

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

АЛІ САЛЕМ АЛІ

УДК 621.391

**ПОТОКОВІ МОДЕЛІ ТА МЕТОД БАЛАНСУВАННЯ ЧЕРГ
НА МАРШРУТИЗАТОРАХ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ**

05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2012

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В сучасних мультисервісних телекомунікаційних мережах (ТКМ) все більша відповідальність за вирішення завдань щодо забезпечення наскрізного (end-to-end) якості обслуговування (Quality of Service, QoS) перекладається на засоби (механізми і протоколи) мережевого рівня еталонної моделі взаємодії відкритих систем (EMBVC). На мережевому рівні EMBVC вирішуються такі важливі мережні завдання системного характеру, як маршрутизація, розподіл і резервування каналного і буферного ресурсів ТКМ, які умовно об'єднані в комплекс завдань з управління трафіком. При цьому, числові значення таких показників QoS, як середня затримка, джиттер, рівень втрат пакетів багато в чому визначаються ефективністю управління чергами (буферним ресурсом) на маршрутизаторах ТКМ. Саме затримки, джиттер і втрати пакетів в чергах визначають найбільш критичний вплив на розбірливість мови, якість відео-зображення і т.ін.

Як показав проведений в роботі аналіз, засоби управління чергами мають відповідати таким вимогам:

- підтримка функцій диференційованого обслуговування пакетів;
- забезпечення гарантій щодо якості обслуговування пакетів різних потоків (класів);
- забезпечення справедливого обслуговування пакетів різних черг, недопущення переваження кожної окремої черги і мережного вузла в цілому;
- забезпечення динамічного перерахунку порядку обслуговування черг в залежності від завантаженості мережі, зміни характеристик трафіка і т.д.;
- реалізація рівномірної обробки всіх пакетів трафіка з однаковим пріоритетом;
- забезпечення високого рівня узгодженості функціонування з іншими засобами управління ресурсами мережі;
- простота практичної реалізації.

Однак не всі з перерахованих вимог в належній мірі враховані в існуючих механізмах (алгоритмах) обслуговування черг. Це проявляється, наприклад, в тому, що обслуговування черг практично не узгоджується з рішеннями інших завдань з управління трафіком (маршрутизації, обмеження довжини черги і ін.) Крім того, залишається автоматизованим лише процес опитування черг (round robin), а ось вирішення завдання щодо їх формування та визначення порядку проходження пакетів з черги в канал зв'язку (КЗ) все ще носять переважно статичний характер, тобто вирішуються адміністративно (вручну), що знижує оперативність управління, яке має здійснюватися в реальному масштабі часу.

Недоліки технологічних рішень визначили актуальність проведення додаткових наукових досліджень в області обслуговування черг на вузлах мережі. Наприклад, з метою врахування характеристик обслуговуваного трафіка необхідно використовувати саме потокові моделі (flow-based model), в рамках яких враховується також інтенсивність трафіка поряд з іншими важливими параметрами – довжиною пакета, його пріоритету і інші.

Крім того, при оптимізації управління трафіком в мережах MPLS (MultiProtocol Label Switching), які знаходять все більше застосування з причини впровадження концепції мереж наступного покоління NGN (Next Generation Network), важливу роль грає технологія інжині-

рингу трафіка (Traffic Engineering, TE). Реалізація принципів, закладених в Traffic Engineering, при управлінні різними мережними ресурсами (трафіком, чергами, пропускною здатністю каналів зв'язку і т.д.) на думку розробників даної технології повинно забезпечити зростання якості обслуговування в мережі в цілому. Це ґрунтується на тому, що в основу технології інжинірингу трафіка покладені ідеї балансування використання різнорідних мережних ресурсів – інформаційних, буферних та каналних. У зв'язку з цим заслуговує уваги підхід, заснований на балансуванні черг на принципах технології інжинірингу трафіка (Traffic Engineering Queues), запропонованого для управління чергами в MPLS-мережах.

У зв'язку з цим тематика цієї дисертаційної роботи, яка присвячена розв'язанню наукової задачі, пов'язаної з оптимізацією процесів управління чергами в мультисервісних ТКМ при забезпеченні узгодженого вирішення завдань щодо розподілу пакетів трафіка по чергах і їх диференційованого обслуговування шляхом розробки відповідних математичних моделей і методів для підвищення якості обслуговування в ТКМ в цілому, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана згідно з вимогами положень «Основних принципів розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки», «Концепції конвергенції телефонних мереж і мереж з пакетною комутацією в Україні», «Концепції національної інформаційної політики» та «Концепції Національної програми інформатизації». Результати роботи реалізовані при виконанні науково-дослідної роботи № 235-1 «Методи проектування телекомунікаційних мереж NGN та управління їх ресурсами» (№ ДР 0109U000662), де автор виступав співвиконавцем. Запропоновані в роботі поточкові моделі та методи балансування черг використано у навчальному процесі кафедри телекомунікаційних систем ХНУРЕ. Впровадження результатів дисертаційної роботи підтверджено відповідними актами.

Метою досліджень є підвищення якості обслуговування на основі удосконалення засобів управління чергами на маршрутизаторах мультисервісних ТКС.

У ході розв'язання поставленої наукової задачі сформульовано та вирішено наступні завдання дослідження:

- аналіз сучасного стану рішень завдань з управління чергами на маршрутизаторах мультисервісних ТКМ;
- огляд відомих математичних моделей і методів управління чергами на маршрутизаторах мультисервісних ТКМ;
- розробка поточкових моделей і методу балансування черг на маршрутизаторах мультисервісних ТКМ;
- дослідження ефективності запропонованих у дисертації рішень і розробка рекомендацій щодо їх практичного використання в сучасних і перспективних мультисервісних ТКМ.

Об'єкт дослідження: процес управління чергами на маршрутизаторах мультисервісних телекомунікаційних мереж.

Предмет дослідження: моделі та метод балансування черг на маршрутизаторах мультисервісних телекомунікаційних мереж.

Методи дослідження. В роботі знайшли своє застосування аналітичні методи дослідження, а також методи лабораторного експерименту. При розробці поточкових моделей і

методу балансування черг на маршрутизаторах мультисервісних ТКМ був використаний апарат теорії множин та математичного (лінійного, нелінійного, змішаного) програмування. Для перевірки адекватності розроблених потокових моделей і дослідження ефективності одержуваних на їх основі рішень використовувалися методи лабораторного експерименту.

Наукова новизна отриманих результатів. Під час розв'язання наукової задачі були отримані наступні нові наукові результати:

1. В роботі отримала подальший розвиток потокова модель динамічного управління чергами на основі метрик обслуговування на маршрутизаторах мультисервісної мережі. Новизна моделі полягає у забезпеченні динамічного і узгодженого управління чергами і пропускну здатністю каналу зв'язку в ТКМ, що дозволило поліпшити якість обслуговування за показниками середньої затримки і втрат пакетів.

2. Удосконалено потокову модель балансування черг на маршрутизаторах мультисервісної ТКМ за критерієм мінімізації їх коефіцієнта завантаженості. Новизна моделі полягає в тому, що в якості критерію оптимальності був обраний мінімум верхнього динамічно керованого порогу завантаженості черг на інтерфейсі маршрутизатора по трафіку, що дозволило поліпшити якість балансування черг в цілому.

3. Удосконалено потокову модель балансування черг на маршрутизаторах мультисервісної ТКМ за критерієм мінімізації їх довжини. Новизна моделі полягає в тому, що вона на відміну від раніше відомих рішень забезпечує більш диференційоване балансування черг на інтерфейсі маршрутизатора на основі мінімізації довжин черг, зважених щодо пріоритету та розміру пакетів, що утворюють ту чи іншу чергу.

4. Удосконалено метод адаптивного балансування черг на маршрутизаторах мультисервісної ТКМ. Новизна методу полягає в тому, що в ньому забезпечується адаптивний вибір стратегій балансування, заснованих на запропонованих в роботі моделях, з урахуванням завантаженості черг і вимог щодо якості обслуговування.

Обґрунтованість та достовірність нових наукових результатів, отриманих в даній дисертаційній роботі, підтверджувалася допустимою збіжністю результатів аналітичного моделювання та лабораторного експерименту; коректним прийняттям необхідних допущень і наближень; збігом в окремих випадках з раніше відомими результатами; використанням положень добре апробованого математичного апарату – теорії множин, математичного програмування, а також чіткою фізичною інтерпретацією отриманих результатів дослідження.

Наукове значення результатів роботи полягає у подальшому розвитку елементів теорії та методів управління трафіком в ТКМ шляхом розробки або удосконалення відповідних потокових моделей балансування черг на маршрутизаторах мультисервісної мережі. Використання розроблених моделей дозволило забезпечити динамічний характер і більшу узгодженість у вирішенні завдань управління чергами (буферним ресурсом) і пропускну здатністю каналу зв'язку (канальний ресурс) в ТКМ.

Практичне значення результатів роботи полягає у можливості використання запропонованих потокових моделей і методу при розробці нових технологічних засобів (механізмів) управління чергами, що реалізують функції обслуговування черг на інтерфейсах маршрутизаторів і розподілу за ними пропускну здатності вихідних каналів зв'язку. Особливо

актуальними, у цьому зв'язку, є завдання, пов'язані з реалізацією принципів Traffic Engineering Queues в MPLS-мережах на основі практичної реалізації запропонованих моделей балансування черг. Крім того, результати дисертації використані в ході виконання науково-дослідної роботи № 235-1 «Методи проектування телекомунікаційних мереж NGN та управління їх ресурсами» (№ ДР 0109U000662), у якій автор виступав співвиконавцем. Матеріали дисертаційної роботи також використані в навчальному процесі кафедри телекомунікаційних систем ХНУРЕ, в дисциплінах «Управління та маршрутизація в ТКС», «Системи розподілу інформації, частина 2».

Особистий вклад здобувача. Всі основні наукові результати, висвітлені в дисертаційній роботі, здобувач отримав самостійно. Крім того, в роботі [1] автором запропонована потокова модель динамічного управління чергами на основі метрик обслуговування на маршрутизаторах мультисервісної мережі, а також спосіб зниження розмірності задачі з управління чергами; в статті [2] здобувачем проведено аналіз можливостей засобів багатошляхової маршрутизації при управлінні трафіком в MPLS-мережі за підтримки технології Traffic Engineering; в публікації [3] автором запропонована потокова модель балансування довжин черг на маршрутизаторах мультисервісної ТКС з урахуванням пріоритету та розміру пакетів, що утворюють ту чи іншу чергу; в роботі [4] автором запропонована потокова модель балансування завантаженості черг на маршрутизаторах мультисервісної ТКС з мінімізацією верхнього динамічно керованого порога завантаженості черг на інтерфейсі маршрутизатора по трафіку, а також отримано результати порівняльного аналізу різних моделей управління чергами.

Апробація основних положень дисертаційної роботи проводилася в ході шести наукових конференцій та чотирьох форумів, а саме на XIII, XIV, XV Міжнародних молодіжних форумах «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті» (2009-2011 рр., м. Харків, ХНУРЕ); VIII Міжнародній науково-технічній конференції «Перспективные технологии в средствах передачи информации – ПТСПИ'2009» (2009 р., м. Володимир, ВлДУ); Міжнародній конференції «Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the international Conference TCSET'2010 »(2010 р., м. Львів-Славське, Національний університет «Львівська політехніка»); науково-технічній конференції з міжнародною участю «Комп'ютерне моделювання в наукомістких технологіях – КМНТ-2010 »(2010 р., м. Харків, ХНУ ім. В.Н. Каразіна); науково-практичній конференції "Сучасні проблеми телекомунікацій – 2010» (2010 р., м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка»); 11-й Міжнародній конференції «The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics» (2011 р., м. Львів-Поляна, Національний університет «Львівська політехніка»); VII Міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні інформаційно-комунікаційні технології" – SOMINFO'2011 -Livadia (2011 р., Крим-Ялта-Лівадія: ДУІКТ); 4-му Міжнародному радіоелектронному форумі «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» - МРФ-2011 (2011 р., м. Харків, АНПРЕ, ХНУРЕ).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи викладені в 14 наукових працях, з них 4 статті опубліковані в спеціалізованих виданнях, затверджених ВАК України. Крім того, результати досліджень опубліковані в десяти тезах доповідей на наукових конференціях, симпозиумах та форумах.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу та чотирьох розділів. Загальний обсяг роботи становить 140 сторінок, у тому числі 130 сторінки основного тексту, 20 рисунків, 7 таблиць усього на 10 сторінках. Список використаних джерел містить 90 найменувань, викладених на 10 сторінках.

ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розкрито основний зміст та загальний стан проблеми та окремих задач щодо управління чергами на маршрутизаторах мультисервісних ТКМ, обґрунтовано актуальність теми дослідження, зазначено зв'язок роботи з науковими програмами і темами, сформульовано мету та задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, розкрито наукову новизну та практичне значення отриманих у дисертаційній роботі результатів.

У **першому розділі** проведено аналіз існуючих технологій, окремих протоколів і механізмів управління трафіком. Показано, що вирішення завдань щодо забезпечення якості обслуговування в сучасних мультисервісних ТКМ, що розвиваються відповідно до парадигми побудови NGN, багато в чому визначається ефективністю вирішення саме завдань з управління чергами. Саме рівень цих рішень обумовлює чисельні значення таких важливих показників QoS, як середня затримка, джиттер і відсоток втрачених пакетів.

З'ясовано, що в умовах гетерогенності і територіальної розподіленості сучасних телекомунікаційних мереж з огляду високої масштабованості саме архітектурна модель DiffServ (Differentiated Services), заснована на пріоритетній обробці пакетів на мережевих вузлах-маршрутизаторах, отримала найбільше поширення. На жаль, вирішення багатьох мережних завдань в рамках моделі DiffServ все ще носить статичний характер і нерідко пов'язане з адміністративним втручанням людини. Як правило, пріоритети пакетам присвоюються на приграничних вузлах і надалі практично не змінюються, а кількість черг і закріплена за ними пропускна здатність вихідного каналу зв'язку може визначатися вручну адміністратором мережі в ході конфігурування мережного обладнання.

Встановлено, що інерційність і низька узгодженість в рішеннях задач формування черг, їх обслуговування і розподілу каналного ресурсу між чергами тягнуть за собою необхідність перегляду закладених у відповідні механізми і протоколи схем і математичних моделей з метою реалізації динамічних стратегій управління, здатних адаптивно підлаштовуватися під зміни стану мережі та окремих мережних вузлів – інтенсивності і пріоритету трафіка, що надходить на обслуговування, завантаженості каналних і буферних ресурсів ТКМ.

На основі проведеного аналізу сформульовано ряд вимог до перспективних засобів управління чергами, до числа яких, перш за все, відносяться підтримка функцій диференційованого обслуговування пакетів, забезпечення гарантій щодо якості обслуговування пакетів різних потоків (класів), забезпечення справедливого обслуговування пакетів різних черг, недопущення перервантаження кожної окремої черги і мережного вузла в цілому, забезпечення динамічного перерахунку порядку використання черг в залежності від завантаженості мережі, зміни характеристик трафіка і т.д.; реалізація рівномірної обробки всіх пакетів трафіка з однаковим пріоритетом, забезпечення високого рівня узгодженості функціонування з іншими засобами управління ресурсами мережі; простота практичної реалізації.

Встановлено, що задоволення перерахованих вимог може бути забезпечене лише завдяки використанню потоково-орієнтованих рішень, заснованих на балансуванні завантаженості доступних мережесих ресурсів і, перш за все, буферного простору (черг) маршрутизаторів мульти-сервісних ТКМ. У зв'язку з цим обґрунтована до вирішення в даній роботі наукова задача, яка пов'язана з оптимізацією процесів управління чергами в мультисервісних ТКМ при забезпеченні узгодженого вирішення завдань розподілу пакетів трафіка за чергами і їх диференційованого обслуговування шляхом розробки відповідних математичних моделей і методів для підвищення якості обслуговування в ТКМ в цілому. Проведена декомпозиція сформульованої наукової задачі на окремі задачі дослідження.

У **другому розділі** проведено аналіз основних підходів до математичного моделювання процесів управління чергами на маршрутизаторах телекомунікаційної мережі. Огляд стосувався, перш за все, поточних моделей управління чергами, представлених алгебраїчними рівняннями; динамічних моделей балансування черг, представлених диференційно-різницевиими рівняннями у просторі станів; моделей управління чергами, представлених інтегральними рівняннями Вольтерра другого роду, а також тензорних моделей управління чергами. Завдяки необхідності пошуку компромісного підходу до моделювання процесів управління чергами, що поєднує повноту опису (адекватність) і прийнятну складність аналізу одержуваної моделі, обґрунтовано вибір на вдосконаленні поточних моделей, представлених алгебраїчними рівняннями стану – завантаженості черг на маршрутизаторах мультисервісної ТКС. Їх використання дозволяє отримати шукані ефективні рішення з прийнятною складністю розрахунків у порівнянні з іншими підходами.

В рамках поточного моделювання ТКС розглянуто підхід до динамічного і, що важливо, погодженого управління чергами (буферним ресурсом) і пропускною здатністю каналу зв'язку (канальний ресурс) в ТКС. Динамічний характер рішень досягався за рахунок адаптивного перерахунку порядку використання буферного ресурсу мережесих вузлів в залежності від зміни вимог до якості обслуговування, інтенсивності трафіка, що надходить на вузол, кількості підтримуваних черг, пропускної здатності вихідних каналів зв'язку. У рамках моделі кількість пріоритетів (класів) трафіків M визначалась особливістю підтримуваного на приграничних вузлах методу маркування (IP DSCP, IP Precedence, MPLS EXP bits, ATM CLP-bit, Frame-Relay DE-bit, IEEE 802.1Q/p user-priority bits и др.). Загальне число пріоритетів визначається числом виділених для цієї мети бітів в заголовку пакета тієї чи іншої технології. Наприклад, у разі використання трибітового поля IP Precedence при призначенні пріоритетів підтримується маркування до восьми класів трафіка ($M = 8$), а при використанні шести біт коду диференційованої послуги (Differentiated Services Code Point, DSCP) число класів трафіка було шістдесят чотири ($M = 64$).

Крім того, вважалось, що кількість черг на мережному вузлі (маршрутизаторі) фіксована (N) або призначається адміністративно і, в загальному випадку, не перевищує кількості класів підтримуваних мережею трафіків. Наприклад, для алгоритму замовного (звичайного) обслуговування (Custom Queuing, CQ) загальне число черг дорівнює сімнадцяти ($N = 17$), в алгоритмі пріоритетного обслуговування (Priority Queuing, PQ) може бути виділено до чоти-

рьох черг високого, середнього, нормального і низького пріоритету ($N=4$), а в алгоритмі зваженого справедливого обслуговування (Weighted Fair Queuing, WFQ) за замовчуванням число черг дорівнює 256.

В запропонованій моделі через a_i ($i = \overline{1, M}$) позначено інтенсивність трафіка i -го класу, що надходить на фізичний інтерфейс маршрутизатора. Крім того, приймалось, що b_j ($j = \overline{1, N}$) – частина пропускної здатності вихідного каналу зв'язку, яка динамічно виділяється для передачі пакетів з j -ї черги ($j = \overline{1, N}$). При цьому необхідно забезпечити виконання умови

$$\sum_{j=1}^N b_j \leq b, \quad (1)$$

де b – пропускна здатність вихідного каналу зв'язку.

З метою запобігання перевантаження маршрутизатора і мережі в цілому необхідно було забезпечити виконання наступних умов:

$$\sum_{i=1}^M a_i \leq b. \quad (2)$$

Виконання умов (2) забезпечується, насамперед, за рахунок ефективної маршрутизації трафіка в мережі, в іншому випадку – шляхом використання алгоритмів довільного раннього виявлення перевантаження та обмеження довжини черги RED і WRED.

Якщо у відомих алгоритмах обслуговування черг порядок розподілу пакетів того чи іншого трафіка в черзі мережного вузла, як правило, строго фіксований, тобто носить статичний характер, то надати динамічного характеру цьому процесу вдалося в запропонованій моделі за рахунок введення змінної x_{ij} , під якою розумілась інтенсивність i -го трафіка, який буде направлений для обслуговування в j -ту чергу. Згідно з фізичним змістом змінної x_{ij} мають місце такі додаткові умови:

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = \overline{1, M}, j = \overline{1, N}), \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = a_i \quad (i = \overline{1, M}) \quad (4)$$

і відповідно до виразу (2)

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ij} \leq b. \quad (5)$$

Виконання умови (5) гарантує відсутність втрат пакетів на мережних вузлах. Умови (4) вводяться для запобігання перевантаження черг мережного вузла за пропускною здатністю (за потоком) у процесі управління.

На відміну від відомих рішень як шуканий виберемо вектор

$$\vec{x} = \begin{bmatrix} x_{1,1} \\ x_{1,2} \\ \vdots \\ x_{M,N} \end{bmatrix} \quad (i = \overline{1, M}; j = \overline{1, N}), \quad (6)$$

розрахунок якого проводився в ході розв'язання оптимізаційної задачі по мінімізації функції

$$T(x) = \bar{c}^t \bar{x}, \quad (7)$$

яка характеризувала сумарну вартість обслуговування пакетів на маршрутизаторі при тому, що вектор питомих вартостей обслуговування пакетів мав вигляд

$$\bar{c} = \begin{bmatrix} c_{1,1} \\ c_{1,2} \\ \vdots \\ c_{M,N} \end{bmatrix},$$

де $c_{i,j}$ – питома вартість обслуговування пакетів i -го класу (пріоритету) j -ю чергою. В сформульованій оптимізаційній задачі цільова функція (7) характеризувала сумарні витрати на управління чергами, а вагові коефіцієнти цільової функції трактувалися як метрики обслуговування тієї чи іншої черги. Показано, що варіюючи числовими значеннями координат вектора \bar{c} , можна змодельовати ту чи іншу дисципліну пріоритетного обслуговування пакетів.

Оптимізаційна задача, пов'язана з мінімізацією лінійної цільової функції (7) при наявності лінійних обмежень (2)-(5), розв'язувалась відомими методами лінійного програмування. Причому, за результатами рішення сформульованої задачі можна розрахувати величину пропускнуої здатності вихідного мережного вузла каналу зв'язку, яка динамічно виділяється для передачі пакетів з j -ї черги:

$$b_j = \sum_{i=1}^M x_{ij} \quad (j = \overline{1, N}). \quad (8)$$

Таким чином, в рамках запропонованої моделі технологічна задача з управління чергами була зведена до оптимізаційної задачі лінійного програмування.

Дослідження моделі (1)-(8) показали (рис. 1), що в її рамках завантажувалась перш за все черга з мінімальною метрикою аж до її повного перевантаженні, потім починалась завантажуватися інша черга, у якої метрика використання дещо більша.

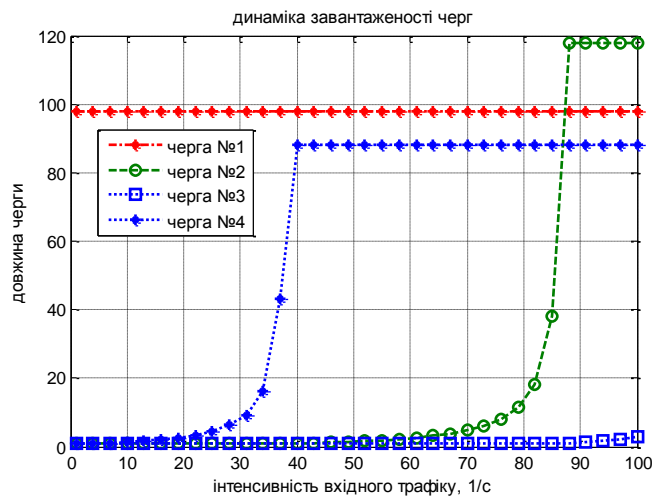


Рис. 1. Динаміка зміни завантаженості черг в моделі (1)-(8)

Задача (7) мала менш високу розмірність, ніж раніше відомі подібні моделі (рис. 2), що особливо характерно при збільшенні числа черг, що підтримувалися на інтерфейсі маршрутизатора. На рис. 2 представлені співвідношення розмірності відомої та запропонованої моделей для випадків обслуговування певного класу трафіка тільки однією чергою (рис. 2 а), одночасно двома (рис. 2 б) і трьома (рис. 2 в) чергами.

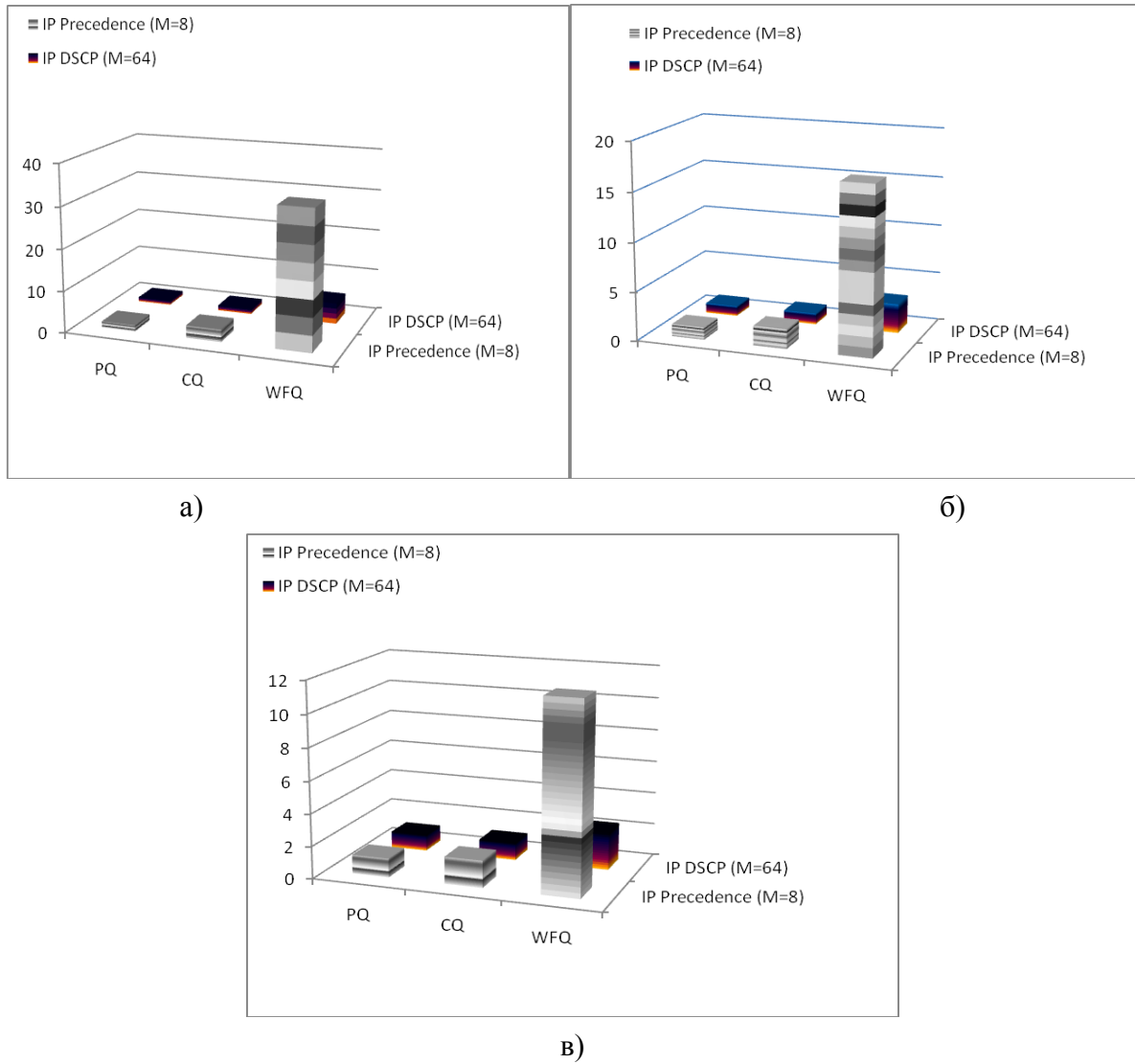


Рис. 2. Виграш в розмірності оптимізаційної задачі з управління чергами

У **третьому розділі** запропоновано дві моделі балансування черг на маршрутизаторах мультисервісної мережі. Перша модель заснована на розрахунку змінних y_{ij} , під якою розумілась доля інтенсивності i -го трафіка, який буде направлений для обслуговування в j -ту чергу. На відміну від моделі, запропонованої в другому розділі, керовані змінні мали булеву природу:

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad (i = \overline{1, M}, j = \overline{1, N}). \quad (9)$$

Тоді з врахуванням (9) умова щодо запобігання втрат пакетів на інтерфейсі маршрутизатора мала наступний вид:

$$\sum_{j=1}^N y_{ij} = 1 \quad (i = \overline{1, M}). \quad (10)$$

Перша модель балансування черг (9)-(10) була доповнена умовою запобігання перевантаження черг за пропускною здатністю (за потоком):

$$\sum_{i=1}^M y_{ij} a_i \leq \alpha \cdot b_j \quad (j = \overline{1, N}), \quad (11)$$

представляючи собою видозмінену форму (5), за мови, що порядок закріплення пропускної здатності каналу зв'язку (b_j) на чергами відомий. У виразі (11) параметр α характеризував верхній динамічно керований поріг завантаженості черг маршрутизатора по потоку. Зважаючи на перегляд умови запобігання перевантаження черги за пропускною здатністю (11) змінено і критерій оптимальності одержуваних рішень, у якості якого виступав вираз

$$\min_{y, \alpha} \alpha. \quad (12)$$

Задача з мінімізації (12) відносилась до задачі змішаного цілочисельного лінійного програмування. В ході дослідження моделі (9)-(12) встановлено, що вона більшою мірою відповідає вимогам концепції Traffic Engineering Queues, тому що всі черги з ростом інтенсивності потоку (трафіка), що надходить, завантажувалися збалансовано (рис. 3 а), а динамічно керований верхній поріг завантаженості черг по трафіку зростав лінійно (рис. 3 б).

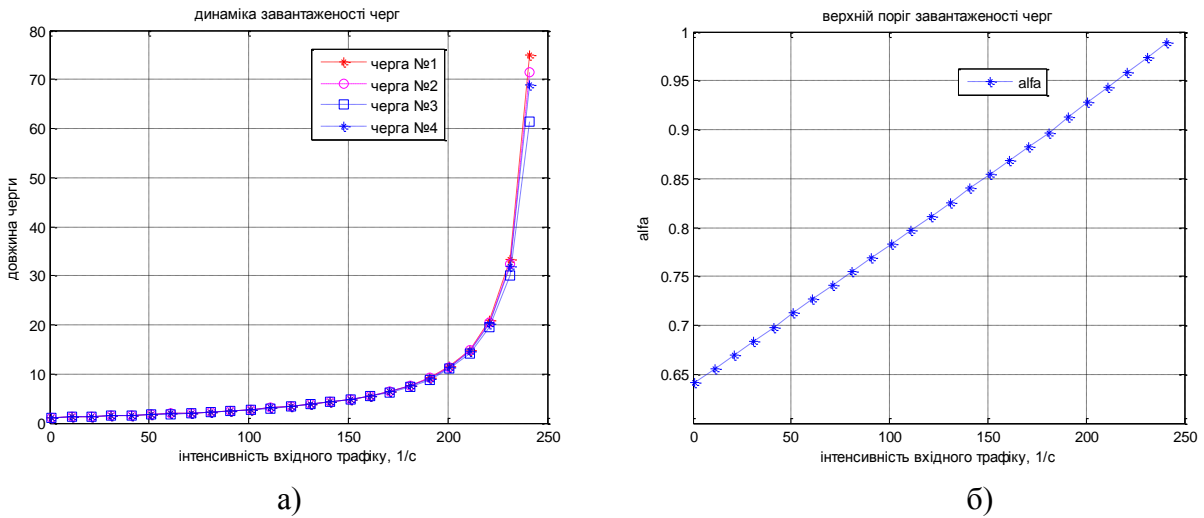


Рис. 3. Результати дослідження моделі (9)-(12)

В другій моделі балансування черг, яка запропонована в третьому розділі, розвивається підхід, описаний в рамках моделі (9)-(12), але пропонується доповнити модель умовами відсутності перевантаження маршрутизатора за довжиною черги

$$\bar{n}_j \leq n_j^{\max} \quad (j = \overline{1, N}), \quad (13)$$

де \bar{n}_j і n_j^{\max} – значення середньої поточної та максимально можливої довжин j -ї черги.

Встановлено, що середня довжина черги нелінійно залежить від співвідношення інтенсивності потоку до величини пропускної здатності каналу зв'язку, виділеної для обслуговування пакетів з даної черги, тобто від параметра $\rho = \sum_{i=1}^M a_i y_{ij} / b_j$.

Наприклад, моделюючи процес обслуговування каналом зв'язку пакетів системою масового обслуговування $M/M/1/n^{\max}$, маємо

$$\bar{n} = \frac{\rho^2 \left[1 - (n^{\max} + 1)\rho^{n^{\max}} + n^{\max} \rho^{n^{\max}+1} \right]}{(1 - \rho^{n^{\max}+2})(1 - \rho)} - \rho. \quad (14)$$

З метою більш повної відповідності одержуваних рішень принципам концепції Traffic Engineering Queues, що стосуються забезпечення збалансованого завантаження буферних ресурсів, умова (13) приведена до форми

$$\frac{p_j}{v \cdot d_j} \cdot \bar{n}_j \leq \beta \cdot n_j^{\max} \quad (j = \overline{1, N}), \quad (15)$$

де p_j і d_j – відповідно величина пріоритету і довжина пакетів з j -й черги; v – деякий нормувальний коефіцієнт, який повинен згладжувати відмінність в порядку значень пріоритету ($0 \div 7$) і довжини пакету в байтах; β – верхній динамічно керований поріг довжин черг.

Введення умови (15) з одночасною відмовою від умов (11) призвело до зміни критерію оптимальності

$$\min_{y, b, \beta} \beta, \quad (16)$$

що відповідає мінімізації верхнього порогу довжин черг на маршрутизаторі ТКС, зваженого щодо таких характеристик потоку, як довжина пакета і його пріоритет. На відміну від моделі (9)-(12) в рамках даної моделі пропонується погоджено розраховувати як змінні y_{ij} , так і змінні b_j , що забезпечує максимальну погодженість у розв'язанні задач щодо формування (заповнення) черг та визначення порядку проходження пакетів з черги в канал зв'язку, тобто закріплення за кожною з черг визначеної частки пропускної здатності КЗ.

Результати дослідження моделі (9), (10), (13)-(16) підтвердили її переваги щодо якості балансування черг з врахуванням пріоритету та довжини пакетів (рис. 4), так як черга №3 з більш пріоритетними пакетами обслуговувалася краще за інші.

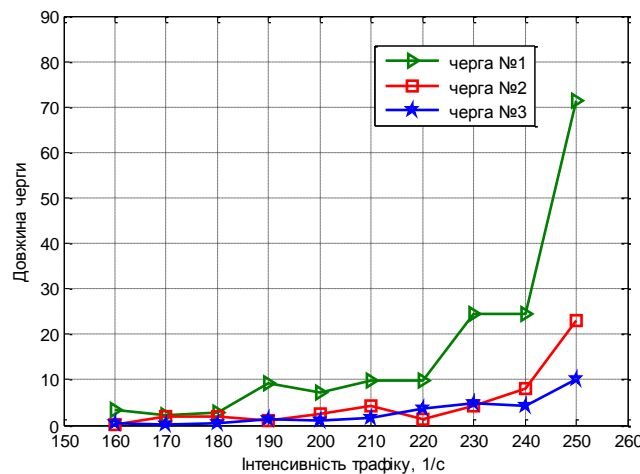


Рис. 4. Результати дослідження моделі (9), (10), (13)-(16)

У третьому розділі також запропоновано метод балансування черг на маршрутизаторах мультисервісної мережі, в основу якого покладено описані вище моделі балансування черг. У рамках методу пропонується реалізувати ієрархічні черги, причому на верхньому рівні класифікація та розподіл трафіка за чергами здійснюється на підставі моделі (1)-(8). Результатом роботи засобів управління чергами верхнього рівня є також розподіл пропускної здатності вихідного каналу зв'язку за класами трафіка, що обслуговується в цих чергах. На нижньому рівні в умовах невисокої завантаженості фізичного інтерфейсу та (або) різномірності вимог щодо диференціації обслуговування в рамках кожної з черг верхнього рівня організуються додаткові черги, які балансуються на підставі моделі (9)-(12). При зростанні завантаженості фізичного інтерфейсу та (або) різномірності трафіка за пріоритетами в рамках методу здійснюється адаптація стратегій балансування з переходом до моделі (9), (10), (13)-(16), в рамках якої, по-перше, враховується довжина та пріоритет пакетів того чи іншого трафіка, по-друге, в явному вигляді присутні умови відсутності перевантаження черг за їх довжиною. Реалізація методу дозволить адаптивно обирати стратегії балансування в залежності від завантаженості фізичного інтерфейсу та різномірності (за пріоритетом та довжиною) трафіка, що надходить на цей інтерфейс, що сприяє покращенню якості обслуговування в ТКМ в цілому.

У **четвертому розділі** проведено аналіз ефективності рішень, запропонованих у роботі, за допомогою засобів лабораторного експерименту. Здобувачем використана методика проведення експерименту для дослідження процесів управління чергами, яка запропонована та апробована на кафедрі телекомунікаційних систем ХНУРЕ. Для генерування трафіка, що передається в мережі, використовувався пакет навантажувального тестування D-ITG. В якості механізму управління чергами для перевірки результатів математичного моделювання був обраний механізм CBWFQ.

На основі результатів лабораторного експерименту перевірена адекватність і достовірність результатів, одержуваних за допомогою математичних моделей та методу балансування черг, запропонованих у роботі. В результаті проведеного порівняння спостерігалися низькі значення відхилення середньої затримки передачі пакетів (близько 3 %) в області низьких і високих навантажень на маршрутизатор. Це обумовлено відсутністю динамічного характеру зміни довжини черги на маршрутизаторі, так як при низьких навантаженнях черги на інтерфейсі не виникають, а при високих – буфер маршрутизатора майже переповнений. В області ж середніх навантажень на фізичному інтерфейсі маршрутизатора в результаті динамічної зміни середньої довжини черги спостерігаються основні розбіжності в значеннях середньої затримки (до 10-12 %), отриманих при математичному моделюванні та в ході лабораторного експерименту (рис. 5).

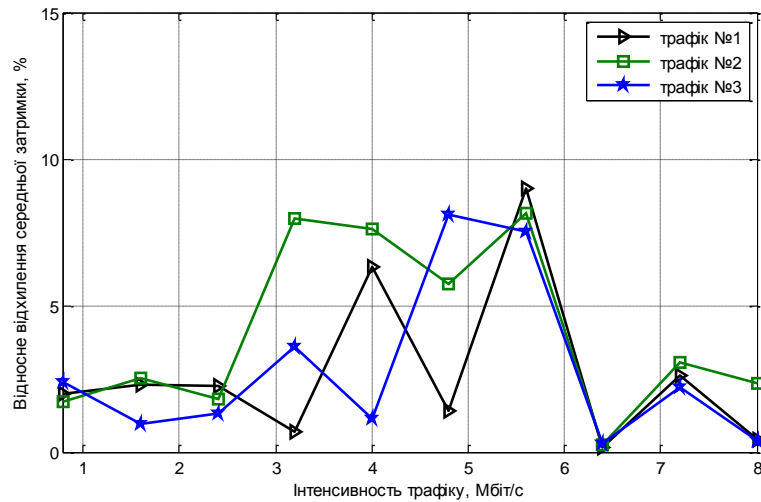


Рис. 5. Порівняння результатів математичного моделювання та лабораторного експерименту

В ході проведення лабораторного експерименту встановлено, що використання розроблених моделей і методів балансування черг на маршрутизаторах мультисервісних ТКМ дозволяє покращити ключові показники якості обслуговування, особливо в умовах середньої і високої завантаженості ТКМ різномірним трафіком, переданим за маршрутами з числом переприємів 3 і більше. У розділі розроблено рекомендації щодо практичної реалізації результатів роботи, в основу яких покладені підсумки експериментального дослідження вдосконалених моделей і методів управління чергами на маршрутизаторах в мультисервісних ТКМ. Запропоновані моделі і метод управління чергами в ТКМ можуть бути використані при практичній реалізації концепції Traffic Engineering Queues в MPLS-мережах.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В дисертаційній роботі розв'язана *актуальна науково-прикладна задача*, яка пов'язана з оптимізацією процесів управління чергами в мультисервісних ТКМ при забезпеченні узгодженого вирішення завдань щодо розподілу пакетів трафіка за чергами та їх диференційованого обслуговування шляхом розробки відповідних математичних моделей і методів для підвищення якості обслуговування в ТКМ в цілому. За результатами рішення поставленої прикладної задачі можна зробити ряд важливих висновків.

1. У ході проведеного аналізу встановлено, що ключовим завданням сучасних телекомунікаційних технологій, що функціонують в рамках архітектури NGN, є забезпечення гарантованої якості обслуговування запитів користувачів. При цьому визначено, що важлива роль у вирішенні цього завдання відводиться засобам управління трафіком, до числа яких відносяться протоколи маршрутизації, механізми пріоритетного розподілу каналного і буферного ресурсів ТКМ.

2. Встановлено, що технологічні засоби управління чергами має відповідати таким вимогам:

- підтримка функцій диференційованого обслуговування пакетів;
- забезпечення гарантій щодо якості обслуговування пакетів різних потоків (класів);

- забезпечення справедливого обслуговування пакетів різних черг, недопущення переваження кожної окремої черги і мережного вузла в цілому;
- забезпечення динамічного перерахунку порядку обслуговування черг в залежності від завантаженості мережі, зміни характеристик трафіка і т.д.;
- реалізація рівномірної обробки всіх пакетів трафіка з однаковим пріоритетом;
- забезпечення високого рівня узгодженості функціонування з іншими засобами управління ресурсами мережі;
- простота алгоритмічно-програмної та апаратної практичної реалізації.

3. На основі проведеного аналізу основних підходів до математичного моделювання процесів управління чергами на маршрутизаторах телекомунікаційної мережі обґрунтовано вибір вдосконалення саме потокових моделей, представлених алгебраїчними рівняннями стану – завантаженості черг на маршрутизаторах мультисервісної ТКМ. Це обумовлено пошуком компромісного підходу до моделювання процесів управління чергами, що поєднує повноту опису (адекватність) і прийнятну складність аналізу одержуваної моделі.

4. В роботі отримала подальший розвиток потокова модель динамічного управління чергами на основі метрик обслуговування на маршрутизаторах мультисервісної мережі. Новизна моделі полягає у забезпеченні динамічного і узгодженого управління чергами і пропускну здатністю каналу зв'язку в ТКМ, що дозволило поліпшити якість обслуговування за показниками середньої затримки і втрат пакетів.

5. Удосконалено потокову модель балансування черг на маршрутизаторах мультисервісної ТКС за критерієм мінімізації їх коефіцієнта завантаженості. Новизна моделі полягає в тому, що в якості критерію оптимальності був обраний мінімум верхнього динамічно керованого порогу завантаженості черг на інтерфейсі маршрутизатора по трафіку, що дозволило поліпшити якість балансування черг в цілому.

6. Удосконалено потокову модель балансування черг на маршрутизаторах мультисервісної ТКС за критерієм мінімізації їх довжини. Новизна моделі полягає у тому, що вона на відміну від раніше відомих рішень забезпечує більш диференційоване балансування черг на інтерфейсі маршрутизатора на основі мінімізації довжин черг, зважених щодо пріоритету та розміру пакетів, що утворюють ту чи іншу чергу.

7. Удосконалено метод адаптивного балансування черг на маршрутизаторах мультисервісної ТКС. Новизна методу полягає в тому, що в ньому забезпечується адаптивний вибір стратегій балансування, заснованих на запропонованих в роботі моделях, з урахуванням завантаженості черг і вимог щодо якості обслуговування.

8. Для проведення експериментального дослідження отриманих в роботі результатів був поставлений лабораторний експеримент, проведений на реальному мережному обладнанні виробництва Cisco Systems, розгорнутого в лабораторії систем розподілу інформації на кафедрі телекомунікаційних систем ХНУРЕ. В ході експерименту підтверджена адекватність запропонованих моделей за показниками збіжності результатів аналітичного моделювання та лабораторного експерименту (в середньому до 8-10%). В ході проведення лабораторного експерименту встановлено, що використання розроблених моделей і методів балансування черг на маршрутизаторах мультисервісних ТКМ дозволяє покращити ключові показники

якості обслуговування особливо в умовах середньої і високої завантаженості ТКС різномірним трафіком, переданого за маршрутами з числом переприйомів 3 і більше.

9. Основні результати дисертаційної роботи викладено в 14 наукових працях, з них 4 статті опубліковані в спеціалізованих фахових виданнях, затверджених ВАК України. Крім того, результати досліджень викладено в десяти тезах доповідей на наукових конференціях та форумах.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Симоненко А.В. Модель динамического управления очередями и пропускной способностью канала связи на маршрутизаторах мультисервисной сети / А.В. Симоненко, Ахмад Хайлан, Али Али // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2008. – Вып. 155. – С. 164-168.

2. Лемешко А.В. Целевая координация двухуровневой маршрутизации в MPLS-сети / А.В. Лемешко, Ахмад М. Хайлан, Али С. Али. // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2009. – Вып. 159. – С. 41-45.

3. Али С. Али Поточковая модель динамической балансировки очередей в MPLS-сети с поддержкой Traffic Engineering Queues // [Електронний ресурс] / Али С. Али, А.В. Симоненко // Проблеми телекомунікацій. – 2010. – № 1 (1). – С. 59 – 67. – Режим доступу до журн.: http://pt.journal.kh.ua/2010/1/1/101_ali_balancing.pdf.

4. Лемешко А.В. Разработка и исследование потоковых моделей динамической балансировки очередей на маршрутизаторах мультисервисной телекоммуникационной сети / А.В. Лемешко, Али С. Али, М.В. Семеняка // Системи обробки інформації. – Вип. 8(98). – 2011. – С. 218-223.

5. Симоненко А.В. Модель управления буферным и канальным ресурсом мультисервисной сети / А.В. Симоненко, Ахмад Хайлан, Али Али // Материалы XIII Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», 30 марта – 1 апреля 2009 года. Часть 1. – Х.: ХНУРЭ, 2009. – С. 161.

6. Симоненко А.В. Поточковая модель внутриузлового управления сетевыми ресурсами в мультисервисной телекоммуникационной системе / А.В. Симоненко, Ахмад М. Хайлан, Али С. Али // VIII Международная научно-техническая конференция «Перспективные технологии в средствах передачи информации – ПТСПИ'2009», 21-22 мая 2009 года. – Владимир: ВлГУ. - Том.2. - С. 94-97.

7. Lemeshko O. A flow-based model of two-level routing in multiservice network / O. Lemeshko, Ahmad M. Hailan, Ali S. Ali.// Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the international Conference TCSET'2010. – Lviv-Slavsko: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2010. – P. 225.

8. Али С. Али. Балансировка очередей на узлах телекоммуникационной сети / Али С. Али, А.Г. Беленков // Материалы 14-го Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», 18-20 марта 2010 года. Часть 1. – Х.: ХНУРЭ, 2010. – С. 131.

9. Симоненко А.В. Поточковая модель динамической балансировки загруженности очередей на узлах IP-сети / А.В. Симоненко, Али С. Али, А.С. Билык // Труды научно-технической конференции с международным участием «Компьютерное моделирование в

наукоемких технологиях – КМНТ-2010», 18-21 мая 2010 года. – Х.: ХНУ имени В.Н. Каразина. – Часть 2. - С. 231-234.

10. Алі Алі. Поточкова модель динамічного балансування завантаженості черг на вузлах MPLS-мережі / Алі Алі, О.В. Симоненко // Матеріали науково-практичної конференції "Сучасні проблеми телекомунікацій - 2010". - Львів: НУ "Львівська політехніка", 2010. - С. 40-43.

11. Lemeshko O.V. A flow-based model of dynamic queue balancing in the MPLS-network with Traffic Engineering Queue support / O.V. Lemeshko, Ali S. Ali, O.V. Starkova // 11-th International Conference THE EXPERIENCE OF DESIGNING AND APPLICATION OF CAD SYSTEMS IN MICROELECTRONICS Polyana-Svalyava-(Zakarpattya), UKRAINE 23 - 25 February 2011: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2011. – P. 116-117.

12. Али С. Али. Динамическая балансировка очередей в MPLS-сети с поддержкой Traffic Engineering Queue // Материалы 15-го Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», 18-20 апреля 2011 года. Том 4. – Х.: ХНУРЭ, 2011. – С. 6-7.

13. Лемешко А.В. Поточковая модель балансировки очередей на узлах MPLS-сети / А.В. Лемешко, Али С. Али. // VII Міжнародна науково-технічна конференція "Сучасні інформаційно-комунікаційні технології" - COMINFO'2011-Livadia. 10-14 жовтня 2011 р. - Крим-Ялта-Лівадія: ДУІКТ, 2011. - С. 41-43.

14. Лемешко А.В. Метод динамического управления очередями в сети MPLS-TE / А.В. Лемешко, Али Али // Сб. научных трудов 4-го Международного радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» - МРФ-2011. Том II. Международная конференция «Телекоммуникационные системы и технологии» (ICTST'2011). – Х.: АНПРЭ, ХНУРЭ. 2011. - С. II-85 – II-87.

АНОТАЦІЯ

Алі Салем Алі. Поточкові моделі та метод балансування черг на маршрутизаторах мультисервісних телекомунікаційних мереж. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2012.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуальної наукової задачі, пов'язаної з оптимізацією процесів управління чергами в мультисервісних ТКМ при забезпеченні узгодженого вирішення завдань щодо розподілу пакетів трафіка за чергами та їх диференційованого обслуговування шляхом розробки відповідних математичних моделей і методів для підвищення якості обслуговування в ТКМ в цілому.

Розроблено поточкові моделі та метод балансування черг на маршрутизаторах мультисервісної телекомунікаційної мережі. Новизна результатів полягає у забезпеченні динамічного та узгодженого порядку формування (заповнення) черг та їх диференційованого обслуговування, тобто закріплення за кожною з черг певної частки пропускної здатності каналу зв'язку. В рамках моделей задачі балансування черг були формалізовані у вигляді оптимізаційних задач математичного програмування, для розв'язання яких існують досить ефективні методи розрахунку. Запропоновані рішення можуть бути покладені в основу перспективних

механізмів управління чергами та розподілу пропускної здатності каналів зв'язку в мультисервісних мережах пакетної комутації, наприклад, в IP/MPLS-мережах з підтримкою технології Traffic Engineering Queues.

Ключові слова: трафік, мережа, черги, балансування, буферний ресурс, якість обслуговування, модель, метод.

АННОТАЦІЯ

Али Салем Али. Поточкові моделі і метод балансування чергодій на маршрутизаторах мультисервісних телекомунікаційних мереж. – Рукопис. Дисертація на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2012.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научной задачи, связанной с оптимизацией процессов управления очередями в мультисервисных ТКС при обеспечении согласованного решения задач распределения пакетов трафика по очередям и их дифференцированного обслуживания путем разработки соответствующих математических моделей и методов для улучшения качества обслуживания в ТКС в целом.

В ходе проведенного анализа установлено, что в современных мультисервисных телекоммуникационных сетях (ТКС) все большая ответственность за решение задач по обеспечению сквозного (end-to-end) качества обслуживания (Quality of Service, QoS) перекладывается на средства (механизмы и протоколы) сетевого уровня эталонной модели взаимодействия открытых систем. При этом численные значения таких ключевых для мультимедийных приложений показателей QoS как средняя задержка, джиттер, уровень потерь пакетов во многом определяются эффективностью управления очередями (буферным ресурсом) на маршрутизаторах ТКС. Именно задержки, джиттер и потери пакетов в очередях оказывают наиболее критичное влияние на разборчивость речи, качество видеоизображения и т.д.

Как показал проведенный в работе анализ, средства управления очередями должны отвечать следующему перечню требований:

- ✓ поддержка функций дифференцированного обслуживания пакетов;
- ✓ обеспечение гарантий по качеству обслуживания пакетов различных потоков (классов);
- ✓ обеспечение справедливого обслуживания пакетов различных очередей, недопущение перегрузки каждой отдельной очереди и сетевого узла в целом;
- ✓ обеспечение динамического перерасчета порядка использования очередей в зависимости от загруженности сети, изменения характеристик трафика и т.д.;
- ✓ реализация равномерной обработки всех пакетов трафика с одинаковым приоритетом;
- ✓ обеспечение высокого уровня согласованности функционирования с другими средствами управления ресурсами сети;
- ✓ простота практической реализации.

Однако не все из перечисленных требований в должной мере учтены в существующих механизмах (алгоритмах) обслуживания очередей. Это проявляется, например, в том, что

обслуживание очередей практически не согласуется с решениями других задач по управлению трафиком (маршрутизации, ограничение длины очереди и др.). Кроме того, остается автоматизированным лишь процесс опроса очередей (round robin), а вот решения задачи по их формированию и определению порядка следования пакетов из очереди в канал связи (КС) все еще носят преимущественно статический характер, т.е. решаются административно (вручную), что снижает оперативность управления, которое должно осуществляться в реальном масштабе времени.

Недостатки технологических решений определили актуальность проведения дополнительных научных исследований в области обслуживания очередей на узлах сети. Например, с целью учета характеристик обслуживаемого трафика необходимо использовать именно потоковые модели (flow-based model), в рамках которых учитывается также интенсивность трафика наряду с другими его важными параметрами – длиной и приоритетом пакета. Также заслуживает внимания подход, основанный на балансировке очередей на принципах технологии инжиниринга трафика (Traffic Engineering Queues), предложенного для управления очередями в MPLS-сетях

В работе получила дальнейшее развитие потоковая модель динамического управления очередями на основе метрик обслуживания на маршрутизаторах мультисервисной сети. Новизна модели состоит в обеспечении динамического и согласованного управления очередями (буферным ресурсом) и пропускной способностью канала связи (канальный ресурс) в ТКС, что позволило улучшить качество обслуживания по показателям средней задержки и потерь пакетов.

Усовершенствована потоковая модель балансировки очередей на маршрутизаторах мультисервисной ТКС по критерию минимизации их коэффициента загрузки. Новизна модели состоит в том, что в качестве критерия оптимальности был выбран минимум верхнего динамически управляемого порога загрузки очередей на интерфейсе маршрутизатора по трафику, что позволило улучшить качество балансировки очередей в целом.

Усовершенствована потоковая модель балансировки очередей на маршрутизаторах мультисервисной ТКС по критерию минимизации их длины. Новизна модели состоит в том, что она в отличие от ранее известных решений обеспечивает более дифференцированную балансировку очередей на интерфейсе маршрутизатора на основе минимизации длин очередей, взвешенных относительно приоритета и размера пакетов, образующих ту или иную очередь.

Усовершенствован метод адаптивной балансировки очередей на маршрутизаторах мультисервисной ТКС. Новизна метода состоит в том, что в нем обеспечивается адаптивный выбор стратегий балансировки, основанных на предложенных в работе моделях, с учетом загрузки очередей и требований к качеству обслуживания.

Ключевые слова: трафик, сеть, очереди, балансировка, буферный ресурс, качество обслуживания, модель, метод.

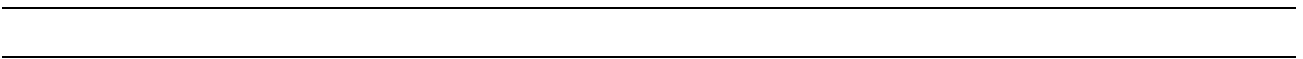
ABSTRACT

Ali Salem Ali. Flow models and method of balancing queues on the routers in multi-service telecommunication networks. – Manuscript. Dissertation for candidate's degree of technical in a specialty 05.12.02 – telecommunication systems and network. – Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, 2012.

The dissertation is devoted to actual scientific problem connected with the optimization of the queue management process in multiservice networks, while ensuring consistent assignments for the distribution of packet traffic on the lines and their differentiated service through the development of appropriate mathematical models and methods for improving the quality of service network whole.

A flow model and a method of balancing queues on routers of multiservice telecommunication network are proposed. The novelty of the results is to provide fast and consistent first order form (required) bursts and their differentiated servicing, maintenance of that is fixing to each queue with a percentage bandwidth connection. Within the model problems of the balancing queues are formalized as optimization problems of mathematical programming. There exist very effective methods of calculation to solve them. The proposed solution may be the basis of promising mechanisms for queue management and allocation of bandwidth in multiservice communication networks, packet switching, such as IP / MPLS-network technology to support Traffic Engineering Queues.

Keywords: traffic, network, the queue balancing, buffer resource, quality of service, model, method.



Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
ЛЕМЕШКО Олександр Віталійович,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
професор кафедри телекомунікаційних систем.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
СТРЕЛКОВСЬКА Ірина Вікторівна,
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
декан факультету інформаційних мереж;

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
АЛЕКСЄЄВ Сергій Вікторович,
Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,
старший науковий співробітник наукового центру Повітряних Сил.

Захист відбудеться « 11 » квітня 2012 року о 13 годині на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д 64.052.09 в Харківському національному університеті радіоелектроніки за
адресою: Україна, 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного університету
радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

Автореферат розісланий « 10 » березня 2012 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



Є.В. Дуравкін