

# Зв'язок, радіотехніка, радіолокація, акустика та навігація

УДК 621.391

Е.М. Бовда, В.В. Сальник

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ*

## МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В СУЧАСНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*В статті розглянуто методи та засоби забезпечення якості обслуговування в телекомунікаційних мережах, наведена їх класифікація. Запропоновано комплексний підхід, який враховує потреби користувачів по забезпеченню якості обслуговування.*

**Ключові слова:** телекомунікаційна мережа, якість обслуговування (Quality of Service, QoS), traffic engineering, оптимізації трафіку, розподілу пропускної здатності.

### Вступ

#### Постановка проблеми в загальному вигляді.

Проблема забезпечення якості обслуговування (Quality of Service, QoS) в сучасних телекомунікаційних мережах (ТКМ) військового призначення сьогодні є актуальною. Це обумовлено тим, що кожний тип трафіку потребує різних значень характеристик пропускної здатності мережі, продуктивності, надійності (одностороння затримка пакетів, варіації затримок пакетів, втрати пакетів, швидкість потоку, тощо) та вимог щодо його обслуговування. Домогтися одночасного дотримання всіх характеристик QoS для всіх видів трафіку досить складна задача.

Одним з найбільш значущих факторів, що впливають на характеристики якості обслуговування, є рівень завантаження мережі трафіком або рівень використання пропускної здатності ліній зв'язку мережі. Основна ідея, що лежить в основі всіх методів підтримки характеристик QoS полягає в нерівномірному, тонкому перерозподілі наявної пропускної спроможності між трафіком різного типу відповідно до вимог додатків. Всі існуючі методи QoS в переважній більшості працюють на каналному та мережевому рівнях, де здійснюється управління чергами, контроль параметрів потоку трафіку, управління зворотнім зв'язком, боротьба з перевантаженнями, інжиніринг трафіку, кешування.

Відомі підходи не забезпечують в повній мірі рішення задачі. Тому існуючі концепції та технології (Traffic Engineering (TE), Traffic Engineering DiffServ, Fast ReRouting та ін.), не можуть в повній мірі реалізувати потенціал закладених в них можливостей, пов'язаних з підвищенням якості обслугову-

вання в ТКМ. Причина полягає у недосконалості математичних моделей і методів, які закладені в протоколи маршрутизації, механізми управління чергами і профілювання трафіку та ін. Графові моделі пошуку найкоротшого шляху засновані переважно на адміністративному впливі на механізми управління чергами, мають досить обмежені можливості щодо врахування характеристик трафіка й вимог, що стосуються якості обслуговування та масштабованості. Крім того, окремі задачі щодо управління трафіком розв'язуються, як правило, розрізнено, що в результаті, не сприяє зростанню продуктивності ТКМ.

**Аналіз останніх публікацій.** Управління потоками (трафіком) в мережі поділяється на управління доступом потоків в мережу, управління розподілом потоків по маршрутам та управління передачею потоків по вибраним маршрутам.

Одним із перспективних підходів управління потоками є одночасне використання методів інжинірингу трафіку (TE), методів якості обслуговування QoS, а також застосування архітектури програмно-конфігурованих мереж (Software Define Networking, SDN), основною відмінністю якої є централізоване інтелектуальне управління [1].

Проведений аналіз [2] дозволив сформулювати важливі вимоги, що висуваються до управління трафіком в ТКМ, до яких варто віднести: погоджене за часом та простором розв'язання задач щодо управління трафіком; підтримку якості обслуговування; реалізацію багатознакових стратегій маршрутизації «від джерела»; високу масштабованість результуючих рішень. В роботі проведено огляд відомих математичних моделей і методів маршрутизації в мережах, орієнтованих на віртуальні з'єднан-

ня; проведено розробку поточкових моделей управління трафіком в IP/MPLS-мережах з підтримкою технології Traffic Engineering; розроблено методи ієрархічно-координаційного управління трафіком в IP/MPLS-мережах з підтримкою технології Traffic Engineering. Для рішення цих задач використовується метод максимізації лагранжіану за множниками Лагранжа, який відноситься до аналітичних методів оптимізації з використанням принципу цільової координації при оптимізації процесу маршрутизації в MPLS-мережі.

В роботі [3] висвітлені питання багатопротокольної комутації по міткам, проблеми розподілу трафіка та безпека в MPLS-мережах. Розглянуто методи оптимізації трафіка в мережах IP/MPLS з диференційованим обслуговуванням та методи розподілу багато продуктивних потоків. Представлено алгоритм оптимізації мереж на основі множників Лагранжа.

В статті [4] запропоновано поточкову модель багатошляхової маршрутизації з гарантіями якості обслуговування. Отримано в аналітичному вигляді умови забезпечення якості обслуговування одночасно за множиною різнорідних показників – швидкості передачі, середньої затримки та ймовірності втрат пакетів, забезпечується мінімальна та рівна для всіх розрахованих шляхів середня затримка, що сприяє мінімізації джитера пакетів, обумовленого реалізацією багатошляхової стратегії маршрутизації.

В роботі [5] запропоновано модель і метод комплексного управління різнотипними ресурсами транспортних пакетних оптичних мереж, побудованих відповідно до концепції програмного конфігурування. Метод передбачає виділення трьох основних підзадач: маршрутизації потоків на IP-рівні в умовах заданої віртуальної топології, перегляду вимог до цієї топології та формування нової структури світлових шляхів згідно до вимог трафіку, що надходить на обслуговування.

В роботі [6] пропонується метод балансування трафіку, заснований на використанні децентралізованої накладеної мережі, що самоорганізується, з прогнозуванням інтенсивності вхідного трафіку, що дозволяє розподіляти надлишкове навантаження по маршрутами, не задіяним у випадку традиційної маршрутизації за найкоротшим шляхам.

В статті [7] проведено аналіз механізмів балансування мережевого трафіку. Показано, що рішення, які застосовуються є недостатніми для забезпечення ефективного використання існуючої мережевої інфраструктури.

В статті [8] розглянуто інтернет-трафік з точки зору оптимізації маршрутизації. Проведена класифікація алгоритмів маршрутизації в кількох вимірах: одноадресна/багатоадресна передача, інтра-інтерміждоменна, IP/MPLS базова, на основі схем

офлайн/онлайн. Досліджуємо важливі технічні питання, в тому числі робастності, тобто взаємодій, і взаємодія з накладенням егоїстичної маршрутизації.

В роботі [9] запропоновано методику вирішення задачі інжинірингу трафіка в комп'ютерній мережі Укрзалізниці за технологією MPLS TE. Як критерій оптимізації виступає мінімальне значення максимального коефіцієнта використання TE-тунелів.

Кожна розглянута вище робота вирішує вузькоспеціалізоване завдання по оптимізації трафіку та якості обслуговування. В статті розглядаються відомі підходи щодо методів розподілу пропускної здатності та управління трафіком в ТКМ.

## Виклад основного матеріалу

**Аналіз методів забезпечення якості обслуговування.** Черги є невід'ємним атрибутом мереж з комутацією пакетів. В таких мережах передбачається наявність буфера у кожного вхідного і вихідного інтерфейсів комутатора пакетів. Буферизація пакетів під час перевантажень являє собою основний механізм підтримки пульсуючого трафіка, що забезпечує високу продуктивність мереж цього типу. Поява черг означає появу затримок при передачі пакетів через мережу, а в деяких випадках і втрати пакетів через переповнення буфера комутатора або маршрутизатора, відведеного під чергу. Затримки і втрати пакетів – це головне джерело проблем для чутливого до затримок трафіку [10–12]. В військових мережах завжди існує передача пульсуючого трафіка, тому необхідні засоби досягнення компромісу між вимогами граничної завантаження цієї мережі та якістю обслуговування одночасно всіх типів трафіку.

Існує ряд характеристик продуктивності і надійності, які можливо поліпшити за допомогою методів QoS. Мова йде про такі характеристики: одностороння затримка пакетів; варіація затримок пакетів; втрати пакетів; середня швидкість; пікова швидкість і пульсація.

Методи забезпечення якості обслуговування (рис. 1) використовують різні механізми, спрямовані на зниження негативних наслідків перебування пакетів в чергах із збереженням в той же час позитивної ролі черг. Більшість із них враховує та використовує в своїй роботі факт існування в мережі трафіку різного типу в тому відношенні, що кожен тип трафіку пред'являє різні вимоги до характеристик продуктивності і надійності мережі. Домогтися одночасного дотримання всіх характеристик QoS для всіх видів трафіку досить складно. Одним з найбільш значущих факторів, що впливають на характеристики якості обслуговування, є рівень завантаження мережі трафіком, тобто рівень використання пропускної здатності ліній зв'язку мережі.

Методи QoS засновані на тонкому перерозподілі наявної пропускну здатності між трафіком різного типу відповідно до вимог додатків. Очевидно, що ці методи ускладнюють

мережеві пристрої, оскільки це означає знати вимоги всіх класів трафіку, вміти їх класифікувати та розподіляти пропуску здатність мережі між ними. Останнє досягається за рахунок використання декількох черг пакетів для кожного вихідного інтерфейсу комунікаційного пристрою замість однієї черги; в чергах застосовують різні алгоритми обслуговування пакетів, чим і досягається диференційоване обслуговування різних класів трафіку. До ме-

тодів QoS відносять методи управління параметрами потоку трафіку, оскільки для гарантованого якісного обслуговування потрібно бути впевненими, що потоки, які обслуговуються відповідають визначеним профілем. Ця група методів QoS отримала назву методів кондиціонування трафіку.

Особливе місце займають методи зворотного зв'язку, які призначені для попередження джерела трафіку про перевантаження мережі.

Ці методи розраховані на те, що при отриманні повідомлення, джерело знизить швидкість видачі пакетів в мережу й тим самим ліквідує причину перевантаження.



Рис. 1. Методи забезпечення якості обслуговування

Механізми QoS можна застосовувати по-різному. У тому випадку, коли вони застосовуються до окремих вузлів без урахування реальних маршрутів проходження потоків трафіку через мережу, умови обслуговування трафіку цими вузлами поліпшуються, але гарантій того, що потік буде обслужений з заданим рівнем якості, такий підхід не дає. Гарантії можна забезпечити, якщо застосовувати методи QoS системно, резервуючи ресурси мережі для потоку на всьому протязі його маршруту, іншими словами, «з кінця в кінець».

До методів QoS тісно примикають методи інжинірингу трафіку. Тут маршрути передачі даних керуються таким чином, щоб забезпечити збалансоване завантаження всіх ресурсів мережі та виключити за рахунок цього перевантаження комунікаційних пристроїв й утворення довгих черг. В методах інжинірингу трафіку не вдаються до організації черг з різними алгоритмами обслуговування на мережевих пристроях. У той же час в методах QoS не використовують такий потужний важіль впливу на раціона-

льне розподіл пропускну здатності, як зміна маршрутів трафіку в залежності від фактичної завантаження ліній зв'язку.

У наступній групі методів боротьба з перевантаженнями ведеться шляхом зниження постійної навантаження на мережу. Тобто в цих методах проблема розглядається з іншого боку: якщо пропускну здатності мережі недостатньо для якісної передачі трафіку додатків, то чи не можна зменшити обсяг самого трафіку? Найбільш очевидним способом зниження обсягу трафіку є його компресія; існують і інші способи, що призводить до того ж результату, наприклад розміщення джерела даних ближче до його споживачеві (кешування).

До теперішнього часу проведена велика робота по класифікації трафіку додатків. В якості основних критеріїв класифікації були прийняті три характеристики трафіку:

- відносна передбачуваність швидкості передачі даних;
- чутливість трафіку до затримок пакетів;

– чутливість трафіку до втрат і спотворень пакетів.

Щодо передбачуваності швидкості передачі даних програми поділяються на два великих класи: програми з потоковим трафіком і додатки з пульсуючим рухом. Додатки з потоковим трафіком (stream) породжують рівномірний потік даних, який надходить у мережу з постійною бітовою швидкістю (Constant Bit Rate, CBR). У разі комутації пакетів трафік таких додатків являє собою послідовність пакетів однакового розміру, що слідує один за одним через один й той же інтервал часу. У загальному випадку, постійна бітова швидкість потокового трафіку менше номінально-максимальної бітової швидкості протоколу, за допомогою якого передаються дані, так як між пакетами існують паузи.

Додатки з пульсуючим трафіком (burst) відрізняються високою мірою непередбачуваності, в цих додатках періоди мовчання змінюються пульсацією, протягом якої пакети «щільно» слідує один за одним. В результаті трафік характеризується змінною бітовою швидкістю (Variable Bit Rate, VBR). У додатків з пульсуючим трафіком коефіцієнт пульсації зазвичай знаходиться в межах від 2 до 100, а у поточкових додатків він близький до 1 [10–12].

Ще один критерій класифікації додатків за типом трафіку – їх чутливість до затримок пакетів та їх варіацій. Основні типи додатків до порядку підвищення чутливості до затримок пакетів є: асинх-

ронні програми (електронна пошта); інтерактивні додатки (текстовий редактор, який працює з віддаленим файлом); ізохронні програми (передача голосу); надчутливі до затримок програми (програми, що керують технічним об'єктом в реальному часі).

Останнім критерієм класифікації програм є їх чутливість до втрат пакетів. Тут зазвичай ділять додатки на дві групи. Додатки, чутливі до втрати даних. Практично всі програми, алфавітно-цифрові дані (до яких відносяться текстові документи, коди програм, числові масиви тощо), володіють високою чутливістю до втрати окремих, навіть невеликих, фрагментів даних. Такі втрати часто ведуть до повного знецінення решти успішно прийнятої інформації.

Програми, стійкі до втрати даних. До цього типу відносяться багато додатків, які передають трафік з інформацією про якісь фізичні процеси. Стійкість до втрат пояснюється тим, що невелика кількість відсутніх даних можна визначити на основі прийнятих.

Між значеннями трьох характеристик якості обслуговування немає суворого взаємозв'язку. Тобто додаток з рівномірним потоком може бути як асинхронним, так і синхронним, наприклад, синхронний додаток може бути як чутливий, так і нечутливим до втрат пакетів.

Класифікація ATM, будучи на сьогодні найбільш детальною і узагальненою, показує зв'язок цих характеристик (табл. 1).

Таблиця 1

Класифікація ATM щодо характеристик трафіку

Клас трафіку	Характеристики
A	Постійна бітова швидкість, чутливість до затримок, передача з встановленням з'єднання (наприклад, голосовий трафік, трафік телевізійного зображення). Параметри QoS: пікова швидкість передачі даних, затримка, джитер
B	Мінлива бітова швидкість, чутливість до затримок, передача з встановленням з'єднання (наприклад, скомпресований голос, скомпресоване відеозображення). Параметри QoS: пікова швидкість передачі даних, пульсація, середня швидкість передачі даних, затримка, джитер
C	Мінлива бітова швидкість, еластичність, передача з встановленням з'єднання (наприклад, трафік комп'ютерних мереж, в яких кінцеві вузли працюють по протоколах з встановленням з'єднань – frame relay, X. 25, TCP). Параметри QoS: пікова швидкість передачі даних, пульсація, середня швидкість передачі даних
D	Мінлива бітова швидкість, еластичність, передача без встановлення з'єднання (наприклад, трафік комп'ютерних мереж, в яких кінцеві вузли працюють по протоколах без встановлення з'єднань – IP/UDP, Ethernet). Параметри QoS не визначено
X	Тип трафіку і його параметри визначаються користувачем

Визначити основні характеристики QoS та сформулювати вимоги до них – значить наполовину вирішити задачу.

Користувач формує свої вимоги до якості обслуговування у вигляді деяких граничних значень характеристик QoS, які не повинні бути перевищені.

Черги створюються на тих проміжках, на яких інтенсивність надходження пакетів набагато перевищує інтенсивність обслуговування. Перевантаження ресурсів може призвести до повної деградації мережі, коли, незважаючи на те, що мережа передає пакети, корисна швидкість передачі даних виявляється рівною нулю. Це відбувається в тому випадку,

якщо затримку доставки всіх пакетів перевершують деякий поріг, і пакети по тайм-ауту відкидаються вузлом призначення, як застарілі. Якщо ж протоколи, які працюють у мережі, використовують надійні процедури передачі даних на основі квітування та повторної передачі втрачених пакетів, то процес перевантаження буде наростати лавиноподібно.

Існує ще один важливий параметр, який надає безпосередній вплив на утворення черг в мережах з комутацією пакетів. Цим параметром є варіацією інтервалів вхідного потоку пакетів, тобто пульсація вхідного трафіку.

Основна ідея, що лежить в основі всіх методів підтримки характеристик QoS полягає в наступному: загальна продуктивність кожного ресурсу повинна бути розділена між різними класами трафіку нерівномірно.

Можна ввести більш ніж два класи обслуговування і намагатися, щоб кожен клас працював на своїй частині кривої затримок. Якщо така задача вирішена, то можна забезпечити поліпшення характеристик QoS за рахунок інших методів, наприклад знижуючи пульсацію трафіку.

Техніка управління чергами потрібна для роботи в періоди тимчасових перевантажень, коли мережний пристрій не справляється з передачею пакетів на вихідний інтерфейс в тому темпі, в якому вони поступають. Якщо причиною перевантаження є недостатня продуктивність процесорного блоку мережевого пристрою, то необроблені пакети тимчасово накопичуються у вхідній черзі відповідного вхідного інтерфейсу.

Черг до вхідного інтерфейсу може бути кілька, якщо ми диференціюємо запити на обслуговування за декількома класами. У тому ж випадку, коли причина перевантаження полягає в обмеженій пропускної здатності вихідного інтерфейсу, пакети тимчасово зберігаються у вихідній черзі (або чергах) цього інтерфейсу.

В черги FIFO у разі перевантаження всі пакети поміщаються в одну загальну чергу і вибираються з неї в тому порядку, в якому надійшли. Перевагами цього підходу є простота реалізації і відсутність потреби в конфігуруванні. Однак є недолік – неможливість диференційованої обробки пакетів різних потоків. Всі пакети стоять у загальній черзі на рівних підставах. Разом виявляються і пакети чутливого до затримок голосового трафіку, і пакети нечутливого до затримок, але дуже інтенсивного трафіку резервного копіювання, тривалі пульсації якого можуть надовго затримати голосові пакети.

Черги з пріоритетним обслуговуванням застосовуються для обробки одного класу трафіку. Механізм пріоритетного обслуговування заснований на поділі всього мережевого трафіку на невелику кількість класів і подальшого призначення кожного

класу деякого числового ознаки – пріоритету. Пакети можуть розбиватися на пріоритетні класи на підставі різних ознак: адреси призначення, адреси джерела, ідентифікатор програми, що генерує цей трафік, будь-яких інших комбінацій ознак, які містяться в заголовках пакетів. Правила класифікації пакету являють собою частину політики адміністрування мережі.

Точка класифікації трафіку може розміщуватися в кожному комунікаційному обладнанні. Більш масштабоване рішення – розміщення функцій класифікації трафіку в одному або декількох пристроях, розташованих на кордоні мережі. У цьому випадку необхідно спеціальне поле у пакеті, в якому можна запам'ятати призначене значення пріоритету, щоб ним могли скористатися інші мережеві пристрої, що обробляють трафік після класифікаційного пристрою. Таке поле є в заголовку багатьох протоколів.

Пріоритети можуть призначатися не тільки комутатором або маршрутизатором, але і додатком на вузлі-відправнику. Необхідно також враховувати, що якщо в мережі відсутня централізована політика призначення пріоритетів, кожен мережевий пристрій може не погодитися з пріоритетом, призначеним для цього пакету в іншій точці мережі. В цьому випадку воно перепише значення пріоритету згідно з локальною політикою, прийнятою безпосередньо на даному пристрої.

В мережевому пристрої, що підтримує пріоритетне обслуговування, є кілька черг (буферів) – по одній для кожного пріоритетного класу. Пакет, що надійшов в період перевантажень, поміщається в чергу, відповідну його пріоритетного класу.

Пріоритетне обслуговування черг забезпечує високу якість обслуговування для пакетів з пріоритетною черги. Якщо середня інтенсивність їх надходження в пристрій не перевищує пропускної здатності вихідного інтерфейсу, то пакети вищого пріоритету завжди отримують ту пропускну здатність, яка їм потрібна. Рівень затримок високо пріоритетних пакетів також мінімальний. Він в основному залежить від характеристик потоку цих пакетів – чим вище пульсації потоку і його інтенсивність, тим імовірніше виникнення черги, утвореної пакетами даного високо пріоритетного потоку. Трафік всіх інших пріоритетних класів майже прозорий для пакетів вищого пріоритету.

Що ж стосується інших пріоритетних класів, то якість їх обслуговування буде нижче, ніж у пакетів найвищого пріоритету, причому рівень зниження може бути дуже суттєвим. Якщо коефіцієнт навантаження вихідного інтерфейсу, який визначається лише трафіком вищого пріоритетного класу, наближається в якийсь період часу до одиниці, то трафік інших класів просто на цей час заморожується. Тому пріоритетне обслуговування, що зазвичай застосо-

вується для чутливого до затримок класу трафіку, має невелику інтенсивність. За таких умов обслуговування цього класу не надто обмежує обслуговування решти трафіку.

Механізм зважених черг розроблений для того, щоб можна було надати всім класам трафіку певний мінімум пропускної здатності. Під вагою даного класу розуміється відсоток пропускної здатності вихідного інтерфейсу. При зваженому обслуговуванні, так само, як і при пріоритетному, трафік ділиться на кілька класів, і для кожного класу ведеться окрема черга пакетів. Але з кожною чергою пов'язується не пріоритет, а відсоток пропускної здатності ресурсу, гарантований для даного класу трафіку при перевантаженнях цього ресурсу.

Так як дані вибираються з черги пакетами, то реальний розподіл пропускної здатності між класами трафіка завжди трохи відрізняється від запланованого. Чим більше час циклу, тим точніше дотримуються необхідні пропорції між класами трафіка, так як з кожної черги вибирається більше число пакетів, і вплив розміру кожного пакета усереднюється.

У той же час тривалий цикл призводить до великих затримок передачі пакетів. Тому при виборі часу циклу потрібно забезпечити баланс між точністю дотримання пропорцій пропускної здатності і прагненням до зниження затримки.

На рівень затримок і варіації затримок пакетів для деякого класу трафіку при зваженому обслуговуванні в значній мірі впливає відносний коефіцієнт використання. Як і для пріоритетного обслуговування, при зваженому обслуговуванні адміністратор може призначати буфери різних розмірів для різних класів черг. Зменшення розмірів буферів для черг веде до зростання числа втрат пакетів при перевантаженнях, але при цьому знижується час очікування для тих пакетів, які не були відкинуті і потрапили в чергу.

Ще одним варіантом зваженого обслуговування є зважене справедливе обслуговування (Weighted Fair Queuing, WFQ). У разі такого обслуговування пропускна здатність ресурсу ділиться між всіма потоками порівну, тобто «справедливо». Зважене обслуговування забезпечує необхідні співвідношення між інтенсивностями трафіку різних черг тільки в періоди перевантажень, коли кожна чергу постійно заповнена. Якщо ж яка-небудь з черг порожня, то при перегляді черг вона ігнорується, і її час обслуговування розподіляється між рештою чергами у відповідності з їх вагою. Тому в окремі періоди трафік певного класу може володіти більшою інтенсивністю, ніж відповідний відсоток від пропускної здатності вихідного інтерфейсу.

Кожен із описаних підходів має свої переваги та недоліки. Пріоритетне обслуговування, забезпечуючи мінімальний рівень затримок для черзі найвищого пріоритету, але не дає ніяких гарантій щодо середньої пропускної здатності для трафіку черг більш низьких пріоритетів. Зважене обслуговування забезпечує заданий розподіл середньої пропускної здатності, але не враховує вимог до затримок. Тому часто використовують комбіновані алгоритми обслуговування черг. У найбільш популярному алгоритмі подібного роду підтримується одна пріоритетна чергу, а інші черги обслуговуються у відповідності зі зваженим алгоритмом. Зазвичай пріоритетна чергу використовується для чутливого до затримок трафіку, а решта – для еластичного трафіку декількох класів. Кожен клас еластичного трафіку отримує деякий мінімум пропускної здатності при перевантаженнях. Цей мінімум обчислюється як відсоток від пропускної здатності, що залишилася від пріоритетного трафіку.

Очевидно, що треба якось обмежити пріоритетний трафік, щоб він не поглинав всю пропускну здатність ресурсу. Зазвичай для цього застосовуються механізми кондиціонування трафіку. Механізми кондиціонування трафіку контролюють поточні параметри потоків трафіку, такі як його середня швидкість і пульсація. Механізми кондиціонування трафіку перевіряють трафік на вході в комутатор (або формують трафік на виході з нього). Існує кілька механізмів кондиціонування трафіку.

Класифікація трафіку являє собою елемент QoS, що дозволяє визначити, які пакети потрібно відправити в ту чи іншу чергу. Класифікація зазвичай виконується засобами фільтрації трафіку, що є в комутаторах і маршрутизаторах пакетних мереж; для цих засобів використовується списки контролю доступу (Access Control List, ACL). Для класифікації використовуються різні ознаки пакетів, наприклад адреси призначення і джерела, тип протоколу транспортного або прикладного рівня.

Профілювання являє собою міру примусового впливу на трафік, яка служить для обмеження швидкості потоку пакетів. Профілювання забезпечує відповідність потоку пакетів заданого швидкісного профілю; в якості параметрів профілю зазвичай вибирається середня швидкість потоку пакету, яка вимірюється на інтервалі часу. Пакети, які не укладаються в заданий профіль, або відкидаються, або декваліфікуються, тобто переміщуються в клас обслуговування з більш низькими привілеями, наприклад переводяться з пріоритетного класу в стандартний клас, що обслуговується «по можливості». Профілювання зазвичай застосовують для обмеження трафіку, що надходить в пріоритетну чергу, так як цей механізм є єдиною можливим засобом запобі-

гання ситуації витіснення всього іншого трафіку пріоритетним трафіком.

Формування трафіку – це процес навмисної затримки деяких пакетів із загального потоку в цілях утримання середньої швидкості трафіку в деяких заданих межах. Формування трафіку нагадує профілювання, так як має схожу мету – обмеження швидкості трафіку, але досягається ця мета іншим способом. Замість того щоб відкидати надлишкові пакети (тобто ті, передача яких могла б привести до перевищення ліміту швидкості), механізм формування трафіку затримує «пакети порушники» так, що результуюча швидкість виявляється в заданих межах.

Зазвичай шляхом формування обробляють вихідний трафік з комутатора або маршрутизатора. Це робиться в тих випадках, коли відомо, що деякий комунікаційний пристрій далі по маршруту проходження потоку пакетів застосовує профілювання. Профіль формування трафіку вибирається рівним профілю профілюваного трафіку, це гарантує відсутність втрат трафіку через відкидання надлишкових пакетів.

Механізми кондиціонування трафіку можуть підтримуватися кожним вузлом мережі або реалізовуватися тільки в прикордонних пристроях.

Алгоритми управління чергами та кондиціонування трафіку не запобігають перевантажень, а лише деяким «справедливим» чином в умовах дефіциту перерозподіляють ресурси між різними потоками або класами трафіка. Алгоритми управління чергами відносяться до механізмів управління перевантаженням (congestion management), які починають працювати, коли мережа вже перевантажена.

Існує інший клас засобів, який носить назву механізм запобігання перевантаження (congestion avoidance). Цей механізм заснований на використанні зворотного зв'язку, за допомогою якого перевантажений вузол мережі, реагуючи на перевантаження, просить попередні вузли, розташовані уздовж маршруту проходження потоку (або потоків, які належать до одного класу), тимчасово знизити швидкість трафіку. Після того як перевантаження в даному вузлі зникне, він посилає інше повідомлення, що дозволяє підвищити швидкість передачі даних. Таким чином, при виникненні перевантаження механізм запобігання перевантажень за рахунок зворотного зв'язку тимчасово знижує навантаження.

Існує кілька механізмів зворотного зв'язку. Вони відрізняються інформацією, яка передається за зворотного зв'язку, а також тим, який тип вузла генерує цю інформацію і хто реагує на цю інформацію – кінцевий вузол (комп'ютер) або проміжний (комутатор або маршрутизатор). Існує кілька варіантів зворотного зв'язку:

- між двома кінцевими вузлами мережі;
- між двома сусідніми комутаторами;

– між комутатором і вузлом-джерелом;

– між вузлом-отримувачем та вузлом-джерелом.

Ознака перевантаження не говорить про ступінь перевантаження мережі або вузла, він лише фіксує факт наявності перевантаження. Реакція вузла, який отримав таке повідомлення, може бути різною. У деяких протоколах вузол зобов'язаний припинити передачу інформації в певному напрямі до тих пір, поки не буде отримано інше повідомлення зворотного зв'язку, що дозволяє продовження передачі. В інших протоколах вузол веде себе адаптивно, він знижує швидкість на деяку величину і чекає реакції мережі. Якщо повідомлення з ознакою перевантаження продовжують надходити, то він продовжує зниження швидкості.

Розглянуті методи підтримки якості обслуговування орієнтовані в основному на боротьбу з перевантаженнями або запобігання їх в межах окремого вузла мережі. Разом з тим зрозуміло, що для забезпечення гарантованого рівня якості обслуговування деякого потоку пакетів необхідно скоординоване застосування цих методів на всьому шляху проходження потоку через мережу.

Таким координуючим механізмом є процедура резервування ресурсів мережі для певного потоку. Ця процедура дозволяє налаштувати всі механізми підтримки якості обслуговування вздовж проходження потоку таким чином, щоб потік з заданими характеристиками швидкості був обслужений з заданими характеристиками QoS.

Зміст резервування полягає в тому, щоб обмежити рівень перевантажень певного потоку або декількох потоків деякої прийнятною величиною. Ця величина повинна бути такою, щоб механізми QoS (управління чергами, кондиціонування трафіку і зворотного зв'язку), що застосовуються у вузлах мережі, справлялися з короткочасними невеликими перевантаженнями і забезпечували необхідні значення характеристик QoS.

Мета резервування – забезпечити потік зарезервованої пропускної здатності в ті періоди, коли вона йому потрібна вся, тобто в періоди перевантажень. Іншою відмінністю резервування в пакетних мережах є те обставина, що воно може виконуватися не тільки «з кінця в кінець», але і для якихось окремих вузлів по маршруту потоку, однак цей випадок не може гарантувати необхідний рівень характеристик QoS, так як перевантаження навіть в одному вузлі може призвести до затримок і втрат пакетів [10–12].

Резервування пропускної спроможності пакетної мережі «з кінця в кінець» починається з операції, яка зветься контролем допуску в мережу потоку, який просить зарезервувати для свого обслуговування деяку пропускну здатність мережі між двома

кінцевими вузлами. Ця операція полягає в перевірці наявності доступної (тобто не зарезервованої для інших потоків) пропускної здатності у кожному з вузлів мережі протягом всього маршруту слідування потоку. Причому, максимальна середня швидкість потоку повинна бути менше, ніж запитувана пропускна здатність, інакше потік буде обслугований з дуже поганою якістю навіть незважаючи на те, що йому була зарезервована деяка пропускна здатність.

Якщо результат контролю допуску позитивний у кожному вузлі, то мережеві пристрої запам'ятовують факт резервування, щоб при появі пакетів даного потоку розпізнати їх і виділити їм зарезервовану пропускну здатність. Крім того, при успішному резервуванні доступна для резервування (у майбутньому) пропускна здатність зменшується на величину, зарезервовану за даними потоком. Потрібно підкреслити, що резервування – це процедура, яка виконується перед тим, як реальний трафік буде направлений в мережу.

Завдання вибору маршрутів для потоків (або класів) трафіку з урахуванням дотримання вимог QoS вирішують методи інжинірингу трафіку (Traffic Engineering, TE). За допомогою цих методів досягається ще одна мета – по можливості максимально і збалансовано завантажити всі ресурси мережі, щоб мережа при заданому рівні якості обслуговування володіла як можна більш високої сумарною продуктивністю.

Основним принципом роботи протоколів маршрутизації в мережах з комутацією пакетів є вибір маршруту на основі топології мережі без обліку інформації про її поточну завантаженість. Для кожної пари «адреса джерела – адреса призначення» такі протоколи обирають єдиний маршрут, не беручи до уваги інформаційні потоки, що протікають через мережу. В результаті всі потоки між парами кінцевих вузлів мережі йдуть по найкоротшому (згідно з деякою метрикою) маршрутом. Вибраний маршрут може бути більш раціональним, наприклад, якщо в розрахунок приймається номінальна пропускна здатність каналів зв'язку або затримки, які вносяться ними, або менш раціональним, якщо враховується тільки кількість проміжних маршрутизаторів між початковим і кінцевим вузлами.

Вихідними даними для методів інжинірингу трафіку є:

– характеристики передавальної мережі – її топологія, а також продуктивність складових її комутаторів і ліній зв'язку;

– відомості про запропоновані навантаження мережі, тобто про потоки трафіку, що мережа повинна передати між своїми прикордонними комутаторами.

Методи інжинірингу трафіку частіше застосовують до агрегованих потоків, які є об'єднанням

декількох потоків. Агреговане завдання потоків дозволяє спростити задачу вибору шляхів, так як при індивідуальному розгляді кожного користувача потоку проміжні комутатори повинні зберігати дуже великі обсяги інформації, оскільки індивідуальних потоків може бути дуже багато. В той же час, агрегування окремих потоків в один можливо тільки в тому випадку, коли всі потоки, що становлять сумарний потік, висувають одні і ті ж вимоги до якості обслуговування.

Завдання інжинірингу трафіку складається у визначенні маршрутів проходження потоків трафіку через мережу, тобто для кожного потоку потрібно знайти точну послідовність проміжних комутаторів та їх інтерфейсів. При цьому маршрути повинні бути такими, щоб усі ресурси мережі були навантажені до максимально можливого рівня, а кожен потік отримував необхідну якість обслуговування.

Існують різні формальні математичні визначення завдання інжинірингу трафіку. Рішенням задачі інжинірингу трафіку є такий набір маршрутів для заданої безлічі потоків трафіку, для якого всі значення коефіцієнтів використання ресурсів уздовж маршруту проходження кожного потоку не перевищують деякого заданого порогу.

Рішення завдання інжинірингу трафіку можна шукати двома способами. По-перше, можна шукати його завчасно. Для цього потрібно знати вихідні дані: топологію і продуктивність мережі, вхідні і вихідні точки потоків трафіку, середню швидкість передачі даних в них. Після цього завдання раціонального розподілу шляхів проходження трафіку при фіксованих точках входу і виходу, а також заданому рівні максимального значення коефіцієнта використання ресурсу можна вирішити за допомогою спрямованого перебору варіантів.

По-друге, інжиніринг трафіку можна вирішувати в оперативному режимі, доручивши її самим комутаторам мережі. Для цього використовуються модифікації стандартних протоколів маршрутизації. Модифікація протоколів маршрутизації полягає в тому, що вони повідомляють один одному не тільки топологічну інформацію, але й поточне значення вільної пропускної здатності для кожного ресурсу. Після того як рішення знайдене, потрібно його реалізувати, тобто втілити в таблицях маршрутизації. Таблиці маршрутизації враховують тільки адреси призначення пакетів. Комутатори і маршрутизатори таких мереж не працюють з потоками.

У протоколах резервування крім адреси призначення використовується деякий додатковий набір ознак. При цьому поняття потоку потрібно лише на етапі резервування, а при просуванні пакетів як і раніше працює традиційна для цього типу мереж схема, що враховує тільки адресу призначення.



За цих умов може виникнути ситуація, коли у нас є кілька потоків між двома кінцевими вузлами, і ми хочемо направити їх за різними маршрутами. Ми прийняли таке рішення, виходячи з балансу завантаження мережі, коли вирішували завдання інжинірингу трафіку. Комутатор або маршрутизатор, не має можливості реалізувати наше рішення, тому що для всіх цих потоків у нього в таблиці просування є тільки один запис – відповідна загальна адреса призначення пакетів цих потоків.

При вирішенні задачі інжинірингу трафіку ми вважали, що всі потоки трафіку пред'являли однакові вимоги до якості обслуговування. Тобто користувачів мережі задовольняло, що всі потоки обслуговуються з заданою середньою швидкістю (вона у кожного потоку своя). Більш реальною є ситуація, коли у кожного користувача мережі є кілька класів трафіку, і ці класи відрізняються різними вимогами до якості обслуговування. В інжинірингу трафіку методи, що враховують наявність у мережі трафіку з різними вимогами QoS, проблема вирішується так само, як і в методах резервування ресурсів окремих вузлів. Якщо у нас є, наприклад, два класи трафіку, то ми задаємо два рівня максимального використання ресурсів.

Для досягнення такого результату за кожним ресурсом повинно бути пов'язане два лічильника вільної пропускної здатності – один для пріоритетного, другий для еластичного трафіку. При визначенні можливості проходження маршруту через конкретний ресурс для пріоритетного трафіку середня інтенсивність нового потоку повинна порівнюватися з вільною пропускною здатністю для пріоритетного трафіку.

Якщо вільної пропускної здатності достатньо і новий потік піде через даний інтерфейс, то значення середньої швидкості передачі даних для нового потоку необхідно відняти як з лічильника завантаження пріоритетного трафіку, так із лічильника завантаження еластичного трафіку, так як пріоритетний трафік завжди буде обслуговуватися перед еластичним і створить для еластичного трафіку додаткове навантаження. Якщо завдання інжиніринг трафіку вирішується для еластичного трафіку, то його середня швидкість передачі даних порівнюється з вільною пропускною здатністю лічильника еластичного трафіку і в разі позитивного рішення значення цієї швидкості віднімається тільки з лічильника еластичного трафіку, так як для пріоритетного трафіку еластичний трафік прозорий.

Модифіковані протоколи маршрутизації повинні поширювати по мережі інформацію про два параметри вільної пропускної здатності – для кожного класу трафіку окремо. Якщо ж завдання узагальнюється для випадку передачі через мережу трафіку декількох класів, то, відповідно, з кожним

ресурсом повинно бути пов'язано стільки лічильників, скільки класів трафіку існує в мережі, а протоколи маршрутизації повинні поширювати вектор вільних пропускних здібностей відповідної розмірності.

## Висновки

Таким чином, в статті розглянуто основні методи та засоби забезпечення якості обслуговування телекомунікаційних мереж військового призначення. Для вирішення цієї задачі пропонується комплексний підхід, який враховує потреби всіх користувачів ТКМ по забезпеченню QoS. Пропонується наступна послідовність кроків рішення задачі, яка враховує етапи функціонування системи управління ТКМ в циклі управління:

1. Збір вихідних даних про стан мережі (топология, маршрутизація потоків), вузлів (продуктивність обладнання та ліній зв'язку, середня швидкість передачі даних), каналів (пропускна спроможність).

2. Аналіз даних по: відповідності параметрів трафіку (середня швидкість та пульсації трафіку) необхідному рівню; запобіганню перенавантаження в мережі; рівню затримки пакетів.

3. Обробка даних: моделювання перерозподілу ресурсів мережі з використанням комбінованих алгоритмів обслуговування черг (пріоритетне обслуговування, класифікація пакетів, вибір політики адміністрування мережі, зважені черги, без пріоритетне обслуговування, тощо).

4. Прийняття рішення на: проведення агрегування потоків (технології IntServ та DiffServ); використання методів кондиціонування трафіку (класифікація трафіку – списки контролю доступу; профілювання трафіку – обмеження швидкості потоку пакетів; формування трафіку – навмисна затримка пакетів з метою утримання середньої швидкості трафіку в заданих межах); використання методів зворотного зв'язку (між двома кінцевими вузлами мережі; між сусідніми комутаторами; між проміжним комутатором та вузлом-джерелом; між вузлом-одержувачем та вузлом-джерелом); встановлення заданого рівня затримки пакетів.

5. Виконання рішення: використання модифікованих протоколів маршрутизації, які враховують особливості топології та вільну пропускну здатність каналів зв'язку, затримки пакетів.

Напрямами майбутніх досліджень буде винайдення нових підходів забезпечення якості обслуговування в контексті управління трафіком телекомунікаційних мереж військового призначення з використанням архітектури SDN мереж.

## Список літератури

1. Бовда Е.М. Метод інжинірингу трафіку в військових телекомунікаційних системах / Е.М. Бовда // Тези

дповідей Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ». – Львів: Національна академія Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, 2017.

2. Ахмад Махсин Хайлан Поточкові моделі та дворівневі методи управління трафіком в IP/MPLS-мережах з підтримкою технології traffic engineering: дис. ... на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук / Ахмад Махсин Хайлан. – Х.: ХНУРЕ, 2011.

3. Будыльдина Н.В. Оптимизация сетей с многопротокольной коммутацией по меткам / Н.В. Будыльдина, Д.С. Трибунский, В.П. Шувалов – М.: Горячая линия Телеком, 2010. – 144 с.

4. Лемешко А.В. Тензорная модель многопутевой маршрутизации с гарантией качества обслуживания одновременно по множеству разнородных показателей / А.В. Лемешко, О.Ю. Евсеева // Электронное научное специализированное издание журнал «Проблемы телекоммуникаций». – 2012. – № 4 (9). – С. 42-46.

5. Евсеева О.Ю. Математическая модель и метод комплексного управления ресурсами транспортной программно-конфигурируемой сети / О.Ю. Евсеева, Е.Н. Ильашенко, Е.Б. Ткачева // Электронное научное специализированное издание журнал «Проблемы телекоммуникаций». – 2016. – № 1 (18). – С. 17-21.

6. Дорт-Гольц А.А. Разработка и исследование метода балансировки трафика в пакетных сетях свяжи: дис. ... на соискание учёной степени кандидата технических наук / А.А. Дорт-Гольц. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2014.

7. Ибраева Л.О. Механизмы балансировки сетевого трафика / Л.О. Ибраева, К.У. Мухамедрахимов // Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина (Астана), Казахстан.

8. Ning Wang An overview of routing optimization for internet traffic engineering / Ning Wang, Kin Hon Yo, George Pavlou, Michael Howarth // IEEE Communications Surveys & Tutorials 1st Quarter 2008. – P. 36-56.

9. Пахомова В.М. Дослідження інжинірингу трафіка в комп'ютерній мережі Укрзалізниці за технологією MPLS TE / В.М. Пахомова // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2015. – № 1 (55). – С. 139-145.

10. Зайченко Ю.П. Задача распределения потоков различных классов в сети с технологией MPLS / Ю.П. Зайченко, А.М. Шарадка // Вісн. НТУУ «КПІ». – Сер. Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – 2005. – № 43. – С. 113-123.

11. Кучерявый Е.А. Управление трафиком и качеством обслуживания в сети Интернет / Е.А. Кучерявый. – СПб.: Наука и техника, 2004. – 336 с.

12. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.

Надійшла до редколегії 11.05.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук доц. В.В. Кузавков, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ.

## МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Э.М. Бовда, В.В. Сальник

Методы обеспечения качества обслуживания в современных телекоммуникационных сетях военного назначения. В статье рассмотрены методы и средства обеспечения качества обслуживания в телекоммуникационных сетях, приведена их классификация. Предложен комплексный подход, который учитывает потребности пользователей по обеспечению качества обслуживания.

**Ключевые слова:** телекоммуникационная сеть, качество обслуживания (Quality of Service, QoS), traffic engineering, оптимизации трафика, распределения пропускной способности.

## METHODS OF ENSURING QUALITY OF SERVICE IN MODERN TELECOMMUNICATIONS NETWORKS FOR MILITARY PURPOSES

E. Bovda, V. Salnyk

The article considers the methods and means of ensuring quality of service in telecommunication networks, given their classification. The proposed integrated approach, which takes into account the needs of users to ensure quality of service.

**Keywords:** telecommunication networks, quality of service (Quality of Service, QoS), traffic engineering, traffic optimization, bandwidth allocation.