

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 інженерії програмного забезпечення в енергетиці
Навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики
Національного технічного університету України „Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”,
Гаврилка Євгена Володимировича, 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. Стрімкий розвиток електронних комунікацій та широкий спектр існуючих технологій та мережевих протоколів, вимагає знаходження компромісних рішень щодо взаємодії різнорідних електронних комунікаційних мереж (ЕКМ), різнотипних систем управління та сигналізації для забезпечення заданих показників якості обслуговування (QoS) різних типів трафіка. Особливо гостро питання забезпечення якості виникає при передачі трафіка реального часу так, як він найбільш складний в обслуговуванні та вимагає складних механізмів управління мережевими ресурсами для дотримання нормованих значень показників QoS.

На теперішній час розроблені моделі, методи для визначення та керування пропускнуою спроможністю і якістю обслуговування мають обмежені можливості щодо врахування порядку обслуговування трафіка реального часу на всьому шляху передачі та втрат, які виникають із недостатнього наявного ресурсу гілок мережі.

Виходячи з актуальності, вище приведеної проблеми, дисертаційна робота Нестеренка М.М., яка подана до розгляду, полягає в 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.

Для вирішення питання сумісності існуючих гетерогенних мереж та їх взаємодії на рівні управління в роботі розроблена багаторівнева інтеграційна архітектура ЕКМ на основі переваг сучасних концепцій побудови. В свою чергу був розроблений науково-методологічний апарат, який враховує забезпечення показників пропускної спроможності та QoS трафіка реального часу і дозволяє сформулювати вимоги до обслуговування трафіка сигналізації та моніторингу на відповідних рівнях інтеграційної архітектури ЕКМ.

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

Дисертаційна робота подана до розгляду відзначається достатнім науковим обґрунтуванням та має чітку логічну структуру. Всі науково-практичні результати отримані автором, Нестеренком М.М., спираються на наукові праці закордонних та вітчизняних дослідників у галузі підвищення ефективності роботи складних гетерогенних електронних комунікаційних мереж за показниками пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу.

Для досягнення мети в дисертаційній роботі вирішувалися наступні задачі: здійснено аналіз проблем управління якістю обслуговування (QoS) трафіка реального часу в складних гетерогенних ЕКМ та аналіз архітектурних рішень сучасних концепцій з урахуванням міжнародних стандартів; визначено основні вимоги до моделей, технологій, систем управління та проаналізовано недоліки існуючого науково-методологічного апарату управління розподілом потоків повідомлень в гетерогенних ЕКМ для забезпечення нормованих показників якості обслуговування трафіка реального часу (QoS); розроблено модель 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 IMS гетерогенної ЕКМ; а також розроблено модель визначення інтервалів опитування системою моніторингу в залежності від її структури та завантаженості гетерогенної ЕКМ; розроблені рекомендації щодо побудови інтеграційної архітектури ЕКМ шляхом використання переваг сучасних концепцій в умовах: різноманітного електронного комунікаційного середовища існуючих мереж, різноманітних систем сигналізації, коливання об'єму вхідного навантаження, обмеженого мережевого ресурсу та впливу дестабілізуючих факторів; сформовано методологію управління пропускнуною спроможністю та якістю обслуговування трафіка реального часу в гетерогенних електронних комунікаційних мережах із обхідними шляхами на базі розроблених моделей та методів; 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 адекватним використанням методів системного аналізу та синтезу, ймовірнісних поточкових моделей, методів комбінаторики, теорії графів та матриць, методів декомпозиції, а також застосуванням положень теорії телетрафіка, теорії електронних комунікацій та Traffic Engineering (TE).

Достовірність отриманих в дисертації наукових результатів підтверджується: коректною постановкою та формалізацією завдання і відповідністю вхідних даних реальним умовам, достатньою кількістю експериментальних даних, які отримані шляхом імітаційного моделювання та порівняльного аналізу з реальними дослідженнями.

Науково-практичне застосування отриманих результатів досліджень підкріплене актами про впровадження, що представлені у додатках дисертаційної роботи.

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 пропускнуєї 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 різномірних 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 наукові положення та здобутки дисертаційного дослідження викладено в 55 наукових працях. У тому числі: в 1 науковій статті в періодичному науковому виданні яке індексується науково-метричною базою Web of Science, у 4 виданнях які індексуються науково-метричною базою Scopus, в 19 наукових статтях у періодичних виданнях включених до „Переліку наукових фахових видань України”. Також опубліковано: 28 тез доповідей на науково-практичних конференціях та семінарах державного та міжнародного рівнів, з них 5 видань які індексуються науково-метричною базою Scopus; 1 колективна 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 електронної комунікаційної мережі, в основу якої покладені переваги сучасних концепцій Next Generation Network (NGN) та IP Multimedia Subsystem (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.

Отримані наукові результати з дисертаційної роботи практично впроваджені та використані у діяльності наступних структур:

науково-дослідна робота Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, шифр „КОНУС”, номер державної реєстрації 0118U000034т;

науково-дослідна робота Національного авіаційного університету „Інформаційна та авіаційна безпека об'єктів критичної інфраструктури”, номер державної реєстрації 0119U102297;

в освітньому процесі Навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету „Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, а також в освітньому процесі Національного авіаційного університету.

В додатках дисертаційної роботи представлені документи, що підтверджують реальне практичне використання та апробацію науково-практичних результатів дисертаційного дослідження. Всі впровадження, отриманих результатів в дисертації, представлені у відповідних актах.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності і відповідності встановленим вимогам. Дисертаційне дослідження автора представляє собою самостійну, унікальну, завершену наукову роботу, в якій 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 містить 209 найменувань і займає 23 сторінки. Загальний обсяг дисертаційної роботи – 322 сторінки.

У вступі подано загальний огляд роботи і її характеристики, визначено наукову проблему, обґрунтовано актуальність обраної теми дисертації, визначено наукові і практичні завдання для досягнення мети дослідження, вказано зв'язок між представленою роботою та існуючими планами програмами, обґрунтовано наукову оригінальність та практичну важливість отриманих результатів, відзначено особистий внесок автора, описано процес практичної апробації та можливості впровадження отриманих результатів, наведено інформацію про публікації та структуру роботи.

В першому розділі на основі опрацювання наукових праць та існуючих рекомендацій ІТУ-Т в даній предметній області проаналізовано поточний стан існуючих електронних комунікаційних мережах та можливі шляхи їх модернізації для забезпечення заданих показників якості обслуговування та пропускнуєї спроможності з урахуванням вимог європейських та міжнародних стандартів.

Як результат, в даному розділі запропонована інтеграційна архітектура електронної комунікаційної мережі, яка дозволяє об'єднати мережі побудовані на різноманітному обладнанні та узгодити рівень управління шляхом переводу різнотипних систем сигналізації на протокол SIP і використання вимог концепції IMS. Розроблена інтеграційна платформа

дозволяє використовувати обхідні шляхи передачі за рахунок централізованого підходу розподілу мережевого ресурсу, а також дозволяє зробити поетапний перехід гетерогенної інформаційно-комунікаційної системи на сучасні ІР технології на всіх її рівнях.

Другий розділ присвячено формалізації проблеми дослідження, визначено недоліки існуючих моделей та методів забезпечення необхідних показників якості та пропускної спроможності при обслуговуванні трафіка реального часу, представлена узагальнена модель системи управління трафіком реального часу, а також запропоновано схему системного аналізу і синтезу науково-методологічного апарату управління розподілом потоку повідомлень при використанні обхідних шляхів передачі в гетерогенних ЕКМ з урахуванням коливання вхідного навантаження та впливу дестабілізуючих факторів. Також в даному розділі проведена класифікація моделей QoS, методів TE та визначено їх роль і місце в дисертаційному дослідженні.

У третьому розділі отримано нову модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу. Суть розробленої моделі полягає у формалізованому описі процесу встановлення наскрізного з'єднання між абонентами при використанні обхідних шляхів передачі в інформаційних напрямках гетерогенної мережі із технологією віртуальних каналів або тунелів. Дана модель була використана для удосконалення методу оцінки відповідності заданих показників пропускної спроможності та якості обслуговування трафіка реального часу функціонуючої ЕКМ. Особливість даного методу полягає в тому, він дозволяє визначити відповідність показників пропускної спроможності (або доступні резерви пропускної спроможності) кожного інформаційного напрямку при забезпеченні нормованих показників якості обслуговування (QoS) трафіка реального часу ЕКМ із технологією віртуальних каналів або тунелів.

У четвертому розділі проведено удосконалення методу визначення достатньої кількості мережевого ресурсу гілок електронної комунікаційної мережі із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу, шляхом застосування квазістатичного методу формування плану розподілу навантаження при використанні найкоротших, незалежних шляхів передачі з врахуванням черговості їх застосування в залежності від величини навантаження на гілках мережі.

Наступним доопрацюванням запропонованого методу, для визначення порядку вибору між рівнозначними за кількістю транзитів обхідних шляхів, є застосування отриманих евристичних правил на основі розробленої

аналітичної моделі коефіцієнта використання мережевого ресурсу гілок мережі.

П'ятий розділ проаналізовано роботу сучасних протоколів сигналізації та їх взаємодію з доменом IMS для різних сценаріїв встановлення з'єднання між абонентами гетерогенної мережі, а також стандартні інтерфейси ядра IMS. При чому, специфіка роботи різнотипних систем управління трафіком реального часу при їх інтеграції, була врахована в процесі розробки нового методу проектування системи сигналізації гетерогенної електронної комунікаційної мережі.

Для вирішення проблеми оперативності збору значень показників якості обслуговування трафіка реального часу для забезпечення ефективної роботи системи управління, на базі протоколу SNMP, була розроблена модель визначення інтервалів опитування в системі моніторингу в залежності від завантаження гетерогенної ЕКМ. Використання даної моделі дозволяє провести визначення максимально допустимого обсягу трафіку моніторингу із врахуванням резервів пропускної спроможності в гілках гетерогенної ЕКМ.

У шостому розділі проведено аналітичне та імітаційне моделювання для підтвердження адекватності та ефективності розробленого науково-методологічного апарату.

Для дослідження процесу обслуговування трафіка реального часу були розроблені імітаційні моделі в програмному середовищі NS 2, а для обробки статистичних даних мережевих показників використано скрипт на мові Python. Отримані результати проведених експериментів підтверджують розроблені теоретичні положення щодо підвищення ефективності використання мережевого ресурсу за рахунок перерозподілу навантаження в гілках мережі шляхом застосування обхідних шляхів передачі.

В свою чергу, для симуляції обробки трафіка сигналізації на рівні управління, була проведена серія експериментів в емуляторі Mininet для різних мережевих технологій. Найбільша ефективність роботи була досягнута при впровадженні рівня IMS та для мережі IMS з доменною структурою.

Висновки до розділів і загальні висновки дисертації є обґрунтованими, логічно зв'язними із процесом поетапного виконання завдань і реалізації мети дослідження. В дисертації широко використовується графічний та ілюстративний матеріал, який допомагає розкрити основні теоретичні положення та наочно демонструє отримані результати дослідження. Викладення матеріалів, наукових положень і висновків подано доступним і зрозумілим стилем.

Автореферат та основні положення дисертації за змістом є ідентичними.

Дисертація є завершеною науковою працею.

Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації.

1. В пункті 1.2 та 1.3 здійснено адаптацію концепцій побудови NGN та IMS для вирішення актуальної проблеми об'єднання різнорідних мереж та вирішення питання сумісності різнотипних систем сигналізації. Однак, при описі представленої інтеграційної архітектури електронної комунікаційної мережі на основі переваг сучасних концепцій (рис. 1.9.) доречно було б розкрити питання як здійснюється розподіл трафіка реального часу, трафіка моніторингу та трафіка сигналізації між її рівнями, а також потрібно було б конкретизувати які елементи мережі задіяні в обслуговуванні в залежності від типу трафіка.

2. В роботі приведена структурно-логічна схема дисертаційного дослідження (пункт 2.3., рис. 2.12), де показано: основні етапи, взаємозв'язок між вхідними даними, отриманими науковими результатами та вимогами до системи управління трафіком реального часу. Доречно б було деталізувати взаємозв'язок отриманих наукових результатів на рівні вхідних та вихідних даних запропонованих моделей та методів.

3. В дисертаційній роботі представлена нова аналітична модель оцінки якості обслуговування трафіка реального часу із обхідними шляхами передачі в інформаційних напрямках ЕКМ (пункт 3.1.). Використання даної моделі передбачає застосування незалежних шляхів передачі. Варто було б дослідити який ступінь впливу на якість обслуговування трафіка реального часу при використанні як незалежних так і залежних шляхів передачі.

4. При розгляді удосконаленого методу визначення достатньої кількості мережевого ресурсу гілок електронної комунікаційної мережі із гарантованою якістю обслуговування трафіка реального часу (пункт 4.2.), на відповідному етапі, для формування матриці найкоротших незалежних шляхів передачі використовується метод Шимбела або послідовного зведення в ступінь модифікованої матриці суміжності. Було б доречно привести порівняльний аналіз за розрахунковою складністю алгоритмів вище приведених методів в залежності від розмірності мережі.

5. В роботі представлено новий метод проектування системи сигналізації гетерогенної електронної комунікаційної мережі (пункт 5.2.). В даному методі, не повністю розкриті питання визначення додаткового об'єму

трафіка сигналізації при його транскодуванні до стандартизованого вигляду при обміні службовими повідомленнями між доменами IMS.

6. В пункті 6.2. представлені результати моделювання обслуговування трафіка сигналізації, на основі розроблених імітаційних моделей із різними мережевими технологіями (середовище для симуляції роботи мережі – Mininet) в режимі перенавантаження (рис. 6.32 – 6.34) для найбільш віддалених інформаційних напрямків. Варто б було провести порівняльну оцінку обслуговування трафіка сигналізації при використанні як UDP так і TCP транспортних протоколів для різних рівнів навантаження в мережі.

Необхідно відмітити, що наявність зазначених зауважень не може негативно вплинути на загальну позитивну оцінку теоретичного рівня та науково-практичного значення результатів дисертаційної роботи Нестеренка М.М.

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” містить інноваційні, отримані самостійно, науково обґрунтовані і практично адаптовані результати в галузі телекомунікацій. Отримані здобувачем результати вирішують актуальну науково-практичну проблему збільшення пропускнуої спроможності при дотриманні заданих показників якості обслуговування трафіка реального часу в складних гетерогенних електронних комунікаційних мережах за рахунок впровадження нового науково-методологічного апарату розподілу потоків повідомлень при управлінні порядком використання обхідних шляхів передачі в залежності від структурної надмірності.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею на актуальну тему, включає нові, науково обґрунтовані теоретичні результати і положення, що демонструє особистий авторський внесок в сфері науки.

Дисертаційна робота Нестеренка М.М. на тему „Методологія управління пропускнуою 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 висуваються 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 інженерії програмного забезпечення в енергетиці
Навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики
Національного технічного університету України „Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського”

доктор технічних наук, професор
„5” черезна 2024 р.

Євген ГАВРИЛКО

Підпис Гаврилка Є.В. засвідчую:

Вчений секретар Національного технічного університету України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”
кандидат технічних наук, доцент

B. Хо



Валерія ХОЛЯВКО