

**ВІДГУК
офіційного опонента**

професора кафедри інфокомунікаційної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки Коляденко Юлії Юріївни, доктора технічних наук, професора на дисертаційну роботу Романчука Василя Івановича, подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі на тему «Методи та алгоритми управління ресурсами мультисервісних інформаційних функціонально-орієнтованих корпоративних мереж»

Характеристика актуальності дисертаційного дослідження.

На сьогоднішній день збільшення кількості послуг та користувачів в інфокомунікаційних мережах призводить до постійного погіршення якості обслуговування. Особливо гостро ця проблема постає при реалізації концепції повсюдного комп'ютингу, відповідно до якої послуги повинні надаватися в режимі реального часу для корпоративних клієнтів, з використанням високошвидкісних телекомунікаційних систем. З появою мультисервісних мереж виникла велика кількість нових сервісів. Кожен сервіс генерує потоки даних з особливими параметрами, при цьому кожен сервіс має свої вимоги до якості обслуговування, які визначають особливості функціонування мережі, щодо того, яким чином обслуговувати потоки трафіку того чи іншого додатку. Зміна парадигми концепції надання послуг, яка була пов'язана із загальною трансформацією концепції мереж NGN, виражається в першу чергу в тому, що ролі оператора і користувача значно змінилися. Тепер користувач і оператор виступають як союзники в єдиному процесі інформатизації, і таку взаємодію можна вважати еволюцією сучасних методів надання послуг. Отже, розробляючи нову систему управління ресурсами мережі, раціонально використовувати системний підхід: проблему забезпечення якості потрібно вирішувати не ізольовано, а в єдності зв'язків з навколишнім середовищем - користувачем. Задоволення вимог користувача включає в себе як технічні аспекти (параметри якості функціонування мережі), так і нетехнічні (обслуговування користувачів). В результаті чого виникає проблема адаптивного автоматичного управління ресурсами мережі в умовах змін значущості бізнес-процесів корпоративних клієнтів, яку складно розв'язати за допомогою існуючих методів та мережних технологій, оскільки зміна критеріїв оптимальності керуючих рішень вимагає постійного експертного та адміністративного втручання.

Представлена дисертація вміщує аспекти адаптивного структурно-функціонального синтезу логічної інфраструктури корпоративної мережі для забезпечення вимог до продуктивності мережі, захищеності, оперативності доставки даних і якості обслуговування користувачів шляхом розроблення адаптивних методів віртуалізації мережних пристроїв та алгоритмів динамічного управління мережними ресурсами. Значну увагу автор зосереджує на методах адаптивного управління структурними параметрами вузла та моделях віртуалізації мережевого пристрою з метою покращення якості обслуговування потокового трафіку в мультисервісних інформаційних функціонально-орієнтованих корпоративних мережах.

Автор продовжує, вдало розвиваючи та доповнюючи, наукові дослідження широкого кола вітчизняних та закордонних науковців у сферах структурно-функціонального синтезу та методів управління ресурсами мереж, розроблення алгоритмів керування чергами та адаптації рівня якості надання послуг у інформаційних мультисервісних системах.

Формулювання протиріччя у межах опонованого дисертаційного дослідження базується на обґрунтуванні відсутності можливостей сучасних систем управління якістю надання послуг задовільнити реальні потреби користувачів, які орієнтовані на конкретні сервіси.

Тому актуальність і важливість наукової проблеми забезпечення якості надання інфокомунікаційних послуг, зокрема покращення оперативності обміну інформацією в мультисервісних інформаційних функціонально-орієнтованих корпоративних мережах на основі створення методу адаптивного управління структурними параметрами мережних пристроїв та розвитку математичних моделей і алгоритмів обслуговування черг на сьогодні не викликає сумніву, а тематика дисертаційного дослідження є багатосторонньою та релевантною сучасному стану інформаційно-комунікаційних технологій у світовій науці загалом та у вітчизняній зокрема.

Наукове значення, структура і змістове наповнення дисертаційної роботи, визначаються сукупністю структурно-функціональних моделей та методів, сформованих на підставі визначеного автором предмету дослідження – моделей, методів та алгоритмів динамічного управління ресурсами мультисервісних функціонально-орієнтованих корпоративних мереж.

У першому розділі автор розглядає основні поняття і характеристики якості обслуговування в мультисервісних мережах, дає короткий огляд системам обслуговування інформаційних потоків. Проводить огляд основних особливостей та недоліків існуючих методів управління трафіком в мультисервісних мережах зв'язку. Встановлено, що низька узгодженість вирішення завдань формування черг, їх обслуговування і розподілу каналного ресурсу між чергами тягнуть за собою необхідність перегляду схем, закладених у відповідні механізми і протоколи з метою реалізації динамічних стратегій управління, здатних адаптивно підлаштовуватися під зміни стану мережі та окремих мережних вузлів. Ґрунтуючись на проведеному аналізі тенденцій розвитку, особливостей побудови й функціонування сучасних ТКМ, автором сформульовано ряд важливих вимог, яким мають задовольняти новітні технологічні рішення в галузі забезпечення гарантованої якості обслуговування.

В 2-му розділі автором розроблено моделі, методи і алгоритми підвищення якості обслуговування та управління ресурсами мультисервісних інформаційних функціонально-орієнтованих корпоративних мереж. А саме формалізовано завдання адаптивного структурно-функціонального синтезу логічної інфраструктури корпоративної мережі. Удосконалено метод управління чергами на інтерфейсах мережеских вузлів. Розроблено структурно-функціональну модель статичної та динамічної віртуалізації обчислювальних ресурсів мережного пристрою. Встановлено залежність між структурно-функціональними параметрами та параметрами якості обслуговування. Забезпечено узгоджене вирішення задач планування та управління

обчислювальними ресурсами за рахунок введення динамічної віртуалізації маршрутизаторів для гарантованої обробки певних класів трафіку. Розроблено метод декомпозиції структури мережного маршрутизатора з віртуалізацією. Запропоновано метод виявлення аномалій мережевого трафіку корпоративної мережі.

У 3-му розділі дисертації автор проводить моделювання та дослідження впливу управління ресурсами мультисервісних корпоративних мереж на якість надання послуг. Визначив вплив конфігурації мережевих пристроїв на якість обслуговування послуг, використовуючи засоби Packet tracer та OpNet modeler. Провівши дослідження, автор встановив, що найкращим механізмом надання гарантованої якості обслуговування є Int-DiffServ. Оцінено експериментально параметр Херста, для підтвердження ступеня самоподібності мультисервісного трафіку. Проведено імітаційне моделювання обслуговування мережевого трафіку із параметрами, що відповідають реальним мультисервісним мережам та оцінено параметри QoS. Розроблено імітаційну модель процесу обслуговування в мережевих вузлах із реалізацією удосконаленого алгоритму управління чергами з пріоритетами. Для підтвердження адекватності запропонованої імітаційної моделі здійснено аналіз агрегованого трафіку корпоративної мультисервісної мережі.

У 4-му розділі дисертантом розроблено структурно-функціональну модель мережевого пристрою з віртуалізацією ресурсів за допомогою компонент SimEvents програмної системи Matlab. Проведено порівняння запропонованих способів віртуалізації мережевого пристрою із системою пріоритетного обслуговування потоків. Досліджено вплив методу управління структурними параметрами віртуальних маршрутизаторів на якість обслуговування потоків. За результатами моделювання доведено, що система пріоритетного обслуговування інформаційних потоків не забезпечує усім потокам гарантований рівень QoS, на відміну від системи з динамічною віртуалізацією обчислювальних ресурсів маршрутизатора. На основі імітаційного моделювання встановлено, що метод управління структурними параметрами віртуальних маршрутизаторів дає змогу при одних і тих самих обсягах ресурсів мережевого пристрою зменшити тривалість затримки пакетів послуг реального часу на 18,8%, а для потоків, чутливих до втрат зменшити ймовірність втрат пакетів до 10 разів. Підвищено достовірність оцінки допустимої кількості віртуальних вузлів мультисервісної мережі в залежності від використовуваного типу послуг і цільової групи користувачів. Оцінено часові параметри QoS мультисервісної віртуальної корпоративної інфраструктури із застосуванням методу декомпозиції структури віртуального маршрутизатора в залежності від конфігурації та завантаженості вузлів мережі.

У 5-му розділі роботи автор зосередив основну увагу на ефективності запропонованих у дисертації рішень. Для цього автором створено віртуальну тестову платформу мережі нового покоління з використанням інструменту QtCreator (версія 5.2) з можливістю інтеграції в операційній системі, наприклад, Windows, Linux або Mac. На основі розробленої тестової платформи, розроблено модель віртуалізованого програмно-керованого маршрутизатора, який володіє функцією адаптивного вибору алгоритму обслуговування черг в умовах виникаючого явища випадкового сплеску трафіку, характерного для

мультисервісних мереж нового покоління. В результаті проведення імітаційного і практичного експерименту дисертантом доведено, що застосування розроблених моделей та методів надання інфокомунікаційних послуг в мережах нового покоління приводить до покращення якості обслуговування потоків реального часу і, зокрема, в середньому у 2 рази знижує затримку обслуговування та зменшує ймовірність втрат пакетів на 3%.

Шостий розділ роботи містить результати, найбільш цінні з точки зору практики, зокрема розглянуто структурну декомпозицію топології мультисервісної мережі на віртуальні моно-сервісні та їх переваги у функціонуванні. Проведено опис розгортання віртуальних маршрутизаторів на одному фізичному на основі гнучкого розподілу віртуального часу доступу до процесора. Розроблено програмну модель маршрутизатора з набором сучасних механізмів та алгоритмів обслуговування інформаційних потоків. На основі програмної моделі маршрутизатора розширено набір функціональних можливостей пристрою режимом адаптивного розгортання віртуальних вузлів з можливістю гнучкого управління структурними параметрами. Порівняно часові показники якості обслуговування IPTV потоку при використанні технології віртуалізації мережевого пристрою з показниками, одержаними на основі існуючого алгоритму справедливого обслуговування. Проведено експеримент для оцінки ефективності запропонованих рішень та впливу на якість сприйняття клієнт-орієнтованої послуги. Встановлено, що запропонована технологія динамічної віртуалізації мережевого пристрою та метод управління чергами дає змогу в процесі динамічного програмного конфігурування ресурсів забезпечити виконання вимог до продуктивності мережі, оперативності доставки даних і якості обслуговування корпоративних користувачів.

Вважаю структуру роботи, яка складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел (із 252 найменувань), 4-х додатків та має обсяг 346 сторінок виправдану і логічну. Дисертація відповідає необхідним вимогам до її оформлення. Матеріали роботи викладено послідовно, стиль викладення забезпечує можливість сприйняття та однозначного трактування наукового здобутку автора.

Зміст представленого автореферату стисло та у необхідному обсязі характеризує дисертацію. Здобувач не виносить на захист положень, які представлялися до захисту його кандидатської дисертації.

Кваліфікаційна наукова праця відповідає паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Практичне значення дисертаційної роботи, в основному, полягає у тому, що запропоновані методи дають змогу виявити потенційні вузькі місця в телекомунікаційній системі з метою її модернізації та сформулювати пропозиції щодо зміни програмної архітектури активного мережного (агрегуючого та комутаційного) обладнання. При цьому, протягом 2015-2017 років проведено трансформацію мультисервісної корпоративної мережі Національного університету «Львівська політехніка» «Polynet», одержано позитивний приріст по продуктивності функціонування, показникам якості обслуговування, захищеності даних, забезпечено гнучкість управління ресурсами мережі без значних кошторисних затрат на модернізацію мережної інфраструктури.

А саме, зменшено до 2 разів затримку обслуговування з кінця в кінець при наданні інфокомунікаційних послуг реального часу та забезпечено високий рівень якості сприйняття відеопотоку при втратах пакетів до 3% із застосуванням удосконаленого алгоритму зваженого кругового обслуговування черг у мережних вузлах мультисервісної мережі. Покращено якість обслуговування критично важливих даних у корпоративній мережі за середньою затримкою на 18,8%, а для потоків, чутливих до втрат та нечутливих до затримок вдалося зменшити ймовірність втрат пакетів до 10 разів шляхом використання запропонованої моделі віртуалізації мережного вузла з адаптивним управлінням структурними параметрами віртуальних маршрутизаторів при збереженні одних і тих самих обсягів апаратних мережних ресурсів. Запропоновано технологію динамічної віртуалізації мережевого пристрою, яка забезпечує можливість призначення мінімального обсягу мережних ресурсів для гарантування заданого рівня якості обслуговування та покращує часові показники якості обслуговування потокового трафіку в режимі реального часу до 25-30%. Підвищено достовірність оцінювання оптимальної кількості віртуальних вузлів мультисервісної корпоративної мережі від 1,1 до 5,1 разів та прогнозування затримки обслуговування різноманітного трафіку з кінця в кінець в умовах його флуктуацій від 4 до 30 %, в залежності від цільового орієнтування мережної інфраструктури.

Враховуючи значний обсяг виконаних науково-експериментальних досліджень, вважаю, що рівень практичного значення є достатнім. Дисертація має ознаки завершеного комплексного наукового дослідження.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність. Обґрунтованість і достовірність отриманих наукових результатів забезпечуються коректним використанням математичного апарату теорії систем масового обслуговування та засобів імітаційного моделювання на ЕОМ. Крім того, достовірність результатів роботи підтверджена збігом результатів аналітичного та імітаційного моделювання та із експериментальними даними. Акти про використання результатів підтверджують висновки і рекомендації, які представлені у дисертаційній роботі. Робота достатнім чином опублікована та апробована.

Повнота викладу результатів досліджень у опублікованих працях. За результатами досліджень, які викладені у дисертаційній роботі, автором опубліковано 49 наукових праць, серед них статей у наукових фахових виданнях – 20 (всі статті у науковій періодиці, що входить до міжнародних науково-метричних баз різного рівня, включаючи Scopus, Index Copernicus, Google Scholar тощо), у збірниках матеріалів і тез доповідей міжнародних та всеукраїнських конференцій – 13, з них індексованих у науково-метричній базі Scopus – 12, також 2 патенти та 2 колективні монографії.

Наведений перелік опублікованих праць, їх зміст та обсяг відповідають темі дисертації, у повному обсязі відображають сформульовані положення, отримані наукові результати та висновки.

Недоліки та зауваження щодо роботи.

1. В першому розділі дисертаційної роботи бажано було би привести дослідження іноземних вчених з точки зору управління ресурсами мультисервісної мережі шляхом віртуалізації мережевих пристроїв. Порівняти методи управління ресурсами для забезпечення QoS, які використовуються у програмно-конфігурованих мережах.

2. У другому розділі роботи пропонується вперше метод виявлення аномалій мережного трафіку, який, на відміну від відомих, заснований на виконанні статистичного аналізу поведінкових залежностей і ентропії інтенсивності трафіку, що дало змогу забезпечити виявлення, блокування або фільтрацію небажаних інформаційних потоків в програмно-базованих корпоративних мережах. Проте, що розуміється під аномалією трафіку, чи це випадковий всплеск трафіку, чи мережева атака, та які дії будуть застосовуватись в процесі розгортання мультисервісної мережі з віртуалізацією ресурсів – все це потребує додаткового пояснення. А також не зрозуміло, де саме буде інтегруватися даний метод: на вузлах діючої мережі, чи на віртуалізованих мережевих пристроях з окремо виділеною віртуальною машиною?

3. Четвертий розділ роботи перенасичений графічними матеріалами, які в більшості є однотипними. Можливо, доцільно було б зосередити увагу на отриманні науково-практичних результатів та їх перевагах над відомими.

4. При верифікації запропонованих рішень важливим також є питання щодо кількості експериментів, які виконуються: їх недостатня кількість призводить до зниження достовірності отриманих характеристик. Експериментальні результати, які отримані у 5-му та 6-му розділах, одержані на основі дослідів на реальній мережі, які виконувались одноразово.

5. В дисертаційній роботі не показано, як впливає продуктивність розробленого програмного маршрутизатора на часові параметри якості обслуговування.

6. Важко зрозуміти, як саме автор врахував вплив засобів віртуалізації при організації віртуальних маршрутизаторів на продуктивність обслуговування пакетів.

7. Невідомо, як запропонований підхід динамічної віртуалізації ресурсів мережевого пристрою реалізовуватиметься на практиці та як функціонуватиме в процесі експлуатації мережі.

8. Здобувач запропонував формулу (2.47) для розрахунку середньої кількості віртуальних маршрутизаторів, що можуть складати шуканий шлях для передачі пакету із заданими рівнем якості обслуговування за показником середньої затримки. Однак ця формула справедлива лише у випадку забезпечення ідеального балансування навантаження в мережі, що на практиці досягнути досить важко. Крім того, кількість маршрутизаторів у шуканому маршруті може бути обмежена додатково ще й прогнозованими значеннями

наскрізного джитера чи ймовірності втрат пакетів, що в дисертації не враховано в явному вигляді.

Представлені зауваження не змінюють у цілому позитивної оцінки роботи.

Загальні висновки.

Дисертаційна робота Романчука В.І. на тему «Методи та алгоритми управління ресурсами мультисервісних інформаційних функціонально-орієнтованих корпоративних мереж» є самостійною, завершеною науковою працею, яка містить оригінальне розв'язання актуальної наукової проблеми забезпечення якості надання інфокомунікаційних послуг, зокрема покращення оперативності обміну інформацією в мультисервісних інформаційних функціонально-орієнтованих корпоративних мережах на основі створення методу адаптивного управління структурними параметрами мережних пристроїв та розвитку математичних моделей і алгоритмів обслуговування черг.

Матеріал роботи викладено послідовно, стиль викладення відповідає вимогам до наукових праць. Висновки до кожного розділу відображають зміст виконаних досліджень. Публікації автора повністю характеризують наукові положення роботи та одержані ним результати. Обсяг апробацій та публікацій – достатній.

Дисертація відповідає спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. Текст автореферату з необхідною повнотою відображає зміст дисертації.

За актуальністю, оригінальністю, обсягом та рівнем, повнотою розв'язання наукових та практичних завдань, новизною, цінністю і ступенем обґрунтування отриманих результатів, висновків і практичних рекомендацій, дисертація відповідає вимогам, які ставляться до докторських дисертацій (пп. 9, 10, 12) чинного положення про «Порядок присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року (зі змінами та доповненнями). Автор роботи – Романчук Василь Іванович – заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри інфокомунікаційної інженерії
Харківського національного
університету радіоелектроніки



Ю.Ю. Коляденко

Підпис д.т.н., професора Коляденко Ю.Ю. засвідчую
Учений секретар
Харківського національного
університету радіоелектроніки,
кандидат технічних наук



І.В. Магдаліна