

## ВІДГУК

офіційного опонента, директора наукового центру

Державного університету телекомунікацій, кандидата технічних наук, професора Дробика Олександра Васильовича на дисертацію Якимчук Наталії Миколаївни «Методи боротьби з перевантаженнями телекомунікаційних мереж нових поколінь шляхом формування потоків різнорідного мережного трафіку», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

### **Актуальність теми дослідження.**

Для вирішення задач розподілу даних у мережі необхідно ефективно оцінювати роботу всіх компонентів мережі з урахуванням їх взаємозв'язків і взаємовпливу. На основі результатів такого аналізу розробляються методи оптимального управління мережним навантаженням.

Зміна технологій супроводжується закритістю характеристик мережного обладнання і, як результат, украй низькою ефективністю використання мережних ресурсів. При цьому не враховуються проблеми взаємодії апаратури, конфігурації, організації мережі і роботи користувачів.

Особливо гостро ці проблеми стоять в мережах з різнорідними даними аудіо+відео+дані+мобільні абоненти, де, окрім проблем оптимального управління мережею в цілому і контролю мережного трафіку зокрема, мають місце проблеми функціонування за наявності різноманітних завад, як правило, достатньо потужних. При зростанні частки мультимедійного трафіку реального часу критичною стає задача виявлення і усунення перевантажень вузлів мережі. Задача механізмів управління перевантаженнями заключається в тому, щоб підтримати кількість даних, що передаються мережею нижче рівня, при якому пропускна здатність мережі починає падати, шляхом перерозподілу ресурсів мережі з метою уникнення переповнення буферів приймачів і відповідно втрат пакетів даних. Найбільш вдалим рішенням таких проблем є розробка комбінованих методів, що базуються на взаємодії механізмів мережевого і транспортного рівнів. Крім того, в результаті необхідності урахування самоподібних властивостей мережного трафіку виникають проблеми модифікації відповідного математичного апарату для оцінювання ключових параметрів ефективності мережі.

Тема дисертації Н.М. Якимчук присвячена саме розробці методів управління якістю сервісу мережного обладнання з точністю, достатньою для використання у гетерогенних мережах. Безумовно, актуальність теми дисертації не викликає сумнівів.

## **Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.**

При проведенні досліджень застосовувалися відомі підходи та методи математичного аналізу й синтезу складних технічних систем. Використовувалися методи системного аналізу, теорії систем масового обслуговування, теорії ймовірності і математичної статистики, теорії телетрафіку, теорії оптимізації, моделювання та розрахунки на ЕОМ. У роботі використані теоретичні основи організації мереж з пакетною комутацією. Коректне використання методів досліджень та математичного апарату підтверджується результатами аналітичних доведень через математичні перетворення та комп'ютерне моделювання.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертаційне дослідження автора є самостійним, оригінальним, завершеним науковим дослідженням, у якому вирішено актуальне наукове завдання. Дисертація включає такі матеріали: зміст, список скорочень, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та додатки. Загальний об'єм дисертаційної роботи складає 160 сторінок з них: основна частина 116 сторінок, 42 рисунки, 2 таблиці. Список використаних джерел налічує 134 найменування.

У вступі міститься загальна характеристика роботи, обґрунтовано актуальність і новизна обраної теми дослідження, сформульовано мету і задачі роботи. Запропоновано методичку наукового дослідження, показано зв'язок роботи з науковими темами, планами та програмами. Сформульовано практичну цінність та наукову новизну отриманих результатів, наведено відомості про апробацію результатів і їх впровадження.

У першому розділі дисертаційної роботи проведено аналіз сучасного стану проблеми проектування, впровадження та застосування формувачів мережного трафіку і постановка задачі досліджень в області загальної проблеми моніторингу та аналізу телекомунікаційних мереж.

Показано, що надзвичайно важливим станом мережі (комп'ютерної, телекомунікаційної тощо) є стан перевантаження окремих мережних вузлів, маршрутів передавання даних, автономних мережних сегментів. Цей стан викликає зниження пропускної здатності мережі, збільшення часу проходження пакетів або їх втрату. Для виконання поставленого завдання необхідно вирішувати частинні задачі діагностики та управління якістю сервісу.

Для визначення стану справ в області оцінювання ключових параметрів ефективності телекомунікаційних мереж проаналізовано основні принципи їх побудови, мережні топології та структури. Досліджено математичні моделі мережного трафіку; особливу увагу приділено статистиці самоподібного

трафіку з повільно убуваючими часовими та частотними залежностями й імовірнісними розподілами з "важкими хвостами".

За результатами проведеного аналізу сформульовано завдання дослідження.

У другому розділі досліджуються методи моніторингу та аналізу мережного обладнання, що використовуються для розв'язання задач управління характеристиками мережі. Проаналізовано основні методи селекції перевантажень та відмов мережевих вузлів та вплив перевантажень на якість роботи мережі. Розглянуто використання інформаційного критерію для оцінки невизначеності стану мережі. Запропоновано ентропійний підхід до прогнозування та виявлення стану перевантажень та оцінки необхідного ресурсу для обміну даними. Проведено розрахунки ентропії параметрів трафіку для різних видів модельного розподілу. Побудовано узагальнену модель управління параметрами інформаційних потоків у телекомунікаційних мережах. У роботі запропонована математична модель алгоритму альтернативної маршрутизації, яка більш повно використовує ресурси мережі передачі даних в порівнянні з фіксованою маршрутизацією. Сформульовані спрощуючі припущення щодо початкових умов функціонування мережного сегменту з використанням диференційованих і інтегрованих послуг динамічного управління ресурсами мережі.

Розглянута задача розподілу потоків між локально-оптимальними або квазіоптимальними маршрутами в реальному часі. Доведено, що у разі, коли зростає навантаження, пакети починають розміщуватися в буферній пам'яті мережних вузлів, що приводить до затримок, причому рішення збільшення об'єму буферної пам'яті не приводить до поліпшення ситуації з перевантаженнями, а іноді може навіть погіршити її оскільки відбуваються повторні передачі пакетів, що дає додаткове навантаження на мережу. Також доведено, що вплив пропускної здатності каналу на відносний час передачі пакетів не враховується, оскільки пропускна здатність каналу є досить сталою величиною. Отже, основним інформативним параметром, за яким можна судити про завантаженість мережі, є час затримки пакету в буфері маршрутизатора.

У третьому розділі здійснена розробка методів ефективною маршрутизації та боротьби з перевантаженнями. При розробці методів керування врахована об'єктивна необхідність роздільної обробки трафіку не тільки з різними статистичними характеристиками, але і з принциповими відмінностями в структурі: трафіку "Triple Play" (мова + відео + дані), а потім "Quadruple Play" (мова + відео + дані + мобільні абоненти). Запропоновано метод управління параметрами і структурою формувача мережевого трафіку

з адаптивним механізмом управління специфікацією пакетів на основі дворозрядного вимірювання швидкості. Запропоновано методи адаптивного формування потоків мережного трафіку і способи настройки структур управління систем з непрямим зворотним зв'язком, які керують параметрами і структурою формувача. Показано, що при проходженні формувачів типу "маркерне відро" статистика трафіку перетворюється до виду квазідетермінованого потоку з майже постійним періодом слідування пакетів.

У четвертому розділі проведений аналіз ефективності розроблених методів та пристроїв формування трафіку телекомунікаційних мереж нових поколінь. Для оцінки продуктивності безпроводової телекомунікаційної мережі за умов передавання різноманітного трафіку (мова+відео+дані+мобільні абоненти) розроблена марківська модель управління запитами зі зворотним зв'язком по інтенсивності запитів. Виведені вирази для середнього числа поступаючих пакетів, розроблено загальний функціонал ефективності передачі з основними та додатковими ключовими мережними функціями.

Проведено кількісне визначення феномену черг очікування з використанням ключових параметрів ефективності, таких як середня довжина черги, середній час очікування в черзі та середній коефіцієнт використання мережі для різних моделей вхідного трафіку.

У роботі виконані розрахунки на основі комп'ютерного моделювання для отримання асимптотичних оцінок імовірності відмов, затримки передачі у залежності від потужності завад та інтенсивності трафіку. Обрано числові параметри моделі, запропоновано різні модифікації алгоритмів циклічного опитування (зі зворотним зв'язком та оптимізацією параметрів опитування тощо).

За результатами моделювання та розрахунків можна обирати раціональні параметри системи політунгу, забезпечуючи, таким чином, найважливіші показники якості сервісу – затримку доставки, варіації затримки, втрати та повторні передачі та ін.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

У процесі досліджень і моделювання в дисертаційній роботі отримані наступні наукові результати:

1. Удосконалено модель управління параметрами інформаційних потоків у телекомунікаційних мережах. На відміну від існуючих, запропоновану модель побудовано на підґрунті теорії марківських процесів, що дозволяє аналізувати потоки самоподібного трафіку з не гаусівськими імовірнісними розподілами, зокрема, розподілами з важкими хвостами (long-tale distributions).

2. Вперше розроблено алгоритм визначення перевантажень за інформаційним критерієм. В якості критерію пропонуємо використати апроксимовану ентропію параметрів часових рядів. Була розрахована залежність ентропії розподілів від імовірності успішної передачі даних одного із мережних вузлів. Показано вплив ентропії розподілу на потрібний ресурс для обміну даними.

3. Удосконалено метод адаптивного формування потоків мережного трафіку з непрямим зворотним зв'язком. Метод відрізняється від раніше запропонованих тим, що має принципово розширений вектор керуючих дій, внаслідок чого виключається потреба у додатковому каналі зворотного зв'язку.

4. Вперше розроблено метод оптимізації параметрів та структури формувача мережного трафіку з контролем довжин інтервалів перевищення рівнів параметрів потоку та введенням додаткового модуля прогнозування необхідного розміру буфера відповідно до змін інтенсивності надходження вхідних пакетів.

**Практичне значення** отриманих результатів полягає в тому, що:

1) Запропоновані в роботі моделі квазідетермінованого потоку легко алгоритмізуються та з задовільною точністю можуть використовуватися при розрахунках та моделюванні самоподібного мережевого трафіку. Вони засновуються на уповні логічних правилах імовірнісного оцінювання (зокрема, на правилі "трьох сігма"), що дозволяє отримувати практичні оцінки поточних характеристик квазідетермінованих потоків.

2) Розроблений алгоритм пошуку перевантажень з використанням апроксимованої ентропії часових рядів параметрів трафіку є універсальним і наочним, дозволяє ефективно здійснювати дослідження мереж, що працюють при високому навантаженні (при близьких до одиниці коефіцієнтах використання мережі, тобто на грані насичення). Використання методики при рівні граничного показника коефіцієнту використання дозволяє зафіксувати ризик перевантаження мінімум на 0,2 умовних одиниці часу (тобто на 20%) раніше, ніж при періодичному вимірюванні середнього розміру буфера мережевого вузла.

3) Запропонований метод адаптивного формування потоку трафіку дозволить підвищити ефективність управління перевантаженнями мережних вузлів, шляхом перетворення вхідного трафіку до виду квазідетермінованого. Показано зменшення швидкості наростання довжини черги заявок при зростанні коефіцієнта використання на третину у порівнянні з моделями M/M/1 та M/D/1. Запропоновані методи й алгоритми адаптації управління частотою генераторів маркерів просто реалізувати програмно чи апаратно.

4) Розроблений метод оптимізації параметрів та структури формувача мережного трафіку, на відміну від існуючих, дає додаткові можливості згладжування викидів самоподібного трафіку з мінімальними втратами користувальницької інформації. Використання предиктора Сміта зі степеневим згладжуванням природно узгоджується зі статистиками самоподібного трафіку, який має розподіли з "важкими хвостами". Спостерігається зменшення СКВ флуктуацій та інтервалу спадання частоти генератора маркерів до 25% у порівнянні із експоненціальним згладжуванням.

Методи теоретичних досліджень доведені до конкретних математичних виразів і обчислювальних програм. Результати теоретичних досліджень характеристик мережі доведені до конкретних аналітичних виразів. По цих виразах побудовані відповідні графіки для мереж різного масштабу і призначення. Теоретичні і практичні положення дисертаційної роботи знайшли практичне застосування в науково-дослідних роботах Українського науково-дослідного інституту зв'язку та навчальному процесі, що підтверджуються актами впровадження.

Проміжні та кінцеві результати дисертаційної роботи апробовані та отримали позитивну оцінку на семи науково-технічних конференціях та опубліковані в наукових фахових виданнях, що затверджені ДАК України у якості видань, в яких публікуються результати робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Структура, об'єм та оформлення дисертаційної роботи відповідають вимогам ДАК. За результатами аналізу списку використаних джерел можна зробити висновок про ретельний аналіз вітчизняних та зарубіжних джерел за обраною тематикою досліджень, визначення ролі та місця наукових надбань автора у галузі телекомунікаційних систем та мереж.

**Зауваження.** Відмітимо такі недоліки дисертації та автореферату.

1. У роботі було б доцільно навести аргументацію вибору протоколу SNMP для управління у вибраному типі мереж.

2. При виборі показників ефективності мережі обґрунтування зроблених уподобань не є досить докладним та переконливим.

3. Є певні сумніви у можливості практичної реалізації теоретично розроблених методів та процедур, зокрема, процедури багатошвидкісного формування трафіку.

4. Незрозуміло, як враховуються затримки реакції мережних вузлів на віддалених мережних сегментах.

5. У дисертації та авторефераті зустрічаються описки та помилки.

Зазначені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки представленого дисертаційного дослідження. Дисертаційне дослідження містить науково обґрунтовані теоретичні та практичні результати, характеризується єдністю змісту та логічністю викладу інформації, свідчить про вагомий особистий внесок автора.

### **Висновок**

1. Вважаю, що дисертаційна робота Якимчук Наталії Миколаївни «Методи боротьби з перевантаженнями телекомунікаційних мереж нових поколінь шляхом формування потоків різнорідного мережного трафіку» відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» від 24 липня 2013 р., постанова КМУ № 567, пункти 9, 11 – 13, та відповідає спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

2. Автореферат повністю відповідає змісту дисертації.

3. Автор – Якимчук Наталія Миколаївна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Офіційний опонент,  
директор наукового центру  
Державного університету телекомунікацій,  
к. т. н., професор

 О.В. Дробик

Підпис Дробика О.В. засвідчую:

*Директор з навчально-виховної та наукової роботи  
Державного університету телекомунікацій*



*Н.М. Беркман*