

## ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Червенця Володимира Володимировича на тему "**Підвищення якості передачі потокового трафіку в мультисервісних мережах**", подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 - телекомунікаційні системи та мережі

### 1. Актуальність теми дисертації

Сучасні телекомунікаційні мережі (ТКМ) орієнтовані на надання абонентам широкого спектру послуг, кожна з яких при передаванні характеризується різнотипними вимогами щодо мережевих ресурсів. Невпинне зростання потоків інформації приводить до модернізації телекомунікаційних мереж як в частині обладнання вузлів мережі, так і щодо постійного розширення пропускних здатностей каналів передавання для зростаючого обсягу потокового трафіку та забезпечення якості його передавання. Збільшення обсягів трафіку реального часу (голос, відео) створює ряд проблем та вимагає застосування нових методів ресурсної оптимізації, протоколів управління і, відповідно, заміни обладнання. Одним із методів забезпечення якості обслуговування різних видів трафіку є використання системи обслуговування з пріоритетами. При цьому система обслуговування на основі фіксованих пріоритетів має істотний недолік. Дана система не в змозі забезпечити необхідний рівень QoS низькопріоритетним потокам. Детальний аналіз вказаних проблем, оптимізація і налаштування використовуваного обладнання ТКМ може забезпечити зростаючі вимоги. При цьому витрати на проведення таких робіт значно нижчі від можливих затрат на закупівлю та встановлення нового телекомунікаційного обладнання.

Найбільш перспективним рішенням стосовно забезпечення QoS та збалансованого використання мережних ресурсів, а також узгодженості між розв'язками завдань маршрутизації, управління доступом та резервування ресурсів є використання для оптимізації обладнання магістральних IP-мереж технології віртуалізації мережевих пристроїв, які готують базис для радикальних змін у сфері надання мультимедійних послуг через мережу Internet. Віртуальні маршрутизатори відкривають шлях новим сервісам Internet, які будуть ізольовані від трафіку інших сервісів мережі і забезпечать контроль над продуктивністю, адмініструванням адрес, засобами управління і мережевою безпекою. У зв'язку з цим тематика дисертаційної роботи Червенця Володимира Володимировича, яка присвячена розробленню методу адаптивного управління структурними параметрами вузла та моделей

віртуалізації мережевого пристрою з метою покращення якості обслуговування потокового трафіку в мультисервісних мережах, є актуальною.

## **2. Загальна характеристика роботи**

Дисертаційна робота Червенця Володимира Володимировича стосується наукового завдання покращення якості обслуговування потокового трафіку в мультисервісних мережах за рахунок удосконалення методу адаптивного управління структурними параметрами вузла та розробки моделей віртуалізації мережевого пристрою.

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Загальний обсяг роботи складає 173 сторінки друкарського тексту, із них: 6 сторінок вступу, 136 сторінок основного тексту, 94 рисунки, 3 таблиці, список використаних джерел зі 121 найменування, додаток на 7 сторінках.

У вступі подано загальну характеристику дисертаційної роботи, обґрунтовано всі процедурні положення та подано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

У першому розділі розглянуто основні поняття і характеристики якості обслуговування в мультисервісних мережах, дається короткий огляд систем обслуговування інформаційних потоків, їх структура і класифікація, дисципліни обслуговування, математичні моделі та основні властивості потоку подій. Проведено огляд і виявлено основні особливості та недоліки існуючих методів управління трафіком в мультисервісних мережах зв'язку. Встановлено, що низька узгодженість в рішеннях 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, був сформульований ряд важливих вимог, яким мають задовольняти новітні технологічні рішення в галузі забезпечення гарантованої якості обслуговування ІТ.

У другому розділі запропоновано моделі та метод забезпечення заданих значень показників якості обслуговування інформаційного трафіку на основі процесу віртуалізації мережевого пристрою та адаптивного управління структурним параметрами вузла. Розроблено модель статичної та динамічної реконфігурації обчислювальних ресурсів мережевого пристрою. Запропоновано аналітичну модель маршрутизатора з віртуалізацією ресурсів та математичне представлення параметрів якості обслуговування потоків в мультисервісній інфраструктурі з віртуалізацією ресурсів. 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. Динаміка забезпечується шляхом перерозподілу мережевого ресурсу при збільшенні або зменшенні його обсягу.

У третьому розділі розроблено структурно-функціональну модель мережевого пристрою з віртуалізацією ресурсів за допомогою компонент SimEvents програмної системи Matlab. Проведено моделювання та порівняння систем обслуговування інформаційних потоків зі статичною та динамічною реконфігурацією ресурсів маршрутизатора з обробкою пакетів за порядком черги FIFO на базі імітаційної моделі. На основі отриманих залежностей визначено обсяг необхідних ресурсів обслуговуючого вузла для забезпечення встановленого рівня часових показників якості обслуговування при розгортанні віртуальних маршрутизаторів. Проведено порівняння запропонованих способів віртуалізації мережевого пристрою із системою пріоритетного обслуговування потоків. Досліджено вплив методу управління структурними параметри 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 параметри 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.

У четвертому розділі описано технічні аспекти впровадження віртуальних маршрутизаторів в мультисервісній інфраструктурі. Розглянуто структурну декомпозицію топології мультисервісної мережі на віртуальні моно-сервісні мережі та їх переваги у функціонуванні. Розроблено програмну модель маршрутизатора з набором сучасних механізмів та алгоритмів обслуговування інформаційних потоків. На основі програмної моделі маршрутизатора розширено набір функціональних можливостей пристрою: додано режим розгортання віртуальних вузлів із можливістю гнучкого управління структурними параметрами. Створено UML-діаграму побудови імітаційної моделі програмного маршрутизатора з віртуалізацією. Проведено дослідження якості обслуговування потокового трафіку на основі розробленої моделі програмного маршрутизатора з можливістю розгортання віртуальних обслуговуючих пристроїв класового призначення. Порівняно часові показники якості обслуговування IPTV потоку при використанні

технології віртуалізації мережевого пристрою з існуючим алгоритмом справедливого обслуговування. На основі отриманих результатів, доведено, що при розгортанні віртуальних маршрутизаторів класового призначення технологія динамічної віртуалізації мережевого пристрою забезпечує можливість вибору мінімального обсягу обчислювальних ресурсів маршрутизатора для гарантування заданого рівня якості обслуговування та дає змогу на 25-30% знизити тривалість затримки та джитер IPTV потоку.

В додатку до роботи подано акти впровадження її результатів.

### **3. Наукова новизна результатів, отриманих в дисертаційній роботі**

У ході розв'язання поставленої наукової задачі здобувачем отримані наступні основні наукові результати:

1. Вперше запропоновано структурно-функціональну модель мереженого пристрою з підтримкою динамічної віртуалізації обчислювальних ресурсів, яка дає змогу описати процес віртуалізації маршрутизаторів із взаємною оптимізацією заданого рівня параметрів якості обслуговування для визначених типів сервісу.

2. Вперше запропоновано математичну модель процесів функціонування мережного пристрою з віртуалізацією. Новизна моделі полягає в тому, що в ній значно знижується взаємний параметричний вплив різних видів трафіку в процесі передавання через мережу та оцінюється якість обслуговування за допомогою декомпозиції структури мережевого вузла і подальшого математичного моделювання на основі теорії систем та мереж масового обслуговування.

3. Набув подальшого розвитку метод адаптивного управління структурними параметрами віртуальних маршрутизаторів, який дав змогу на основі розробленої програмної моделі динамічної віртуалізації ресурсів маршрутизатора оцінити та покращити параметри якості обслуговування інформаційного трафіку в мультисервісній мережі.

4. Удосконалено програмну модель маршрутизатора. Новизна моделі полягає в тому, що в ній, на відміну від раніше відомих моделей, є можливість розгортати віртуальні аналоги апаратних маршрутизаторів з мінімальним необхідним обсягом мережевих ресурсів для гарантування заданого рівня якості обслуговування, що дає змогу покращити (знизити) часові параметри QoS потокового трафіку.

### **4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, наданих в дисертації, їхня достовірність**

Обґрунтованість і достовірність отриманих наукових результатів забезпечується 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.

## **5. Повнота викладу наукових положень, висновків, рекомендацій в опублікованих працях**

За результатами досліджень, які викладені у дисертаційній роботі, опубліковано 16 наукових праць, серед них 7 статей у фахових виданнях, з них 1 стаття за кордоном та 8 публікацій у збірниках праць міжнародних і всеукраїнських конференцій. Опубліковані праці повністю висвітлюють матеріали дисертаційної роботи. Результати дисертаційної роботи пройшли апробацію на міжнародних конференціях і отримали схвалення провідних фахівців телекомунікаційної галузі.

## **6. Відповідність дисертації встановленим вимогам**

Автореферат дисертації повністю відповідає змісту дисертаційної роботи, висвітлює всі отримані результати, сформульовані висновки та запропоновані рекомендації. Стиль викладення матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття.

## **7. Важливість одержаних результатів та шляхи їх використання**

- Використання запропонованого методу управління структурними параметрами віртуальних маршрутизаторів в умовах високого навантаження дає змогу при одних і тих самих обсягах ресурсів мережевого пристрою покращити якість обслуговування для потоків реального часу за середньою затримкою на 18,8%, а для потоків чутливих до втрат та нечутливих до затримок зменшити ймовірність втрат пакетів до 10 разів.

- Запропонована технологія динамічної віртуалізації мережевого пристрою забезпечує можливість вибору мінімального обсягу мережевих ресурсів для гарантування заданого рівня якості обслуговування та дає можливість на 25-30% покращити часові показники параметрів якості обслуговування потокового трафіку в режимі реального часу.

## **8. Зауваження до дисертаційної роботи:**

1. У роботі не пояснено, яким чином при побудові мультисервісної мережі із віртуальними маршрутизаторами реалізовано протоколи маршрутизації потоків даних. Оскільки відомо, що особлива увага щодо забезпечення заданих показників якості обслуговування у рамках мережного управління приділяється саме засобам маршрутизації.

2. У третьому розділі "Дослідження ефективності функціонування віртуальних маршрутизаторів в умовах передавання мультисервісного трафіку" незрозуміло, з якою метою проводиться моделювання та порівняння систем обслуговування інформаційних потоків з віртуалізацією та обробкою пакетів за порядком черги FIFO, результати якого детально коментуються з графічними ілюстраціями й займають у роботі значний обсяг (сс. 97 - 106). Можливо, варто обмежитися порівнянням із системою пріоритетного обслуговування. Оскільки відомо, що використання в мережевих пристроях

алгоритмів із пріоритетним обслуговуванням забезпечує кращий рівень QoS потоків реального часу, аніж алгоритми FIFO.

3. У четвертому розділі не розкрито, якими засобами віртуалізації розгортаються віртуальні маршрутизатори. Це також є важливим фактором впливу на затримку обслуговування пакетів.

4. При верифікації запропонованих методів та моделей підвищення якості обслуговування потокового трафіку важливим також є питання щодо кількості проведених експериментів на базі імітаційної та програмної моделей віртуального маршрутизатора, оскільки недостатня кількість проведених дослідів призводить до зниження достовірності отриманих характеристик. Експериментальні результати, які отриманні дисертантом у 3-му та 4-му розділі виконувались одноразово. Ще одним прикладом є міра адекватності розробленого програмного маршрутизатора реальному аналогу, верифікація результатів оцінюється без похибки і, зокрема, без вказання похибки роботи інструментальних засобів вимірювання параметрів, значення яких порівнювались.

5. У другому розділі здобувач запропонував використати формулу Норроса (2.20) для визначення завантаженості буфера у віртуальному маршрутизаторі. Однак у наступних розділах, де розглядаються моделювання та практична реалізація віртуального маршрутизатора, використання формули не наведено. Відповідно, виникають сумніви щодо доцільності її використання для визначення необхідного розміру буфера віртуального маршрутизатора.

6. У третьому розділі в процесі конфігурації імітаційної моделі співставлено продуктивність маршрутизатора із витратами часу при обслуговуванні пакету або часом займання процесорного ресурсу. Написано: "...Оскільки номінальна частота процесора маршрутизатора є найбільш вагомим показником продуктивності, то згідно аналізу технічного паспорту виробників маршрутизаторів середній час обслуговування пакетів в залежності від CPU наведено у таблиці 3.1..." Проте, яких саме виробників і з якою архітектурою процесорів мережевого пристрою – не наведено. Адже відомо, що різна архітектура процесора впливає по-різному на швидкість оброблення.


### **Загальні висновки**

На підставі розгляду змісту дисертації, її автореферату, праць здобувача, актів впровадження, аналізу ступеня новизни наукових положень та практичної значимості отриманих у роботі результатів, висновків та рекомендацій можна зробити висновок, що дисертаційна робота Червенця Володимира Володимировича є завершеною працею, в якій отримані нові наукові результати, що в сукупності забезпечило розв'язання актуального наукового завдання покращення параметрів якості обслуговування

потокового трафіку в мультисервісних мережах за рахунок удосконалення методу адаптивного управління структурними параметрами вузла та розроблення моделей віртуалізації мережевого пристрою. Сама робота відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» Кабінету Міністрів України, паспорту заявленої спеціальності, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.12.02 - телекомунікаційні системи та мережі.


Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри інформаційно-  
комунікаційних технологій

Державного університету телекомунікацій  Б.Ю. Жураковський

Підпис д.т.н., професора Жураковського Б.Ю. засвідчую,

Вчений секретар

Державного університету телекомунікацій  О.В. Попов