

Голові спеціалізованої вченої ради  
Д 26.062.19  
Національного авіаційного університету  
доктору технічних наук, професору  
Козловському В.В.

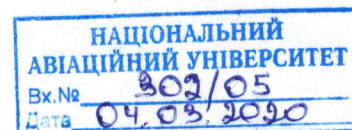
-----  
03680, м. Київ, пр-т. Любомира Гузара, 1.

## ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора,  
Гаврилка Євгена Володимировича,  
професора кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем  
Національного технічного університету України "Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського"

на дисертацію Мухі-Алдіна Хассана Мохамеда  
на тему «Моделі та методи забезпечення якості обслуговування у мережах з  
підтримкою функцій віртуалізації»,  
яка представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за  
спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

**Актуальність теми.** Значну роль в формуванні структури світового співтовариства відіграє інформація. Визначається прагнення людства до побудови глобальної інформаційної інфраструктури. Одним із ключових проєктів загальнонаціонального значення, у зв'язку з розвитком інформаційного суспільства України, є створення мультисервісної телекомунікаційної інфраструктури, що ґрунтується на застосуванні ефективних засобів забезпечення якості обслуговування (Quality of Service, QoS) одночасно за множиною різномірних показників (продуктивність, середня затримка, джиттер, імовірність втрат пакетів та ін.). Як показує практика в архітектурі сучасних телекомунікаційних мереж (ТКМ) постійно підвищується роль бездротових технологій, а одним з ефективних шляхів підвищення основних показників якості обслуговування в бездротових ТКМ є не лише збільшення обсягу доступного мережного ресурсу, але й забезпечення його ефективного розподілу (управління) шляхом удосконалення відповідних мережних протоколів і механізмів, а також покладених в їх основу математичних моделей і методів. У цьому процесі велике значення приділяється дослідженню та побудові телекомунікаційних мереж (ТКМ) нового покоління та інформаційних інфраструктур різного рівня. Розвиток інформаційних технологій призвів до можливості збору і зберігання значних обсягів даних, тому актуальною є задача глибокого аналізу всієї наявної інформації для прийняття оптимальних управлінських рішень.



Для підвищення ефективності процесів надання послуг необхідно будувати та впроваджувати мережі з підтримкою технології віртуалізації мережевих функцій (Network Function Virtualization, NFV). Завдяки тому, що технологія NFV дозволяє програмно реалізувати широкий набір функцій і послуг, які на сьогоднішній день надаються лише мережевим обладнанням реалізованим апаратно (мережеві екрани, прикордонні маршрутизатори, комутатори, сервери доступу та інші) у вигляді відкритого програмного забезпечення. Таким чином, з використанням технології NFV будь-який вид послуги може бути оперативним впроваджений і наданий кінцевому користувачеві в потрібний час з заданим рівнем якості.

Тому дисертаційна робота, яка присвячена вдосконаленню існуючих та розробці нових моделей і методів формування та надання комплексних послуг в мережах з підтримкою функцій віртуалізації, підвищенню якості функціонування телекомунікаційних систем і мереж зв'язку є актуальною, доцільною, наукові розробки якої сприяють реалізації концепції розвитку телекомунікаційної галузі України, прискоренню рішень важливої задачі – інформатизації держави.

**Відповідність теми і змісту дисертації паспорту спеціальності, за якою вона подана на захист.** Тема дисертації та її зміст відповідають напрямку досліджень п.5 паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

**Зв'язок дисертаційної роботи з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки, державними чи галузевими науковими програмами.**

Теоретичні і практичні положення дисертаційної роботи були виконані у відповідності до положень «Концепції Національної програми інформатизації», «Концепції національної інформаційної політики», «Концепції конвергенції телефонних мереж і мереж з пакетною комутацією в Україні», «Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні».

Результати досліджень було впроваджено у Державному підприємстві «Науковий центр точного машинобудування» Державного космічного агентства України (акт впровадження № 1 від 4.04.2018 р.), ТОВ "Світ-ІТ", (акт впровадження № 1203-1 від 12.03.2019 р.), у навчальному процесі в Київському національному університеті будівництва і архітектури (Довідка про впровадження від 08.11.2019 р.).

**Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому.** Дисертація складається зі вступу та чотирьох розділів. Загальний обсяг роботи становить 147 сторінок, в тому числі 126 сторінок основного тексту, 28 рисунків та 16 таблиць на 35 сторінках. Список використаних джерел містить 147 найменувань, викладених на 14 сторінках.

У вступі здобувачем розкрито зміст і поточний стан обраної науково-прикладної задачі, показано її науково-практичне значення та обґрунтовано

необхідність проведення дисертаційних досліджень. Також у вступі наведена загальна характеристика роботи.

*В першому розділі* дисертаційної роботи проаналізовано наукові публікації за темою дисертації з метою вибору напрямів дослідження. На основі аналізу літературних джерел здобувачем визначені невирішені питання, які стосуються розв'язку актуальних задач підвищення якості функціонування телекомунікаційних систем. У результаті аналізу виявлено, що найбільшу ефективність у підвищенні якості функціонування телекомунікаційних систем забезпечує оптимальне управління мережними ресурсами, до яких слід віднести: частотні, часові, інформаційні, буферні, обчислювальні ресурси, а також трафік. Ураховуючи значні відмінності між зазначеними видами мережних ресурсів, принципи управління ними можуть істотно відрізнятись. Оцінка якості функціонування телекомунікаційної мережі визначається зазвичай порівнянням значень показників з деякими допустимими межами. Якщо значення показника знаходиться в межах заданих проміжків, то якість телекомунікації вважається задовільним за даним показником.

Аналіз процесу формування графа перенаправлення послуг показав, що надання послуг з заданим рівнем якості можливе лише в разі узгодженої взаємодії компонентів мережевої інфраструктури і коректності рішень системи управління, а вимоги до даних процесів закладені на етапі формування SLA. Розробка методів перевірки відповідності всім вимогам специфікації і SLA дозволить підвищити ефективність процесу надання послуг за рахунок підвищення якості формування графа перенаправлення послуги.

Розширення спектру, обсягів і методів надання послуг кінцевим користувачам призводить до значної зміни парадигми побудови мультисервісних мереж. Однією з найбільш перспективних технологій в цій галузі є технологія NFV. Маркетингові дослідження, проведені компанією HP і Infonetics показали, що при її впровадженні рентабельність надання послуг підвищиться в середньому на 35-40%. Однак впровадження даної технології супроводжується істотною зміною концепції управління мережею і принципів надання послуг кінцевим користувачам. Архітектура мережі в даному випадку поділяється на три компоненти: фізичне середовище передачі, віртуальне середовище формування послуг та середовище управління і оркестровки. Дані компоненти є пов'язаними і зміни однієї з них ведуть до значної модифікації процесу надання послуг і, як правило, до деградації послуги.

*В другому розділі* досліджено, що проблема оцінювання параметрів якості функціонування телекомунікаційних систем носить чітко виражений *статистичний характер* і розв'язується методами теорії ймовірності і теорії статистичних рішень.

Процеси проектування, випробування та експлуатації складних телекомунікаційних систем пов'язані з обробкою великих масивів інформації про параметри як системи в цілому, так і її вузлів та компонентів. Протягом всього життєвого циклу таких систем необхідно вирішувати велику кількість оптимізаційних задач. Методологія оцінювання параметрів якості

Для підвищення ефективності процесів надання послуг необхідно будувати та впроваджувати мережі з підтримкою технології віртуалізації мережевих функцій (Network Function Virtualization, NFV). Завдяки тому, що технологія NFV дозволяє програмно реалізувати широкий набір функцій і послуг, які на сьогоднішній день надаються лише мережевим обладнанням реалізованим апаратно (мережеві екрани, прикордонні маршрутизатори, комутатори, сервери доступу та інші) у вигляді відкритого програмного забезпечення. Таким чином, з використанням технології NFV будь-який вид послуги може бути оперативно впроваджений і наданий кінцевому користувачеві в потрібний час з заданим рівнем якості.

Тому дисертаційна робота, яка присвячена вдосконаленню існуючих та розробці нових моделей і методів формування та надання комплексних послуг в мережах з підтримкою функцій віртуалізації, підвищенню якості функціонування телекомунікаційних систем і мереж зв'язку є актуальною, доцільною, наукові розробки якої сприяють реалізації концепції розвитку телекомунікаційної галузі України, прискоренню рішень важливої задачі – інформатизації держави.

**Відповідність теми і змісту дисертації паспорту спеціальності, за якою вона подана на захист.** Тема дисертації та її зміст відповідають напрямку досліджень п.5 паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

**Зв'язок дисертаційної роботи з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки, державними чи галузевими науковими програмами.**

Теоретичні і практичні положення дисертаційної роботи були виконані у відповідності до положень «Концепції Національної програми інформатизації», «Концепції національної інформаційної політики», «Концепції конвергенції телефонних мереж і мереж з пакетною комутацією в Україні», «Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні».

Результати досліджень було впроваджено у Державному підприємстві «Науковий центр точного машинобудування» Державного космічного агентства України (акт впровадження № 1 від 4.04.2018 р.), ТОВ "Світ-ІТ", (акт впровадження № 1203-1 від 12.03.2019 р.), у навчальному процесі в Київському національному університеті будівництва і архітектури (Довідка про впровадження від 08.11.2019 р.).

**Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому.** Дисертація складається зі вступу та чотирьох розділів. Загальний обсяг роботи становить 147 сторінок, в тому числі 126 сторінок основного тексту, 28 рисунків та 16 таблиць на 35 сторінках. Список використаних джерел містить 147 найменувань, викладених на 14 сторінках.

У вступі здобувачем розкрито зміст і поточний стан обраної науково-прикладної задачі, показано її науково-практичне значення та обґрунтовано

необхідність проведення дисертаційних досліджень. Також у вступі наведена загальна характеристика роботи.

*В першому розділі* дисертаційної роботи проаналізовано наукові публікації за темою дисертації з метою вибору напрямів дослідження. На основі аналізу літературних джерел здобувачем визначені невирішені питання, які стосуються розв'язку актуальних задач підвищення якості функціонування телекомунікаційних систем. У результаті аналізу виявлено, що найбільшу ефективність у підвищенні якості функціонування телекомунікаційних систем забезпечує оптимальне управління мережними ресурсами, до яких слід віднести: частотні, часові, інформаційні, буферні, обчислювальні ресурси, а також трафік. Ураховуючи значні відмінності між зазначеними видами мережних ресурсів, принципи управління ними можуть істотно відрізнятись. Оцінка якості функціонування телекомунікаційної мережі визначається зазвичай порівнянням значень показників з деякими допустимими межами. Якщо значення показника знаходиться в межах заданих проміжків, то якість телекомунікації вважається задовільним за даним показником.

Аналіз процесу формування графа перенаправлення послуг показав, що надання послуг з заданим рівнем якості можливе лише в разі узгодженої взаємодії компонентів мережевої інфраструктури і коректності рішень системи управління, а вимоги до даних процесів закладені на етапі формування SLA. Розробка методів перевірки відповідності всім вимогам специфікації і SLA дозволить підвищити ефективність процесу надання послуг за рахунок підвищення якості формування графа перенаправлення послуги.

Розширення спектру, обсягів і методів надання послуг кінцевим користувачам призводить до значної зміни парадигми побудови мультисервісних мереж. Однією з найбільш перспективних технологій в цій галузі є технологія NFV. Маркетингові дослідження, проведені компанією HP і Infonetics показали, що при її впровадженні рентабельність надання послуг підвищиться в середньому на 35-40%. Однак впровадження даної технології супроводжується істотною зміною концепції управління мережею і принципів надання послуг кінцевим користувачам. Архітектура мережі в даному випадку поділяється на три компоненти: фізичне середовище передачі, віртуальне середовище формування послуг та середовище управління і оркестровки. Дані компоненти є пов'язаними і зміни однієї з них ведуть до значної модифікації процесу надання послуг і, як правило, до деградації послуги.

*В другому розділі* досліджено, що проблема оцінювання параметрів якості функціонування телекомунікаційних систем носить чітко виражений *статистичний характер* і розв'язується методами теорії ймовірності і теорії статистичних рішень.

Процеси проектування, випробування та експлуатації складних телекомунікаційних систем пов'язані з обробкою великих масивів інформації про параметри як системи в цілому, так і її вузлів та компонентів. Протягом всього життєвого циклу таких систем необхідно вирішувати велику кількість оптимізаційних задач. Методологія оцінювання параметрів якості

функціонування телекомунікаційних систем ґрунтується на результатах вимірювань та експертних оцінках, яким притаманні принципові недоліки, що призводять до зниження рівня якості надання телекомунікаційних послуг.

Однією з вимог до архітектури NFV є успадкування всіх функціональних можливостей мультисервісних мереж. Таким чином, при застосуванні NFV технологій сервіси кінцевого користувача повинні передаватися з гарантованим рівнем якості, не нижче, ніж у традиційних мультисервісних мережах. Для організації та надання якісних сервісів використовуються такі мережеві політики, як DiffServ, IntServ, Traffic Shaping & Policing, механізми планування та балансування. В цьому випадку, для оптимального розподілу навантаження компонентів системи MANO необхідна інформація про кожного обчислювального вузла, динаміка зміни його параметрів в залежності від навантаження, що надходить, і часу обслуговування.

Аналіз особливостей системи MANO і NFVC, NFVM на різних етапах життєвого циклу сервісу показав, що тимчасові показники якості, такі як затримка і її варіації, час відгуку мають критичний вплив на рівень наданої якості обслуговування. Відзначено, що аналіз і моделювання показників даного типу є досить трудомістким завданням.

Для моделювання динаміки мережевих характеристик в процесі надання сервісів кінцевим споживачам запропоновано застосовувати теорію мережевого обчислення. Теорія мережевого обчислення дозволяє оперувати як точними значеннями мережевих характеристик, так і визначати їх порогові значення. Подібний підхід дозволяє розраховувати порогові показники якості надання сервісів і відстежувати динаміку деградації якості.

*Третій розділ* присвячено аналізу показників якості комплексних сервісів, що надаються кінцевим користувачам та характеризуються значенням функції ефективності. З точки зору користувача дуже важливою характеристикою є доступність сервісу, що характеризує здатність мережевої інфраструктури коректно надання сервісу при всіх можливих мережевих обмеженнях. Доступність характеризується відношенням часу, коли сервіс перебуває в стані готовності до використання до загального часу, протягом якого відбуваються вимірювання.

Так як доступність і надійність є ймовірностями виникнення певної події, то методика їх обчислення аналогічна.

Таким чином, маючи інформацію про показники якості, а також сценарії включення окремих сервісів в комплексний, можна визначити інтегральний показник  $QoS_{\text{INT}}$  для будь-якого комплексного сервісу.

Проведено аналіз оцінки показників якості комплексних сервісів, заснований на інформації про показники якості атомарних сервісів. Розроблені математичні формалізми, що дозволяють оцінити вплив атомарних сервісів на сумарний показник якості результуючого комплексного сервісу в разі різних сценаріїв включення і використання атомарних.

Удосконалено метод формування комплексних сервісів, що дозволяє динамічно формувати склад комплексного сервісу шляхом своєчасної заміни

або додавання атомарних сервісів. Розроблений метод дозволяє використовувати кілька ідентичних атомарних сервісів для досягнення необхідного рівня якості обслуговування. Застосування даного методу дозволяє забезпечити необхідні показники продуктивності запитуваного сервісу.

У четвертому розділі показано, що процес надання послуги характеризується наступними взаємодіями: споживач сервісу запитує певний набір послуг, далі NFV контролер, на підставі інформації про поточну кількість послуг і їх місцезнаходження, формує відповідь, в якому вказує дані для доступу до послуги. У разі впровадження нової послуги постачальник сервісу передає інформацію про неї контролеру, який в свою чергу заносить дані про послугу до реєстру сервісів.

Зростання популярності послуги, розташованої на віддаленому сервері, часто призводить до зниження рівня її якості. Зниження рівня якості обумовлено перевантаженням каналів зв'язку, затримками в процесі обробки і надання послуги. Збільшення кількості запитів призводить до перевантаження сервера і виникнення відмов в обслуговуванні, а, отже, і зменшення рівня доступності послуги.

Тому було розроблено стратегію реплікації, яка дозволяє враховувати вимоги користувачів і забезпечувати гнучкий перерозподіл реплік відповідно до рівня їхньої популярності і поточних характеристик мережі (завантаженістю серверів і каналів передачі даних).

Формування необхідної кількості реплік в локальному фрагменті мережі призводить до скорочення службового трафіку, а також знижує навантаження на мережеві елементи. Також, створення додаткової репліки при локальній реплікації дозволяє підвищити доступність і продуктивність запитуваного сервісу, шляхом перерозподілу запитів між репліками.

Дистанційна реплікація передбачає формування копій послуги та їх перенесення в той фрагмент мережі, де її популярність висока. Необхідність у вилученій реплікації виникає в тому випадку, коли кількість запитів з однієї ділянки мережі до певного віддаленого ресурсу значно зростає. Тому, з метою зменшення трафіку переданого мережею, а також скорочення часу доступу до ресурсу, запускається процес реплікації.

В даному розділі проведений аналіз існуючих методів підвищення доступності сервісів, визначено, що реплікація є одним з найбільш ефективних методів її підвищення. Застосування даного методу дозволяє підвищити доступність і продуктивність сервісів, а також поліпшити масштабованість географічно розподіленої мультисервісної мережі.

Розроблено метод динамічної реплікації, який дозволяє підвищити доступність послуг в NFV мережах, в разі зростання їхньої популярності. Застосування методу передбачає можливість виконання двох видів реплікації: локальної і віддаленої. Основними регуляторами алгоритму динамічної реплікації виступають поріг реплікації і поріг видалення.

У висновках викладено найважливіші наукові та практичні результати дисертаційного дослідження.

Список використаних джерел складається з 140 найменувань наукової літератури по темі дисертації.

Додатки містять акти впровадження результатів дисертаційної роботи, які підтверджують практичне використання отриманих автором результатів на підприємствах, на яких впроваджувалися результати досліджень.

Стиль викладення матеріалу дисертації забезпечує доступність його сприйняття і відповідає існуючим вимогам до наукових праць.

**Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що в дисертації:**

- розроблено метод динамічної реплікації сервісів в мережах з підтримкою функцій віртуалізації мережевих ресурсів, який за рахунок використання теорії мережевого обчислення дозволяє підвищити доступність і ефективність надання сервісів за рахунок своєчасного формування, видалення копій різних типів сервісів і їх раціонального розподілу між фрагментами мережі.
- удосконалено метод формування та управління складом комплексних сервісів в мережах з підтримкою функцій віртуалізації шляхом урахування поточного стану ресурсів мережі під час формування і управління складом сервісів, що дозволяє забезпечити необхідний рівень якості обслуговування у відповідності до погодженого договору про якість обслуговування;
- удосконалено метод балансування навантаження в мережі з підтримкою віртуалізації мережевих ресурсів за рахунок ранжування сервісів по якості їх надання та необхідній пропускній здатності та послідовного перерозподілу наявних вільних мережевих ресурсів, що дозволяє на основі аналізу поточного навантаження як на віртуальну, так і на фізичну складову мультисервісної мережі забезпечити заданий рівень якості обслуговування з меншими накладними витратами.
- набув подальшого розвитку метод динамічного розподілу пропускної здатності каналів передачі даних у NFV мережах, що базується на принципах розподілення залишкової пропускної спроможності. Застосування даного методу дозволяє уникнути повного завантаження та перевантаження каналу передачі.

**Практична цінність наукових результатів дисертаційної роботи.**

Отримані у дисертаційній роботі наукові результати є методологічною базою для розробки і впровадження ефективних інструментальних засобів у вигляді програмних або програмно-апаратних модулів оцінювання параметрів якості функціонування телекомунікаційних систем і мереж зв'язку, які мають підвищену оперативність, адаптованість до умов застосування, дозволяють реалізувати їх із застосуванням технологій надвисокого ступеня інтеграції.

**Новизна наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації,** підтверджується відсутністю у відкритій пресі аналогічних підходів.



**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації.** Наукові положення, що одержані здобувачем та виносяться на захист, у достатній мірі обґрунтовані. Це підтверджується коректним використанням основних положень теорія масового обслуговування та теорія графів, методів імітаційного моделювання та математичної статистики.

**Достовірність** основних наукових результатів, висновків і рекомендацій підтверджується співпадінням теоретичних результатів, результатів чисельних експериментів з відомими експериментальними даними інших досліджень.

**Можливі шляхи використання результатів дисертаційних досліджень.** Отримані в роботі нові теоретичні положення доцільно використовувати в наукових дослідженнях, практичних розробках і навчальному процесі науково-дослідних організацій та вищих учбових закладах, пов'язаних із питаннями телекомунікацій.

**Оцінка висновків здобувача щодо значущості його праці для науки й практики.** Проведений аналіз методів формування комплексних сервісів показав широкі можливості в управлінні рівнем якості обслуговування за рахунок зміни складу комплексних сервісів. Тому було удосконалено метод формування та управління складом комплексних сервісів в мережах з підтримкою функцій віртуалізації шляхом урахування поточного стану ресурсів мережі під час формування і управління складом сервісів, що дозволяє забезпечити необхідний рівень якості обслуговування у відповідності до погодженого договору про якість обслуговування.

У дисертаційній роботі запропоновано вирішення актуального науково-прикладного завдання, яке полягає в удосконаленні механізмів забезпечення необхідного рівня якості обслуговування в мультисервісних мережах з підтримкою віртуалізації мережевих функцій.

**Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях.** Всі положення, що виносяться на захист, достатньо опубліковані у спеціалізованих фахових виданнях України та у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз і пройшли апробацію під час конференцій та семінарів. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в дев'яти наукових статтях. З них вісім наукових статей опубліковано в наукових фахових виданнях України та одна стаття у зарубіжному фаховому виданні. Матеріали дисертаційних досліджень опубліковано у шести збірниках вітчизняних та міжнародних науково-технічних конференцій, в тому числі й публікації, проіндексовані у наукометричних базах IEEEExplore та SCOPUS. Кількість та якість публікацій результатів роботи відповідає вимогам ВАК України до кандидатських дисертацій.

**Оцінка відповідності дисертації встановленим вимогам ВАК України.** Дисертація є завершеною кваліфікаційною роботою, містить отримані автором нові науково обґрунтовані результати, які у сукупності дозволяють забезпечити створення механізмів забезпечення необхідного рівня якості обслуговування в мультисервісних мережах з підтримкою віртуалізації

мережевих функцій за рахунок удосконалення моделей і методів аналізу, формування та надання сервісів.

#### **Зауваження щодо дисертації:**

1. В першому розділі дисертаційної роботи визначено, що мережеві сервіси можуть бути розділені на три основні групи: приватний мережевий сервіс; мережевий сервіс загального доступу; гібридний мережевий сервіс, однак детально описаний тільки перший.
2. Потребує уточнення, який саме критерій використовувався автором для формування рішення про необхідність реплікації послуги для серверів з підтримкою реплікації OPERA.
3. В тексті дисертації присутня наявність російської мови, наприклад, рис. 4.4.
4. Наведені в дисертації рисунки розроблених моделей та методів не чітко відповідають наведеному математичному апарату.
5. З тексту дисертації не зрозуміло, за яким правилом обиралися критерії реплікації у процесі формування стратегії реплікації.

Зазначені недоліки не є суттєвими, в цілому не зменшують високого наукового рівня дисертації та отриманих в ній практичних результатів, а тому їх наявність не впливає на загальний позитивний висновок по дисертації.

### **ВИСНОВОК:**

**Дисертаційна робота Мухі-Алдіна Хассана Мохамеда** за своїм змістом і отриманими результатами відповідає паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. Дисертація є завершеною науковою роботою на актуальну тему, містить науково обґрунтовані теоретичні результати і положення, і свідчить про особистий внесок здобувача в науку. В дисертаційній роботі отримані нові науково обґрунтовані розробки в галузі телекомунікацій, що забезпечують розв'язання важливої науково-прикладної задачі, що полягає у вдосконаленні існуючих та розробці нових моделей і методів формування та надання комплексних послуг в мережах з підтримкою функцій віртуалізації, що дозволяють раціонально використовувати мережеві ресурси відповідно з поточним станом мережі і вимог користувачів щодо якості обслуговування, а отже дисертаційна робота «Моделі та методи забезпечення якості обслуговування у мережах з підтримкою функцій віртуалізації», за своїм змістом є закінченим науковим дослідженням, у якому отримані нові наукові результати, які можуть бути використані як науково-методична база для подальших досліджень функціонування і надання сервісів у різних типах розподілених мереж, що функціонують на основі концепції NFV: під час розробки, підтримки, проектування і впровадження різних конвергентних мультисервісних мереж, заснованих на хмарному підході.

Дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні, відповідає вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого

постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року №567, а її автор заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

**Офіційний опонент:**

Професор кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем  
Національного технічного університету України “Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського”  
доктор технічних наук, професор



Євген ГАВРИЛКО

“ 25 ” 02 2020 р.

Підпис Гаврилка Є.В. засвідчую:

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



Валерія ХОЛЯВКО