

## ВІДГУК

### офіційного опонента

доктора технічних наук, старшого наукового співробітника

**Хлапоніна Юрія Івановича**

на дисертаційну роботу

Федорової Наталії Володимирівни на тему:

„Методологія управління розподілом ресурсів мультисервісної макромережі при наданні послуг користувачам”, представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Актуальність теми дисертації визначається тим, що активний еволюційний розвиток технологій в найближчій перспективі призведе до створення мультисервісних макромереж, метою яких буде вирішення принципово нових задач. Почнуть з'являтися нові вимоги й задачі, які вже зараз можна визначити та позначити. Згідно концепції «неруйнівного» переходу від традиційних мереж з комутацією каналів до мереж з комутацією пакетів, подібні рішення повинні дозволяти частково переводити окремі сегменти на нові технології без кардинальної зміни всієї структури мережі.

Для ефективного ведення бізнесу оператору сервісів знадобиться розрахунок оптимального розподілу мережеских ресурсів, тобто визначення мінімального обсягу мережеских ресурсів, які необхідні для забезпечення заданих параметрів якості при наданні сервісу користувачам. В свою, чергу для користувача можливе отримання заданої якості сервісу за мінімально доступною вартістю.

В даному випадку для визначення мінімального обсягу задіяних під сервіс мережеских ресурсів не раціонально використовувати існуючі моделі. Виникає необхідність нового підходу до раціонального розподілу мережеских ресурсів мультисервісної макромережі при наданні сервісу користувачам, що є актуальним на сучасному етапі розвитку науки і техніки.

Однак, при виникненні протиріч між завантаженістю послугами мультисервісної макромережі та оптимальним розподілом ресурсів мережі під сервіс, має місце та потребує вирішення актуальна науково-прикладна проблема - розробка методологічних основ щодо ефективного управління розподілом ресурсів мультисервісної макромережі на основі запровадження системи збору й обліку інформації з мережеских рівнів у реальному часі.

Вхідний ДУТ № 1073  
« 08 » 11 20 17 р.

**Метою** дисертаційної роботи є підвищення ефективності управління розподілом ресурсів мультисервісної.

**Об'єктом** дослідження є процес управління мережевими ресурсами мультисервісної макромережі.

**Предметом** дослідження є система управління оптимального розподілу ресурсів мультисервісної макромережі при наданні послуг користувачам.

**Наукова новизна та практична цінність** отриманих в дисертаційній роботі результатів.

**Наукова новизна результатів**, отриманих у дисертаційній роботі:

- вперше розроблено метод оптимального розподілу ресурсів мультисервісної макромережі при наданні послуг користувачам, який на відміну від відомих враховує мінімальний обсяг ресурсів, задіяних під сервіс;

- вперше розроблено ймовірнісну адаптивну модель кодеку, що на відміну від існуючих дозволяє спрогнозувати навантаження мережі, що буде використано сервісом;

- удосконалено відомий алгоритм транскодування й споживання процесорного часу, який на відміну від відомих враховує використання мінімального обсягу ресурсів, необхідних для функціонування конкретного сервісу;

- вперше розроблено методику проведення повного обліку процесорного часу, нормативних значень за якістю послуги, яка на відміну від відомих дозволяє отримати значення про завантаження ресурсів конкретним користувачем під час зайнятості його в мережі;

- удосконалено відомий алгоритм динамічного переконфігурування мережі, який на відміну від існуючих дозволяє визначити затрачений об'єм ресурсів, що використовується для забезпечення заданої надійності;

- вперше запропоновано складові елементи площини управління та їх функціональні моделі, вхідні та вихідні параметри, які на відміну від існуючих дозволять розробити систему збору й обліку інформації з мережеских рівнів мультисервісної макромережі в реальному часі;

- вперше розроблено методику розрахунку варіацій часу затримки пакетів в мультисервісній макромережі при наданні послуг користувачам, яка на відміну від

існуючих надає можливість здійснити вибір оптимального значення ваги черги, що призведе до мінімізації джитеру на черзі при обробці пакетів в мультисервісній мережі.

**Практична цінність отриманих результатів.** Тема дисертаційної роботи безпосередньо пов'язана з реалізацією сучасних систем управління в мережах зв'язку.

1. Модель адаптивного мультишвидкісного кодеку, що являє собою систему станів, в яких може знаходитися кодек, дозволяє оцінити у реальному часі ймовірність навантаження на мережу в залежності від зміни інтенсивностей переходу між станами. Результатом є отримання ймовірнісної картини переходу між станами кодеку для конкретного користувача.

2. Методика з визначення оптимального значення використання ресурсу для роботи кодеку (задаючи параметри функціонування системи у вигляді вимог до сервісу, а саме час затримки та ймовірність втрат пакетів) дозволяє отримати оптимальне значення завантаження ресурсу. А для користувача можливе отримання заданої якості сервісу за мінімально доступною вартістю.

3. Реалізація транскодеру, що використовує мінімальний обсяг ресурсів необхідних для функціонування конкретного сервісу з моделлю розрахунку оптимального завантаження мережі дозволяє на відміну від системи зв'язку, що побудована за принципом виділення заздалегідь фіксованого обсягу процесорного часу здійснити оптимальний розподіл мережевих ресурсів.

Для збільшення ймовірності достовірної передачі, яка є зворотною функцією величини втрат, необхідно збільшити продуктивність системи. Наприклад, виділення продуктивності, що витрачається для черги, відбувається фіксовано є не оптимальною і, при використанні кодеку, що працює на швидкості 4,75 кбіт/с, користувач буде платити стільки ж скільки і користувач, що працює на кодеку 12,2 кбіт/с. При цьому якість мовлення при роботі на кодеку 4,75 кбіт/с буде гірше, ніж на кодеку 12,2 кбіт/с.

4. Методика проведення повного обліку процесорного часу, нормативних значень за якістю послуги дозволяє отримати значення про завантаження ресурсів конкретним користувачем під час зайнятості його в мережі.

При встановленні вартості для використання конкретного сервісу, інтенсивність обробки (завантаження процесора) не повинна перевищувати певні значення. Тому основним завданням "Органу регулювання" є прийняття даних технічних показників, таких як ймовірність простою і час затримки, в відповідні нормативні документи, щоб дозволити розраховувати вартість сервісу незалежно від організації (оператор сервісу або провайдер), системи черг, що реалізуються на БС.

Використовуючи більш раціональні методи управління розподілом продуктивності, можна домогтися, з одного боку, виконання вимог, а з іншого боку - залишити вартість за ресурс на прийнятному рівні для користувача.

5. Алгоритм динамічного переконфігурування мережі на рівні ядра дозволяє визначити затрачений об'єм ресурсів, необхідний для забезпечення заданої надійності.

Основною проблемою є те, що існують вимоги на час відновлення лінії зв'язку, які становлять 50мс. Забезпечити даний час відновлення маршрутизатори рівня ядра не можуть, оскільки час збіжності (перерозрахунок усіх маршрутів) складає не менше 1,5 – 2 хвилини, що, в свою чергу, призводить до великої втрати даних. Тому організація захисного переключення здійснюється на фізичному рівні, а логічна архітектура ядра повинна бути організована так, щоб зміни при надходженні даних не призвели до змін маршрутів (перерозрахунок маршрутів).

6. Розроблено метод оцінки ефективності алгоритму динамічного переконфігурування мережі. Інтегроване рішення передбачає формування чіткого плану побудови маршрутів, які динамічно змінюються зі задалегідь складеним сценарієм й можливістю вироблення управляючих рішень на основі таблиць маршрутизації. Основою побудови логічного маршруту є алгоритми функціонування маршрутизаторів.

Для виміру якісних характеристик може служити система параметрів, яка має всебічно характеризувати розроблений алгоритм динамічного переконфігурування мережі. Наявність обґрунтованих параметрів є передумовою наступного дослідження факторів й умов, що визначають ці параметри та дозволяють знайти практичні підходи для ефективного застосування алгоритму в цілому та по його частинах.

Використання розробленого алгоритму динамічної переконфігурації мережі, що є модифікованим алгоритмом Дейкстри, дозволить на 25% збільшити надійність та живучість мережі при виникненні аварійних ситуацій під час надання послуг.

7. Розроблено методику розрахунку варіацій часу затримки пакетів в мережі, яка надає можливість здійснити вибір оптимального значення ваги черги, що призведе до мінімізації джитеру на черзі при обробці пакетів в мультисервісній макромережі. А також виконано задачу оцінювання ефективності методики розрахунку варіацій часу затримки пакетів в мережі, що передбачає два етапи: а) створення єдиної бальної системи пріоритетів експертів; б) одержання в цій шкалі кількісних оцінок показників функціонування порівнюваних варіантів.

8. Запропоновані складові елементи площини управління та їх функціональні моделі, вхідні та вихідні параметри, а саме визначені блоки: Ймовірнісна модель користувача даних – БІМКД; Блок управління транскодером – БУТ; Блок управління інтенсивностями – БУІ; Блок управління ресурсами маршрутизатору – БУРМ; Блок управління надійністю і живучістю – БУНіЖ; дозволили розробити модель системи управління розподілом ресурсів на основі збору й обліку інформації з мережевих рівнів мультисервісної макромережі.

Використання системи управління розподілом ресурсів мультисервісної макромережі дозволить оптимізувати за вартістю та ефективністю використання смуги пропускання на 15%, завдяки зменшенню ймовірності втрат пакетів при застосуванні операції рефреймування (розділ 2 даної дисертаційної роботи).

Основні результати роботи реалізовані у ПрАТ “Укртелеком” та під час науково-технічної та інноваційної діяльності Державного університету телекомунікацій у 2016 році.

**Методи досліджень, які використані в дисертаційній роботі.** Для вирішення поставлених наукових завдань використовуються аналітичні методи дослідження, системний синтез, методи структурно-функціонального, аналітичного та імітаційного моделювання, теорії ймовірності, теорії графів, теорії алгоритмів, основи теорії математичного моделювання, методи диференціального перетворення у напрямку побудови математичних моделей тощо.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.** Автор добре розуміє специфіку науково-прикладної проблеми, що розглядається у дисертації та точно формулює її постанову.

Здобувачем зроблений змістовний опис та проведений ретельний аналіз сучасного стану й основних тенденцій зміни навантаження на оператора сервісів що дозволило їй сформулювати актуальну науково-технічну проблему і часткові завдання дослідження та коректно визначити умови їх вирішення при проведенні дослідження.

Під час проведення досліджень автор спирається на відомі факти та наукові досягнення в обраній сфері, які отримані з використанням апробованого математичного апарату, який є адекватним моделі функціонування мультисервісної мережі при наданні послуг користувачам, що розглядається.

Розроблені автором практичні рекомендації ґрунтуються на розробленому ним науково-методичному апараті, який є достатньо чутливим для відповідних змін вихідних даних.

Відмічаю, що наукові положення та рекомендації, які сформульовані у висновках по всім п'яти розділам та загальних висновках зроблено науково обґрунтовано і логічно по результатам аналізу, узагальнення відомих та отриманих результатів, теоретичних досліджень, а також по результатам математичного моделювання на ЕОМ.

**Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами.** Обраний у роботі напрямок досліджень тісно пов'язаний з виконанням низки науково-дослідних робіт у реалізації яких брав участь автор.

Теоретичні і практичні положення дисертаційної роботи були використані та реалізовані в науково-дослідній роботі (0114U000757) "Система управління телекомунікаційною мережею" Державного університету телекомунікацій та в проектній роботі "Модернізація В6" ПрАТ "Укртелеком".

Результати дисертаційної роботи пропонуються для використання профільним науково-дослідними установам та галузевим підприємствам України при створенні перспективних, а також при удосконаленні існуючих систем управління.

**Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому, відповідність оформлення дисертації вимогам, затвердженим МОН України.**

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, описано наукову новизну й практичне значення одержаних результатів. Наведено відомості про впровадження результатів роботи, апробацію, особистий внесок здобувача та публікації.

У першому розділі проведено аналітичний огляд сучасного стану й основних тенденцій зміни навантаження на оператора сервісів. Визначено тенденції сьогодення, а саме запровадження сервісів MNP, IoT та сервісів віртуалізації з різкою зміною структури трафіку, що значною мірою вплине на ринок сучасних сервісів. Здійснено аналіз сучасного стану мереж зв'язку та визначені передумови створення мультисервісних макромереж, основні вимоги до мультисервісної макромережі, що спрямовані на збільшення в рази максимальної швидкості передачі даних та забезпечення гарантованої якості обслуговування для будь-яких видів сервісів:

- збільшення в рази максимальної швидкості передачі даних;
- забезпечення доступу в мережу Інтернет у будь-якій точці;
- перехід на хмарну інфраструктуру;
- використання масштабованої та економічної транспортної мережі;
- забезпечення гарантованої якості обслуговування для будь-яких видів сервісів.

Розглянуто основні сервіси мультисервісної макромережі, а саме "класичні" сервіси: передача голосу по мобільним мережам; сервіс VoIP через мобільну мережу оператора сервісів; сервіс IP-телефонія; сервіс IPTV; передача відео за запитом VoD по мобільних мережах; передача потокового відео за запитом VideoStream по мобільних мережах, а також сервіси віртуалізації: віртуалізація Desktop (стандартизоване віртуальне робоче місце); сервіс CRM (управління відносинами з клієнтами); сервіс ERP (система управління ресурсами компанії); сервіс Office 365 (програмний продукт, що поєднує набір веб-сервісів).

Сформульована науково-прикладна проблема дослідження - необхідність підвищення ефективності управління розподілом ресурсів мультисервісної

макромережі, що полягає у створенні методології ефективного управління розподілом ресурсів мультисервісної макромережі на основі запровадження системи збору й обліку інформації з мережевих рівнів у реальному часі.

**Другий розділ** присвячено оцінці впливу синхронізації на мережеві ресурси на рівнях доступу, агрегації та ядра мережі. У розділі проведено аналіз особливостей синхронізації сучасних транспортних мереж, що характеризуються використанням високошвидкісних систем передавання інформації на базі новітніх технологій. Розглянуто загальні властивості, основні принципи побудови й функціонування мереж синхронізації в мережах синхронної цифрової ієрархії та мережах пакетної технології IP/MPLS. Проведено вимірювання параметрів стабільності сигналів синхронізації в пакетних мережах.

**У третьому розділі** розроблено: математичної моделі адаптивного мультишвидкісного кодеку; методики з визначення оптимального значення ресурсу, необхідного для роботи кодеку; алгоритму транскодування, що використовує мінімальний обсяг ресурсів необхідних для функціонування конкретного сервісу; методики проведення повного обліку процесорного часу; алгоритму динамічного переконфігурування мережі; методики з визначення затраченого об'єму ресурсів, що використовується для забезпечення заданої надійності. Розроблено модель адаптивного мультишвидкісного кодеку (AMR – Adaptive Multi-Rate), що являє собою систему станів, в якому може знаходитися кодек та представляється у вигляді графу переходів між можливими з його станів. Відповідно до алгоритму роботи даного кодеку, він має можливість переходу між сусідніми чотирма станами, а також має стан при якому голос не передається (SID – пакети пауз).

**Четвертий розділ** присвячено оцінці ефективності розробленої методології управління розподілом ресурсів мультисервісної макромережі. У розділі розглянуто концепцію Traffic Engineering в IP/MPLS. Вирішено основні завдання теоретичного дослідження процесу передачі та маршрутизації пакетів в IP/MPLS мережі. Досліджено алгоритми побудови маршрутів в мережі IP/ MPLS та запропоновано алгоритм динамічного переконфігурування мережі маршрутизації для забезпечення необхідного рівню функціональної стійкості мультисервісної макромережі. Розроблено метод оцінки ефективності алгоритму динамічного переконфігурування мережі та розроблено методику розрахунку варіацій часу затримки пакетів в мережі



з використанням якої виконано задачу оцінювання ефективності методики розрахунку варіацій часу затримки пакетів в мережі.

У п'ятому розділі надано обґрунтування рекомендацій щодо практичного застосування запропонованої методології управління розподілом ресурсів мультисервісної макромережі при наданні послуг користувачам. Запропоновано функціональну модель системи управління ресурсами на базі розробленої методології управління розподілом ресурсів мультисервісної макромережі. Розроблено складові елементи площини управління та їх функціональні моделі, вхідні та вихідні параметри. Розроблено модель елемента мережі синхронізації та визначено алгоритм її роботи. Надано економічне обґрунтування запропонованої системи управління ресурсами.

В роботі розроблено категоріальний і понятійний апарат, що дозволяє мати єдине розуміння та формулювання понять. Запропоноване дозволяє перейти до формування Державного або галузевого стандарту та забезпечити спілкування та документообіг на єдиній понятійній (формалізованій) базі.

**Підтвердження повноти викладу основних результатів дисертації в наукових фахових виданнях.** Наукова новизна безсумнівна та достатня для докторської дисертації. Основні наукові і практичні результати, що отримані в ході дисертаційного дослідження, опубліковано з необхідною повнотою після захисту кандидатської дисертації в 33 наукових працях, з яких 10 одноосібні.

Всього опубліковано в наукових фахових виданнях, рекомендованих МОН України, 20 статей, з яких 2 у фахових виданнях, віднесених до наукометричних баз даних. Зроблено 11 доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях.

**Відповідність дисертації встановленим вимогам ДАК України.** Дисертаційна робота Федорової Наталії Володимирівни, що виконана на тему: „Методологія управління розподілом ресурсів мультисервісної макромережі при наданні послуг користувачам”, за оформленням відповідає вимогам ДАК України, що пред'являються до дисертаційних робіт. Дисертація написана сучасною науково-технічною мовою, послідовно, логічно.

**Ідентичність змісту автореферату й основних положень дисертації.** Зміст автореферату повністю відповідає змісту дисертаційної роботи та відображає основні положення, що виносяться на захист.

**Відповідність дисертаційної роботи спеціальності.** Дисертаційна робота Федорової Наталії Володимирівни на тему: „Методологія управління розподілом ресурсів мультисервісної макромережі при наданні послуг користувачам”, за змістом, обсягом та оформленням повністю відповідає спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

### **Зауваження до дисертаційної роботи**

1. Автором в роботі не розглянуто принцип управління розподілом ресурсів мультисервісної макромережі для сервісів віртуалізації, а саме DeskTop, CRM, ERP та Office 365.

2. Нажаль, автором в роботі не наведені співвідношення, використання яких дозволило б провести оцінку ефективностей моделей транскодерів:

- запропонованої, що використовує мінімальний обсяг ресурсів необхідних для функціонування конкретного сервісу;

- існуючої, що побудована за принципом виділення заздалегідь фіксованого обсягу процесорного часу.

3. В роботі не наведено принцип дії операції рефреймування згідно рис. 3.22, стор. 230.

4. В дисертаційній роботі доцільно було б провести порівняльний аналіз запропонованої методики розрахунку варіацій часу затримки пакетів в мережі з існуючими методиками (підрозділ 4.4, стор. 314).

5. В роботі не зазначено місце системи управління розподілом ресурсів мультисервісної макромережі при управлінні мережею на основі технології SDN (рис. 5.3, стор. 337).

6. В дисертаційній роботі доцільно було б показати місце запропонованої моделі елемента мережі синхронізації в структурній схемі системи управління розподілом ресурсів мультисервісної макромережі (підрозділ 5.2.2, стор. 349).

7. Інформація про впровадження результатів дисертаційної роботи вказана в загальному, не наведені номери актів впровадження та не надані їх копії.

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку та цінність дисертаційної роботи, так як робота має завершеність, положення, висновки і рекомендації науково обґрунтовані.

### **Висновки**

1. Дисертаційна робота Федорової Наталії Володимирівни, що виконана на тему: „Методологія управління розподілом ресурсів мультисервісної макромережі при наданні послуг користувачам”, за змістом є закінченим науковим дослідженням, у якому отримані нові наукові результати, важливі на сучасному стані для подальшого розвитку телекомунікаційних мереж цілком відповідає спеціальності 05.12.02 – телекомунікацій системи та мережі.

2. 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.

3. Автореферат дисертації повністю відповідає змісту дисертації.

4. Дисертаційна робота за актуальністю, науковою новизною та практичною цінністю відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету міністрів № 567 від 24 липня 2013 року (з останніми змінами від 07 липня 2016 року), а її автор – Федорова Наталія Володимирівна заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

### **Офіційний опонент**

доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник



Ю.І. ХЛАПОНІН

Підпис Хлапоніна Ю.І. засвідчую:

Секретар вченої Ради

Київського національного університету будівництва і архітектури



О.С. ПЕТРЕНКО