

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

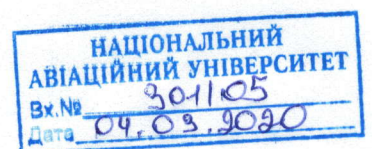
доктора технічних наук, старшого наукового співробітника  
Трембовецького Максима Петровича  
на дисертацію Мухі-Алдіна Хассана Мохамеда  
на тему «Моделі та методи забезпечення якості обслуговування у мережах з  
підтримкою функцій віртуалізації»,  
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата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

**Актуальність теми.** Вдосконалення методів забезпечення та підтримки гарантованого рівня якості обслуговування користувачів на сьогоднішній день виступає одним із основних напрямків розвитку телекомунікацій. Технологія NFV дозволяє реалізувати широкий набір функцій та послуг, що надаються мережевим обладнанням та мають апаратну реалізацію (мережеві екрани, пограничні маршрутизатори, комутатори, сервери доступу та інших), 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.

Однак розвиток і повноцінне функціонування технології віртуалізації мережеских функцій на сьогоднішній день ускладнений рядом факторів. По-перше, не існує стандартизованих механізмів і правил побудови архітектури NFV: документація ETSI і IETF носить рекомендаційний узагальнений характер і не містить чітких вимог до впровадження і подальшої підтримки NFV. По-друге, в більшості випадків інтерфейси мережевого обладнання з підтримкою технології NFV, що надається різними розробниками, наприклад, Cisco, HP, Juniper, Mikrotik, залишаються закритими і мають комерційний напрямок.

Таким чином, розробка нових і вдосконалення існуючих моделей і методів формалізації та аналізу ефективності функціонування віртуалізованих мереж в процесі надання послуг дозволить усунути ряд можливих помилок і, як наслідок, поліпшити рівень якості обслуговування.

Тому дисертаційна робота, яка присвячена вдосконаленню 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 QoS вимог користувачів, є актуальною.

**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.**

Робота виконана 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».

Теоретичні і практичні положення дисертаційної роботи 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.

*Перший розділ* дисертаційної роботи присвячено огляду літератури за темою дисертації та вибору напрямів дослідження, наведено аналіз архітектури мереж з підтримкою технології віртуалізації (NFV), проведено огляд функціонування та основних складових компонент архітектури NFV, наведено поширені механізми взаємодії між компонентами, а також сценарії формування та надання послуг. Наведено аналіз існуючої документації, рекомендацій та практичних рішень впровадження технології віртуалізованих мереж, зокрема технології NFV. 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 телекомунікації* 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.

За результатами аналізу встановлено, що відсутність стандартів та уніфікованих рішень щодо процесів розробки та впровадження віртуалізованих мереж сприяє виникненню ряду помилок, що призводить до деградації якості обслуговування.

В *другому розділі* з метою підтримки гарантованої якості надання мережесервісів та раціонального розподілу ресурсів рішення задачі управління запропоновано звести до розробки математичної моделі та методу формування комплексного сервісу та оптимізації процесів його надання; удосконалено метод динамічного балансування мережевого навантаження. При оцінці сумарної якості надання сервісів запропоновано враховувати наступні характеристики:

1) продуктивність: ефективність функціонування віртуальних обчислювальних ресурсів / вузлів.

2) доступність: швидкість формування віртуалізованої мережевої інфраструктури і відновлення після збоїв.

3) надійність: відмовостійкість функціонування IaaS компонент.

Запропоновано моделювання вузлів-обробників NFVC в рамках мережевого обчислення, розглянуті сценарії обробки одного потоку даних і агрегованого типу трафіку. Наведено модель процесу надання сервісів з урахуванням агрегації потоків даних, що дозволяє уникнути зниження ефективності мережевої інфраструктури при релокації обчислювальних ресурсів і повторному використанні вузлів-обробників.

*Третій розділ* присвячено аналізу особливостей мереж з віртуалізацією мережесервісів, таких як є динамічне масштабування, швидка адаптація, автоматизоване конфігурування мережевого обладнання, а також підтримка механізмів віртуалізації різного виду сервісів. Результат аналізу функціонування мереж з підтримкою функцій віртуалізації, зокрема NFV, показав, що, механізми MANO не є доскональними: обмеженість продуктивності серверів, розрізненість застосовуваних операційних систем і алгоритмів функціонування гіпервізора часто призводять до необґрунтованого збільшення обсягів даних, які зберігаються і передаються, що, в свою чергу, спричиняє виникнення мережесервісів затримок і збільшення часу простою обладнання.

Для покриття всієї області рішень по забезпеченню заданої якості обслуговування необхідна розробка методу підвищення рівня QoS, в разі відсутності сервісів з необхідним рівнем якості обслуговування.

Для вирішення поставленого завдання в роботі запропоновано математичний метод формування розподіленого комплексного сервісу на базі інформації про наявні в мережі атомарні сервіси.

В даному розділі удосконалено метод динамічного розподілу пропускної здатності каналів передачі в NFV мережах, заснований на принципах розподілу залишкової пропускної здатності. Застосування даного методу дозволяє уникнути повного завантаження і перевантаження каналу передачі.

З метою аналізу ефективності запропонованої методики динамічного розподілу пропускної здатності каналів зв'язку проведено експериментальне дослідження, за результатами якого визначено, що запропонований метод розподілу пропускної здатності дозволяє підвищити ефективність використання каналів передачі на 7% і зменшити середню затримку в середньому на 16% в порівнянні з динамічним алгоритмом Central Queuing, а застосування розробленого методу реплікації сервісів дозволяє підвищити доступність сервісу в 14 разів в разі перенавантажень.

У *четвертому розділі* показано, що поряд з ефективністю функціонування системи управління на показники доступності послуг в NFV мережах також впливають такі фактори як відмова системи зберігання, недостатність мережевих ресурсів та відмова обчислювальних вузлів.

Реплікація добре зарекомендувала себе як техніка, що дозволяє підвищити продуктивність і доступність послуг, а також забезпечити гнучку масштабованість послуг на безлічі розподілених обчислювальних пристроїв і географічно віддалених зон.

Механізм реплікації включає в себе обмін інформацією між серверами, що надають послуги, з подальшим копіюванням даних або послуг, розподілом і узгодженням їх на розподілених обчислювальних вузлах.

При використанні статичної реплікації правила формування і розподілу реплік послуги визначені заздалегідь і не змінюються протягом усього життєвого циклу. Одним із прикладів статичної реплікації є алгоритм реплікації на основі заздалегідь отриманої інформації про кількість необхідних реплік і правила їх розподілу без суворого обліку поточного стану системи (кількості використовуваних ресурсів сервера, кількість запитів і локація запитів).

Стратегія динамічної реплікації або адаптивна стратегія реплікації дозволяє створювати репліки послуг, розподіляти і управляти ними на основі гнучких поведінкових шаблонів, що відповідають кожній копії. В цьому випадку рішення про формування і розміщення реплік засновані на зміні робочого навантаження серверів, їх доступності та продуктивності, кількості і локалізації запитів користувачів. У разі динамічної замість постійної підтримки копій на віддаленому обчислювальному вузлі, реплікація послуги виконується тільки тоді і в тому фрагменті мережі, де цього вимагають користувачі.

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.

Розроблено комплексний алгоритм реплікації сервісів, що покриває всю область завдань з реалізації реплікації і забезпечення несуперечності реплік сервісів.

*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, де впроваджувалися результати досліджень.

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

### **Найбільш суттєві наукові результати дисертації.**

1. 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.

2. 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;

3. 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.

4. Набув подальшого розвитку метод динамічного розподілу пропускну здатності каналів передачі даних у NFV мережах, що базується на принципах розподілення залишкової пропускну спроможності. Застосування даного методу дозволяє уникнути повного завантаження та перевантаження каналу передачі.

### **Практична цінність наукових результатів дисертаційної роботи.**

Отримані у дисертаційній роботі наукові результати можуть бути використані під час розробки, впровадження та підтримки мультисервісних мереж, що базуються на хмарному підході з використанням технології віртуалізації мережевих функцій. Зокрема, запропоновані методи і моделі

аналізу та оцінки якості надання послуг було використано під час розробки процесів пошуку та резервування системою MANO каналів зв'язку з достатньою пропускну здатністю, процесу резервування ресурсів за допомогою протоколу RSVP та формування агрегованого потоку даних уздовж віртуальних каналів зв'язку.

**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.

Використано положення теорії управління багаторівневими системами; положення теорії множин; теорія масового обслуговування та теорія графів; методи 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**. 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 за рахунок удосконалення моделей і методів аналізу, формування та надання сервісів.

**Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях**. Всі положення, що виносяться на захист в достатній мірі підтверджено публікаціями у спеціалізованих фахових виданнях України та у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз і пройшли апробацію під час конференцій та семінарів. В дисертаційній роботі узагальнено результати досліджень, опублікованих. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в дев'яти наукових статтях. 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.

Результати дисертаційної роботи у галузі методології проектування телекомунікаційних систем є пріоритетними.

**Ідентичність змісту автореферату й основних положень дисертації.** Автореферат відповідає змісту та основним положенням дисертації.

**Зауваження щодо дисертації:**

1. В першому розділі дисертаційної роботи надто детально проаналізовані показники якості обслуговування, орієнтовані на користувача та показники якості роботи мережі (обладнання).

2. Зі змісту дисертації не зрозуміло, чи є поняття атомарних сервісів  $P_i$  синонімом поняття одиничних сервісів.

3. В тексті дисертації не досить чітко визначені обмеження на використання запропонованого автором методу формування та управління складом комплексних сервісів в мережах з підтримкою функцій віртуалізації.

4. Висока деталізація наведених схем розроблених моделей та систем ускладнюють сприйняття отриманих результатів.

5. З тексту дисертації не зрозуміло, як з метою точного визначення причин зміни (погіршення) показників якості, що надаються інфраструктурою NFV сервісів, визначити межі та оцінити характеристики мережевої інфраструктури двох зон обслуговування: зони замовника послуг NFV і зони провайдера сервісу VNF, а також допоміжних систем і інтерфейсів, що впливають на їх взаємодію.

Зазначені недоліки не є суттєвими, та 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 QoS вимог користувачів, а отже дисертаційна робота «Моделі та методи забезпечення якості обслуговування у мережах з підтримкою функцій віртуалізації», що спрямована на вирішення зазначеної задачі, за змістом є закінченим науковим дослідженням, у якому отримані нові наукові результати, важливі на сучасному етапі для подальшого розвитку телекомунікаційних систем та мереж.

Автор дисертації є кваліфікованим фахівцем, глибоко вник в суть проблеми, добре володіє сучасними методами досліджень та вміло використовує їх для вирішення комплексу поставлених науково-технічних задач.

За теоретичною обґрунтованістю та практичною цінністю дисертація відповідає вимогам п. 9, 11, 12,14 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» до кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує на присудження йому вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

**Офіційний опонент:**

завідувач кафедри енергоефективних технологій  
Навчально-наукового інституту телекомунікацій  
Державного університету телекомунікацій

доктор технічних наук, старший науковий співробітник

“ 28 ” лютого 2020 р.



М. П. Трембовецький

Підпис Трембовецького М. П. засвідчую:

учений секретар Вченої ради  
Державного університету телекомунікацій

“ 28 ” 02 2020р.



О.В. Попов