийнятним співвідношенням сигнал/шум за рахунок моделювання характеристик просторового поширення сигналу, на етапі синтезу складних топологічних структур з багатопроменевим поширенням хвиль у тривимірному просторі.

6. Розроблено алгоритм координованого прослуховування частотних каналів у неліцензійному діапазоні, який полягає у формуванні окремих груп абонентів з унікальними дискретними інтервалами прослуховування, що дає змогу знизити ймовірність одночасного передавання даних абонентами від 5 до 30%, і відповідно підвищити середні значення пропускної здатності для абонентів до 35%.

7. Розроблено алгоритм прогнозування часових характеристик трафіку з використанням рекурентних нейронних мереж, який дає змогу досягти виграшу у ефективності використання радіочастотних ресурсів мережі мобільного зв'язку, що забезпечує підвищення середньої пропускної здатності для абонентів до 7% та збільшення прибутків операторів до 19%, в умовах спільного використання ліцензійного радіочастотного ресурсу.

8. Розроблено алгоритм мультиплексування інформаційних потоків в оптичних мережах доступу при здійсненні хендоверу, який дає змогу знизити обсяг надлишкового службового трафіку до 20% за рахунок прогнозування переміщення абонентів та проактивної маршрутизації трафіку.

9. Розроблено алгоритм кешування контенту з використанням обчислювальних ресурсів абонентських пристроїв, який використовує передбачення запитів абонента, шляхом аналізу його активності у соціальних мережах, що дає змогу забезпечити максимальну якість сприйняття мультимедійного контенту за рахунок зниження затримки його доставки, а також зменшення вимоги до пропускної здатності радіоканалу до 70%, в момент запиту контенту абонентом.

10. Розроблено прототип децентралізованої мережі мобільного зв'язку з використанням програмно-конфігурованих базових станцій стандартів LTE та 5G на основі універсальних програмно-апаратних платформ NI USRP 2900, віртуалізованих мікросервісів ядра мереж 4G та 5G на основі платформи Raspberry Pi, тестової блокчейн інфраструктури Ethereum та системи інтелектуального управління на основі хмарної інфраструктури Google Cloud.

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

8. Зауваження та рекомендації до дисертаційної роботи

1. В дисертації запропоновано систему децентралізованого моніторингу, яка передбачає використання технології блокчейн для координації процесу збору даних. Проте, автором не зазначено, яким чином здійснюється процес майнінгу, і чи достатньо швидкості обробки транзакцій у мережі блокчейн для забезпечення неперервного процесу моніторингу в режимі реального часу.

2. При описі запропонованих смарт-контрактів у підрозділі 2.3.2. доцільно було б оцінити складність їх реалізації з точки зору інфраструктури блокчейн, яка очевидно вносить додаткову затримку в процес функціонування децентралізованих мереж мобільного зв'язку.

3. Запропонований метод адаптивного вибору оператора мобільного зв'язку передбачає процес конкуренції між операторами за абонентів. Проте, з опису даного методу у другому розділі, незрозуміло чи параметри вартості сервісу, які пропонуються операторами у виразі (2.26) є остаточною, чи оператори мають змогу торгуватися з абонентами.

4. Запропонований алгоритм моделювання мобільності передбачає попереднє навчання на основі реальної вибірки даних. Проте, при описі алгоритму у третьому розділі дисертації, автор не зазначає, яким чином отримується дана вибірка для потрібної території моделювання.

5. При дослідженні запропонованої техніко-економічної моделі спільного використання радіочастотного ресурсу, автор припускає, що вартість оренди спектру є фіксованою. На мою думку, варто було б також розглянути випадок, при якому оператор може встановлювати різну вартість оренди радіочастотного ресурсу та оцінити як це вплине на технічні та економічні показники ефективності мережі.

6. У четвертому розділі автором проведено моделювання процесу спільного використання неліцензійного радіочастотного ресурсу та показано, що запропонована модель забезпечує рівномірний розподіл ресурсів між операторами. Проте, варто зазначити, що рівномірний розподіл ресурсів буде ефективним лише за умови однакових вимог трафіку кожного оператора. Тому, доцільно було б додатково розглянути процес кооперативної гри при різній кількості абонентів у кожного оператора.

7. У п'ятому розділі автор розглядає аспекти функціонування оптичних транспортних мереж з точки зору наскрізного управління інформаційними потоками децентралізованих мереж мобільного зв'язку на магістральному рівні. Проте, не зовсім зрозуміло, чи враховував автор при цьому інформаційні потоки інших фіксованих мереж доступу, які теж передаються в оптичних транспортних мережах.

8. У шостому розділі представлено загальний принцип функціонування прототипу мережі мобільного зв'язку. Проте, для розуміння його роботи з точки зору інтелектуального управління мережною інфраструктурою необхідно мати відповідні навички програмування, що ускладнює його загальне сприйняття. Було б доцільним більш інформативно описати приклад

роботи запропонованого прототипу у вигляді рисунків та блок-схем.

9. Загальні висновки

1. Дисертаційна робота Максимюка Тараса Андрійовича є завершеною науковою працею, яка містить нові наукові результати, що мають важливе значення для розвитку мереж фіксованого та мобільного зв'язку в Україні.

2. Сукупність наукових положень, сформульованих та обґрунтованих у дисертаційній роботі, має практичну цінність вирішує науково-прикладну проблему розроблення методів, моделей та засобів інтелектуального управління децентралізованою мультиоператорною інфраструктурою мереж мобільного зв'язку, з метою підвищення її техніко-економічної ефективності для операторів та абонентів, в умовах відкритого ринку радіочастотного ресурсу та мережної інфраструктури.

3. Дисертаційна робота за змістом відповідає вимогам Паспорту спеціальності 05.12.02 - телекомунікаційні системи та мережі.

4. Матеріали дисертації достатньо апробовані, доповідались на міжнародних і всеукраїнських конференціях, наукових семінарах, висвітлені в наукових публікаціях.

5. Автореферат об'єктивно і з необхідною повнотою відображає зміст і основні положення дисертації.

6. Структура дисертації є обґрунтованою.

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

8. За актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною значимістю одержаних результатів дисертаційна робота Максимюка Т.А., яка подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, відповідає вимогам для докторських дисертацій п.п. 9, 10, 12 чинного «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р., а також наступним змінам та доповненням до цієї постанови, а її автор Максимюк Тарас Андрійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 - телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент

професор кафедри радіотехніки

та інформаційної безпеки

Чернівецького національного університету

імені Юрія Федьковича

доктор технічних наук, професор

Р.Л. Політанський

