

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 26.062.19. Національного
авіаційного університету
Козловському В.В.
03058, м. Київ, проспект Любомира
Гузара, 1.

ВІДГУК

Офіційного опонента – доктора технічних наук, професора,
професора кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем
Національного авіаційного університету,

Конаховича Георгія Филімоновича, на дисертаційну роботу
Нестеренка Миколи Миколайовича на тему:

„Методологія управління пропускнуою спроможністю та якістю
обслуговування трафіка реального часу в гетерогенних електронних
комунікаційних мережах із обхідними шляхами”

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Актуальність.

Сучасний етап розвитку електронних комунікацій та інформаційно-комунікаційних систем вказує на широке застосування нових концепцій побудови та використання новітніх ІР-технологій на всіх рівнях складних гетерогенних електронних комунікаційних мереж (ЕКМ). При цьому, особлива увага приділяється питанням теорії і практики розвитку VoIP та систем відео-конференц зв'язку, так як передача голосових та відео потоків вимагає забезпечення нормованих показників якості обслуговування (QoS).

На сьогоднішній день, інформаційно-комунікаційна система є складною, ієрархічною, розподіленою системою до складу якої входять різноманітні електронні комунікаційні мережі операторів комунікаційних послуг та інтернет провайдерів різної форми власності, як правило дані мережі не сумісні між собою. Це пояснюється тим, що наявні мережеві ресурси ЕКМ операторів не однорідні: обладнання різних мережевих вендорів із власними пропрієтарними протоколами; різної технологічної основи; різних методів комутації; різноманітні архітектурні рішення систем сигналізації.

В свою чергу, існуючий науково-методологічний апарат має ряд недоліків: не враховує втрати повідомлень, які виникають в процесі обслуговування трафіка реального часу в умовах динамічної зміни структури мережі та обмеженого мережевого ресурсу; не враховується використання обхідних шляхів передачі в інформаційних напрямках мережі та методів Traffic Engineering для забезпечення заданих показників QoS; має обмежені

можливості щодо обґрунтування рекомендацій при проектуванні системи сигналізації.

Дисертаційна робота Нестеренка М.М., подана до розгляду, вирішує актуальну наукову проблему щодо створення та розвитку моделей і методів розподілу потоків повідомлень при використанні обхідних шляхів передачі в складних гетерогенних електронних комунікаційних мережах за показниками пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу.

Розв'язання вище зазначеної проблеми вимагає враховувати порядок обслуговування різних типів трафіка на відповідних рівнях запропонованої інтеграційної архітектури електронної комунікаційної мережі в умовах коливання об'єму вхідного навантаження та впливу дестабілізуючих факторів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Дисертаційну роботу подану до розгляду можна характеризувати як достатньо обґрунтовану наукову базу, що має чіткий структурований вигляд. Усі наукові результати, які отримані М.М. Нестеренком в дисертаційному дослідженні, підкріплені закордонними та вітчизняними дослідженнями у галузі підвищення пропускної спроможності та якості обслуговування складних гетерогенних електронних комунікаційних мереж за рахунок збільшення ефективності використання наявного мережевого ресурсу шляхом впровадження нового науково-методологічного апарату розподілу потоків повідомлень при управлінні порядком використання обхідних шляхів передачі в інформаційних напрямках в залежності від структурної надмірності.

Для досягнення мети в дисертаційній роботі вирішувалися наступні задачі: проаналізовано стан проблематики управління якістю обслуговування (QoS) трафіка реального часу в складних гетерогенних ЕКМ та визначено особливостей побудови сучасних концепцій з урахуванням міжнародних стандартів; визначено основні вимоги до моделей, технологій, систем управління та недоліки існуючого науково-методологічного апарату управління розподілом потоків повідомлень в гетерогенних ЕКМ для забезпечення показників якості обслуговування трафіка реального часу; здійснено розробку моделі функціонування інформаційних напрямків із врахування показників пропускної спроможності та якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу при використанні обхідних шляхів передачі в гетерогенній ЕКМ; розроблено метод оцінки пропускної спроможності ЕКМ при забезпеченні якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу в процесі експлуатації; здійснено розробку методу визначення достатнього мережевого ресурсу гілок ЕКМ при дотриманні заданих показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу; розроблено метод проектування мережі сигналізації в залежності від продуктивності програмно-функціональних блоків ядра IP Multimedia Subsystem (IMS) гетерогенної ЕКМ; розроблено модель визначення інтервалів опитування

системою моніторингу в залежності від її структури та завантаженості гетерогенної ЕКМ; здійснено розробку рекомендацій щодо побудови інтеграційної архітектури ЕКМ шляхом використання переваг сучасних концепцій в умовах: різноманітного електронного комунікаційного середовища існуючих мереж, різнотипних систем сигналізації, коливання об'єму вхідного навантаження, обмеженого мережевого ресурсу та впливу дестабілізуючих факторів; сформовано (на базі розроблених моделей та методів) методологію управління пропускнуною спроможністю та якістю обслуговування трафіка реального часу; проведена оцінка ефективності розробленого науково-методологічного апарату шляхом імітаційного моделювання процесів обслуговування трафіка реального часу при дотриманні заданих показників якості обслуговування.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується доцільністю застосування методів системного аналізу та синтезу, методів декомпозиції, а також використанням теорії графів та матриць, ймовірнісних потокових моделей, методів комбінаторики, а також застосуванням положень теорії телетрафіка. Достовірність наукових висновків у дисертації також підтверджується: коректним формулюванням завдання та його відповідністю реальним умовам; збором достатньої кількості експериментальних даних, отриманих імітаційним моделюванням та його кореляцією з результатами аналітичного моделювання відповідно до розробленого науково-методологічного апарату.

Науково-практичне застосування отриманих результатів дослідження розривається у відповідних актах, що представлені у додатках дисертації.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

розроблена нова модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках електронної комунікаційної мережі, яка на відміну від існуючих, враховує забезпечення показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу за інформаційними напрямками, при суперпозиції ймовірнісних потоків в гілках мережі, в процесі встановлення наскрізного з'єднання між абонентами при використанні обхідних шляхів передачі в гетерогенній електронній комунікаційній мережі із технологією віртуальних каналів або тунелів, згідно моделі Integrated Service;

удосконалений метод оцінки відповідності заданих показників пропускнуною спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу функціонуючої електронної комунікаційної мережі, який на відміну від існуючих, використовує модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках та квазістатичний метод формування плану розподілу навантаження з урахуванням рівня навантаженості та втрат на гілках мережі, а також враховує різні типи кодеків на кінцевому обладнанні мереж із технологією віртуальних каналів або тунелів;

удосконалений метод визначення достатньої кількості мережевого ресурсу гілок електронної комунікаційної мережі із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу, який на відміну від існуючих, використовує модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках та квазістатичний метод формування плану розподілу навантаження, за найкоротшими та незалежними шляхами передачі для кожного інформаційного напрямку, в залежності від рівня навантаженості та коефіцієнту використання ресурсу гілок електронної комунікаційної мережі із технологією віртуальних каналів або тунелів;

розроблений новий метод проектування системи сигналізації гетерогенної електронної комунікаційної мережі. Новизна методу полягає в декомпозиції функцій ядра підсистеми сигналізації IMS при інтеграції різнорідних мереж сигналізації, що дозволяє розрахувати обсяг службового трафіку при його транскодуванні до стандартизованого вигляду, а також забезпечити нормовані рівні показників якості обслуговування трафіку сигналізації в залежності від структури гетерогенної електронної комунікаційної мережі, різних типів протоколів сигналізації, вхідного навантаження та кількості абонентів;

удосконалена модель визначення інтервалів опитування в системі моніторингу в залежності від завантаження гетерогенної електронної комунікаційної мережі, яка на відміну від існуючих, враховує випадковий час обслуговування службових повідомлень в буферах і портах активного мережевого обладнання та час затримки в гілках мережі для визначення допустимих значень інтервалів опитування NMS-менеджерами SNMP-агентів в залежності від ієрархічної структури мережі моніторингу, кількості NMS-менеджерів та SNMP-агентів, заданих вимог щодо оперативності збору даних про стан елементів мережі, а також резервів пропускної спроможності в гілках гетерогенної електронної комунікаційної мережі.

Повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих працях. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 55 наукових працях. Серед 24 статей у наукових журналах і збірниках наукових праць включених до Переліку наукових фахових видань України 1 опублікована в Web of Science та 5 Scopus. Також опубліковано: 28 тез доповідей на науково-практичних конференціях, семінарах міжнародного та державного рівнів, з них 5 Scopus; 1 монографія; 1 патент на корисну модель та 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.

Практичне значення результатів дослідження полягає у наступному:

1. Розроблена інтеграційна архітектура ЕКМ, в основу якої покладені переваги сучасних концепцій Next Generation Network (NGN) та IMS, комбінування яких дозволяє: провести об'єднання існуючих ЕКМ у відповідності до вимог NGN, тобто створити загальне електронно комунікаційне середовище із мереж різних технологій, різнорідного

несумісного мережевого обладнання та удосконалити ЕКМ на рівні управління та сигналізації, шляхом застосування вимог концепції IMS. А саме, інтегрувати апаратно-незалежну платформу у вигляді програмно-функціональних блоків для взаємодії різнотипних систем сигналізації.

2. Використання розробленої моделі оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках ЕКМ дозволить врахувати якість обслуговування (QoS) при наскрізному встановленні з'єднання між абонентами згідно моделі Integrated Service.

3. Метод оцінки відповідності заданих показників пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу функціонуючої електронної комунікаційної мережі дозволяє, підвищити пропускну спроможність при виконанні заданих показників якості обслуговування (QoS) трафіку реального часу за рахунок ефективного використання мережевого ресурсу ЕКМ з обхідними шляхами передачі. Виграш за показником якості обслуговування (QoS) в інформаційному напрямку складає 30 %; за показником пропускної спроможності в середньому складає 16 – 18 %, в залежності від розмірності та зв'язності мережі.

4. Метод визначення достатньої кількості мережевого ресурсу гілок електронної комунікаційної мережі із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу дозволяє, визначити необхідний мережевий ресурс в гілках ЕКМ, який забезпечить нормовану якість обслуговування трафіка реального часу в інформаційних напрямках за рахунок використання не менше двох незалежних шляхів передачі з урахуванням завантаженості гілок мережі в процесі формування плану розподілу навантаження. Виграш за показником якості обслуговування в інформаційному напрямку складає 35 %; виграш за показником коефіцієнта використання мережевого ресурсу в гілках мережі збільшується в 1,15 рази; виграш за показником пропускної спроможності 19 – 20 %, в залежності від розмірності та зв'язності мережі.

5. Метод проектування системи сигналізації гетерогенної електронної комунікаційної мережі, дозволяє сформулювати вимоги до необхідної кількості мережевого ресурсу мережі сигналізації із врахуванням траскодування різних типів протоколів сигналізації, а також визначити необхідну кількість та продуктивність програмно-функціональних блоків ядра IMS в системі сигналізації. Виграш, при впровадженні рівня IMS, за показником середнього часу відклику системи (RTT) складає 15 % в порівнянні із класичною IP мережею, а використання доменної структури IMS дозволяє отримати виграш в середньому на 19 %.

6. Застосування моделі визначення інтервалів опитування в системі моніторингу в залежності від завантаження гетерогенної електронної комунікаційної мережі, дозволяє визначити допустимі значення інтервалу опитування SMNP-агентів при налаштуванні NMS-менеджерів в залежності: від структури та конфігурації системи моніторингу, а також заданих вимог щодо оперативності збору даних про стан елементів мережі.

7. Представлені моделі, методи, а також імітаційні моделі процесу обслуговування трафіка реального часу дозволяють сформулювати вимоги щодо інтеграційної архітектури ЕКМ та забезпечити нормовані показники QoS трафіка реального часу при використанні технологій Traffic Engineering в умовах перевантажень.

Наукові результати отримані в дисертаційному дослідженні практично впроваджені та успішно застосовані в діяльність наступних організацій.

1. Науково-дослідна робота Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, шифр „КОНУС” (ДР № 0118U000034т).

2. Науково-дослідна робота Національного авіаційного університету „Інформаційна та авіаційна безпека об’єктів критичної інфраструктури”, (ДР № 0119U102297).

3. В освітньому процесі Навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету „Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” та в освітньому процесі Національного авіаційного університету.

До дисертаційної роботи додаються відповідні документи (в додатках), які свідчать про практичне застосування та перевірку науково-практичних результатів отриманих у дослідженні. Всі інтеграції результатів дослідження підтверджуються акти про впровадження.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності і відповідності встановленим вимогам. Дисертаційне дослідження автора є індивідуальним, оригінальним та вичерпним науковим дослідженням в межах якого успішно розв’язана актуальна наукова проблема.

Дисертаційна робота складається з анотації, змісту, переліку умовних скорочень, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків і має 253 сторінки основного тексту, 113 рисунків та 20 таблиць, 17 сторінок додатків. Список використаних джерел налічує 209 найменувань. Загальний обсяг дисертаційної роботи – 322 сторінки.

У вступі чітко обґрунтовано актуальність і своєчасність проведеного дослідження, сформульовано мету, об’єкт, предмет та наукову проблему дослідження, освітлено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів. Важливість і практична цінність дослідження підкреслена зв’язком роботи з існуючими науковими планами та програмами, підтверджено достовірність отриманих результатів та особистий авторський внесок. Також подана інформація про публікації автора по темі дослідження, показана загальна структура роботи.

В першому розділі проаналізовано сучасний стан розвитку інформаційно-комунікаційних систем, а також перспективи розвитку гетерогенних електронних комунікаційних мереж з урахуванням сучасних архітектурних рішень побудови систем управління трафіком реального часу в умовах різноманітного мережевого обладнання та різнотипних систем сигналізації, колювання об’єму навантаження, обмеженого мережевого ресурсу та впливу дестабілізуючих факторів.

На основі адаптованих концепцій побудови NGN та IMS була розроблена інтеграційна архітектура електронної комунікаційної мережі, яка дозволяє здійснити поступовий перехід існуючих мереж на „all IP-сервіси” на всіх рівнях (передача мультимедійних потоків, управління та надання сервісів) та забезпечить виконання заданих показників пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу.

У другому розділі на основі аналізу наукових джерел здійснено постановку проблеми дослідження та проведено аналіз моделей, методів та технологій забезпечення гарантованого обслуговування трафіка реального часу, а також недоліків існуючого науково-методологічного апарату та напрямки його удосконалення щодо забезпечення заданих показників пропускної спроможності та якості обслуговування. Проведено формалізацію проблеми дослідження та запропоновано схему системного аналізу і синтезу методів управління розподілу повідомлень трафіка реального часу, трафіка сигналізації та моніторингу на різних рівнях розробленої інтеграційної архітектури ЕКМ при використанні обхідних шляхів передачі.

У третьому розділі здійснено удосконалення методу оцінки відповідності заданих показників пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу функціонуючої ЕКМ, на основі розробленої аналітичної моделі оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі. А також, при застосуванні квазістатичного методу формування плану розподілу навантаження із урахуванням одночасного обслуговування потоків трафіка реального часу в гілках мережі від різних інформаційних напрямків.

Прикладне використання розробленого методу полягає в тому, що він дозволяє проводити оцінку пропускної спроможності мереж із технологією віртуальних каналів або тунелів при дотриманні заданих показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу.

Четвертий розділ присвячено удосконаленню методу визначення достатньої кількості мережевого ресурсу гілок електронної комунікаційної мережі із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу при використанні обхідних шляхів передачі, з метою ефективного використання наявного мережевого ресурсу.

Даний метод відноситься до задач синтезу, а саме дозволяє обґрунтувати та визначити кількість мережевого ресурсу, якого буде достатньо для обслуговування навантаження трафіка реального із заданими показниками якості в інформаційних напрямках мережі із технологією віртуальних каналів або тунелів. Наступним доопрацюванням в методі є застосування розробленої аналітичної моделі коефіцієнта використання мережевого ресурсу гілок електронної комунікаційної мережі, при використанні математичного апарату регресійного аналізу, яка дозволяє визначити черговість використання шляхів передачі в процесі формування плану розподілу навантаження.

У п'ятому розділі на основі проведених досліджень був розроблений новий метод проектування системи сигналізації гетерогенної електронної

комунікаційної мережі. Даний метод дозволяє розрахувати потоки сигналізації в ядрі IMS (гібридна мережа сигналізації), а потім сформулювати вимоги до продуктивності та кількості необхідних програмних функціональних блоків. Для вирішення проблеми оперативності збору даних про стан елементів мережі та показники якості обслуговування трафіка реального часу було здійснено удосконалення моделі визначення інтервалів опитування в системі моніторингу в залежності від завантаження гетерогенної мережі. Суть розробленої моделі полягає у формалізації опису процесу опитування NMS-менеджерами SNMP-агентів, при використанні датаграмного режиму передачі службових повідомлень та дотриманні заданого співвідношення між обсягом трафіка реального часу та трафіка моніторингу в гілках гетерогенної електронної комунікаційної мережі.

Шостий розділ присвячено проведенню оцінки ефективності запропонованих моделей, методів та обґрунтуванню використання обраних технологій з урахуванням забезпечення нормованих показників якості обслуговування трафіка реального часу, а також за мережевими показниками: пропускна спроможність, коефіцієнт використання мережевого ресурсу, кількість та зв'язність вузлів (розмірність та структурна надмірність мережі), середній час відклику системи.

В даному розділі представлені результати аналітичного моделювання обслуговування трафіка реального в порівнянні з розробленими імітаційними моделями в Network Simulator 2, при використанні однакових вхідних даних.

Для оцінки ефективності запропонованих рішень на рівні управління ЕКМ, було здійснено імітаційне моделювання при використанні програмного забезпечення MiniEdit в режимі перенавантаження. Взаємозв'язок результатів аналітичних розрахунків та проведених експериментів, при різних умовах функціонування, говорить адекватність розробленого науково-методологічного апарату.

Висновки повно відображають стан і рівень виконання поставлених завдань, об'єктивно відображають новизну і практичну цінність отриманих результатів, а також є логічно зв'язаними та обґрунтованими.

Результати моделювання та симуляції супроводжуються якісно оформленим графічним та ілюстративним матеріалом. До розроблених аналітичних методів представлені блок схеми алгоритмів для полегшення сприйняття та можливості програмної реалізації. Подача матеріалу, наукових концепцій та висновків відрізняється доступним та зрозумілим стилем.

Зміст автореферату є ідентичним до змісту дисертації та достатньою мірою висвітлює основні наукові та практичні положення дисертаційної роботи.

Дисертація є завершеною науковою працею.

Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації.

1. У ході теоретичних досліджень увага приділена (пункт 1.2, 1.3.) сучасним концепціям побудови електронних комунікаційних мереж та систем управління трафіком реального часу. Було б доцільно провести

порівняльну оцінку систем управління, які аналізуються та розглянути сценарії їх застосування при централізованому та комбінованому типі управління.

2. В роботі проаналізовані нормовані показники якості надання послуг (QoS) трафіка реального часу та трафіка сигналізації (пункт 2.2., таблиця 2.1.) які виражені ймовірністю відмови для встановлення з'єднань, варто було б розкрити вплив на якість обслуговування ще таких показників як затримка, джитер та втрати пакетів.

3. В дисертаційній роботі розроблена аналітична модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках ЕКМ. Дана модель для математичного опису навантаження від абонентів використовує ймовірнісні потоки Ерланга та Енгсета (пункт 3.1., сторінки 103 – 105). Не в повній мірі розкрито вибір даних потоків в порівнянні з тензорними або фрактальними моделями.

4. В роботі представлено (підрозділ 4.2.) удосконалений метод визначення достатньої кількості мережевого ресурсу гілок ЕКМ із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу при чому, для формування плану розподілу навантаження, використовуються як мінімум два незалежних шляхи передачі в кожному інформаційному напрямку. В зв'язку з цим було б доречно проаналізувати величину впливу на якість обслуговування та пропускну спроможність трафіка реального часу основного шляху передачі та обхідних шляхів.

5. В підрозділі 5.3. запропоновано удосконалення моделі визначення інтервалів опитування в системі моніторингу в залежності від завантаження гетерогенної ЕКМ. Відповідно до обмежень та допущень, що використовуються до даної моделі, потрібно було б конкретизувати дії системи моніторингу у випадку перевищення допустимого ліміту службового трафіка за рахунок повторних перезапитувань до SNMP-агентів, а також на яких принципах розгортається мережа моніторингу (спільне використання ліній зв'язку для передачі трафіка реального часу і трафіка моніторингу або використання виділених ліній).

6. В дисертаційній роботі проведено моделювання ефективності функціонування системи управління та представлені результати (підрозділ 6.2., рис. 6.30) у вигляді показника середнього часу відклику системи (RTT), а в самій роботі основним показником якості обслуговування являється ймовірність відмови надання необхідного ресурсу для обслуговування вхідних заявок. Було б доцільно показати взаємозв'язок між параметром RTT та ймовірністю відмови надання необхідного сервісу.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Нестеренка Миколи Миколайовича на тему „Методологія управління пропускнуою спроможністю та якістю обслуговування трафіка реального часу в гетерогенних електронних комунікаційних мережах із обхідними шляхами” включає самостійні,

авторські висновки і результати, які мають наукове підґрунтя і були успішно інтегровані для практичного використання в галузі телекомунікацій.

Отримані результати дослідження, які представив автор вирішують актуальну науково-практичну проблему розвитку науково-методологічного апарату розподілу потоків повідомлень при використанні обхідних шляхів передачі в складних гетерогенних електронних комунікаційних мережах за показниками пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу з урахуванням коливання об'єму вхідного навантаження та впливу дестабілізуючих факторів.

Дисертаційне дослідження є закінченою науковою роботою на актуальну тему, що містить нові, науково підтвержені теоретичні та практичні висновки і рекомендації, що відзначаються особистим внеском автора в галузь науки.

Дисертаційна робота Нестеренка М.М. на тему „Методологія управління пропускною спроможністю та якістю обслуговування трафіка реального часу в гетерогенних електронних комунікаційних мережах із обхідними шляхами” відповідає паспорту спеціальності 05.12.02 □ Телекомунікаційні системи та мережі, вимогам пункту 9, 10, 12 „Порядку присудження наукових ступенів” затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, зі змінами, внесеними згідно Постанови Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015р. № 656, а також на підставі Постанови Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197 „Деякі питання присудження (позбавлення) наукових ступенів”, які висувуються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук, а її автор, Нестеренко Микола Миколайович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за науковою спеціальністю 05.12.02 □ Телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент

Професор кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем
Національного авіаційного університету

доктор технічних наук, професор,
Заслужений працівник транспорту України
„_____” _____ 2024 р.

Георгій КОНАХОВИЧ

Підпис Конаховича Г.Ф. засвідчую:

Володимир
секретар ЖАУ

Микола Лешко

