

$$M_{52} = \langle F_{AC}, T_{AC}, PL_{AC}^*, P, L_2, \Psi \rangle$$

где  $P$  – показателі рішення задач управління не автоматизованим способом;  $L_2$  – механізм оцінки планів  $PL_{AC}^*$  по ефективності;  $\Psi$  – порівняльні оцінки окремих планів побудови АС по ефективності.

$$M_{53} = \langle C, \Psi, L_3, PL_{AC} \rangle,$$

где  $L_3$  – механізм вибору раціонального плану;  $PL_{AC}$  – раціональний план створення АС.

Таким чином, запропонований підхід дає механізм системної структуризації процесу побудови технічного вигляду АС за допомогою формування плану його створення, що в цілому дозволяє отримати більш точні оцінки основних показателів створюваної системи.

#### Список литературы

1. Скурихин В.И. О формулировании концепций. Концепция “четырёх И” // Управляющие системы и машины. – 1989, № 2 – С. 7–12.
2. Володин С.В., Макаров А.Н., Умрихин Ю.Д., Фаражеев В.А. Общесистемное проектирование АСУ реального времени. – М.: Радио и связь. – 1984. – 231 с.
3. Дубов Ю.Я., Травкин С.И., Якимец В.Н. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем. – М.: Наука. – 1986. – 296 с.

Поступила 26.12.2004г.

УДК 654.1 (045)

І.В. Вербицький, Г.Ф. Конахович

### АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ, ЗАСОБІВ ТА МЕХАНІЗМІВ КЕРУВАННЯ РЕСУРСАМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ З КОМУТАЦІЄЮ ПАКЕТІВ

#### Вступ

Захист інформації від порушень доступності в мережах пакетної комутації напряму залежить від коректного вибору методів та механізмів керування трафіковими навантаженнями. Такий вибір має враховувати характеристики потоків даних, що циркулюють каналами мереж, та здійснюватися таким чином, щоб за виниклих умов експлуатації забезпечити досягнення максимально можливого значення коефіцієнту використання мережного обладнання. У даній роботі розглянуті сучасні методи, засоби та механізми керування ресурсами мереж з пакетною комутацією (МПК) та запропоновані шляхи подальшого збільшення ефективності такого керування.

#### 1 Недоліки традиційних протоколів маршрутизації

Від шляхів проходження трафіка (за умов його фіксованої інтенсивності на узгодженому рівні) залежить завантаження маршрутизаторів і каналів, що, за кінцевим рахунком, безпосередньо впливає на доступність мережних ресурсів для авторизованих користувачів та на ефективність їхнього використання.

Відомо, що більшість протоколів маршрутизації, у тому числі дистанційно-векторні (такі, як RIP) або стану зв'язків (наприклад, OSPF чи IS-IS), вибирають *найкоротший маршрут* відповідно до вибраної метрики. В простих випадках під час вибору маршруту згідно із специфікаціями цих протоколів враховується лише кількість проміжних маршрутизаторів (точніше, проміжних зв'язків, які називають “хопами”), що розташовані на шляху транспортування пакетів. В інших випадках з метою більш раціонального вибору маршруту враховується також номінальна пропускна здатність каналів зв'язку, а також рівні затримок, що цими каналами вносяться. Однак у будь-якому випадку вибирається єдиний маршрут, якщо не виявлено іншого абсолютно рівнозначного з точки зору вибраної метрики маршруту. На практиці абсолютно рівнозначних маршрутів майже не буває, але досить часто

виникає ситуація, коли для вибраного маршруту існують альтернативні шляхи з трохи гіршими характеристиками. На жаль, традиційні протоколи маршрутизації на таку альтернативу не реагують.

Відомим прикладом неефективності традиційних протоколів маршрутизації є так звана «риба» — мережа з топологією, що відображена на рисунку 1. Незважаючи на те, що між маршрутизаторами А та Е існує два шляхи — перший, через маршрутизатор В, і другий — через маршрутизатори С і D, — тим не менш, у відповідності з принципами традиційних протоколів весь трафік від маршрутизатора А до маршрутизатора Е буде спрямований через маршрутизатор В. Тільки тому, що другий шлях трохи довший (лише на один “хоп”), традиційний протокол його ігнорує, хоча він міг би працювати «паралельно» з першим шляхом.

Ще один недолік традиційних методів маршрутизації - шляхи вибираються без урахування ступеню поточного завантаження ресурсів мережі. Тобто, навіть якщо найкоротший шлях уже перевантажений, пакети все рівно посилаються цим шляхом.

Щоб позбавитися розглянутих вище недоліків і забезпечити можливість більш ефективного використання мережних ресурсів застосовується технологія інженерії трафіка (Traffic Engineering, TE).

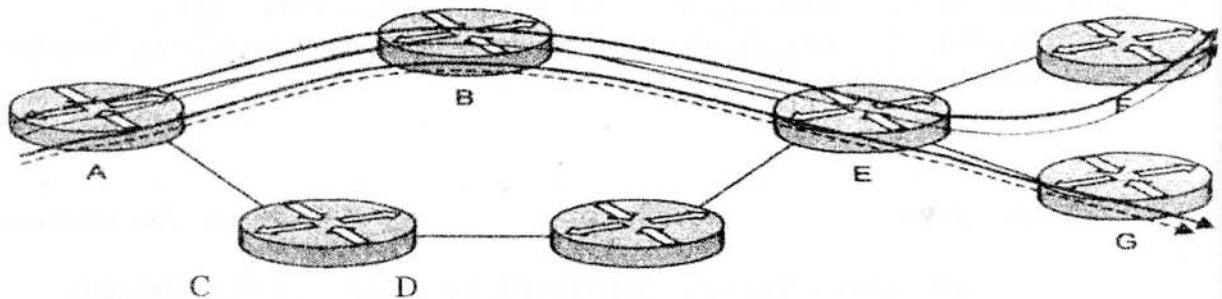


Рис. 1 Ілюстрація неефективності маршрутизації за принципом вибору найкоротших шляхів

## 2 Інженерія трафіка

Інженерія трафіка – це процес вибору раціональних шляхів проходження трафіка через мережу, де раціональність розуміється як досягнення збалансованого завантаження всіх ресурсів мережі.

Існують спеціалізовані методи і механізми здійснення інженерії, які спрямовані саме на збалансоване завантаження ресурсів.

Інженерію починають з аналізу таких двох типів характеристик:

1) характеристики транспортної мережі — її топологія, а також продуктивність (тобто, пропускна здатність) маршрутизаторів і каналів зв'язку, що функціонують у складі цієї мережі (приклад -див. рисунок 2);

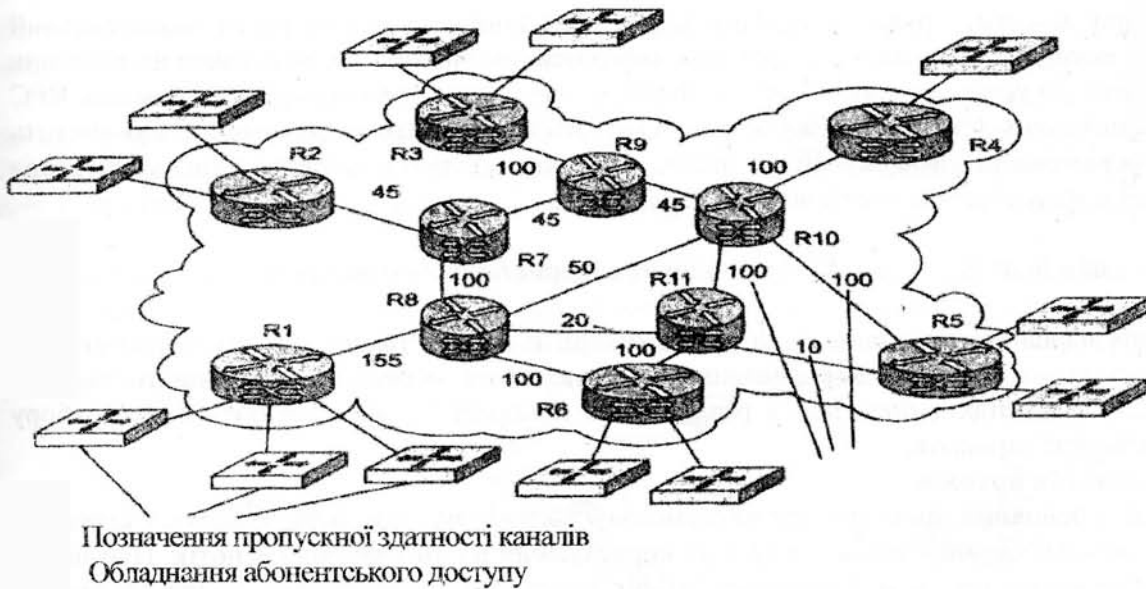


Рис. 2 Інженерія трафіка. Приклад відображення даних щодо топології мережі і продуктивності її ресурсів

2) запропоноване (бажане) навантаження на мережу, тобто дані про бажані значення величин щодо щільності потоків трафіка між кожною парою маршрутизаторів абонентського доступу, які розташовані на границях магистральної мережі (приклад - див. рисунок 3).

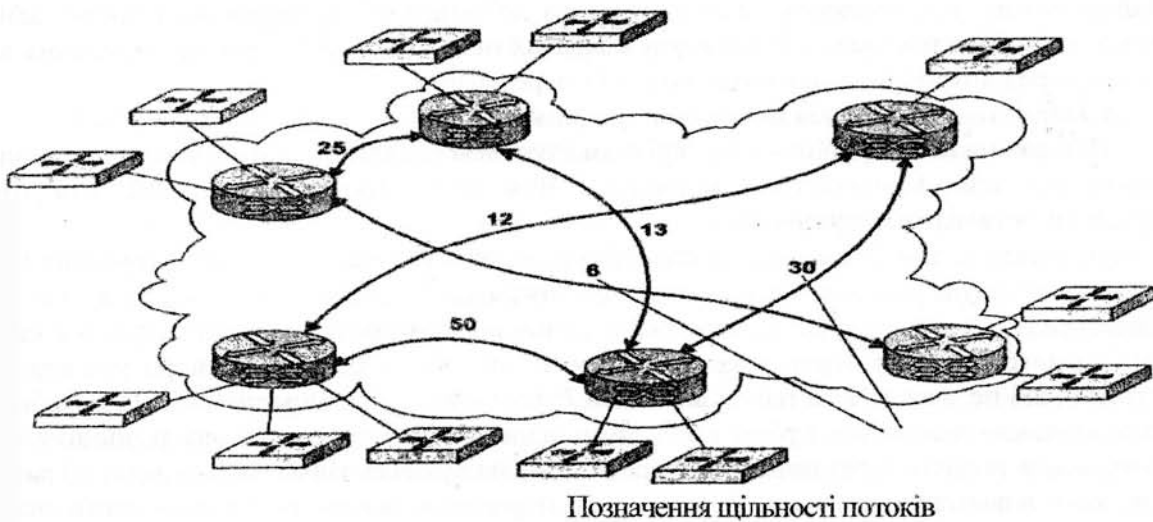


Рис. 3 Інженерія трафіка. Приклад відображення запропонованого навантаження на мережу

Задача інженерії полягає у визначенні шляхів проходження запропонованих потоків трафіка через мережу із визначеними характеристиками за умови, що усі ресурси мережі будуть навантажені якомога більш збалансовано.

Вирішити наведену задачу – це означає знайти для кожного заданого потоку точну послідовність проміжних маршрутизаторів і їхніх інтерфейсів, що знаходяться на шляху між вхідною і вихідною точками цього потоку. При цьому маршрути потоків мають бути такі, щоб навантаження елементів мережі було якомога більш рівномірним.

Формалізацію умови збалансованості ресурсів здійснюють різними способами. Наприклад, якщо за мету поставити мінімізацію нерівномірності у завантаженні мережних

ресурсів при звісній структурі трафіку мережі, то доцільно мінімізувати максимальний коефіцієнт використання того ресурсу, для якого цей коефіцієнт має максимальне значення у розрізі всіх ресурсів мережі. Саме так формулюється задача інженерії в документі RFC 2702 «Requirements for Traffic Engineering Over MPLS». У цьому документі, що містить загальні рекомендації форуму IETF щодо вирішення задач інженерії, цільова функція оптимізації маршрутів має такий вигляд:

$$\min (\max K_t), \quad \text{де } K_t \text{ — коефіцієнт використання } t\text{-го ресурсу.}$$

Іншим варіантом постановки задачі інженерії є пошук такого набору маршрутів, за яким значення коефіцієнтів використання усіх елементів мережі не перевищать заданий поріг  $K_{max}$ . Такий підхід простіше в реалізації за попередній, оскільки потребує перебору меншої кількості варіантів.

### **3 Агрегація потоків**

Один із основних прийомів, що використовується під час інженерії трафіка, є агрегація потоків, тобто об'єднання потоків окремих користувачів в один загальний потік. При цьому одним агрегованим потоком вважається трафік пакетів, що має загальні вхідну і вихідну точки.

За умов індивідуального розгляду кожного породжуваного користувачами потоку проміжні маршрутизатори повинні зберігати занадто великі обсяги інформації, оскільки індивідуальних потоків може бути дуже багато. Крім того, в цілях маршрутизації доводиться запам'ятовувати адреси кінцевих вузлів (а не проміжних маршрутизаторів) і програмних портів UDP/TCP застосувань, що ще більш ускладнює задачу. Тому агреговане завдання потоків дозволяє спростити задачу вибору маршрутів.

Необхідно, однак, мати на увазі, що агрегування потоків можливе лише тоді, коли всі складові потоки пред'являють однакові вимоги до якості обслуговування (тобто, однакові вимоги до параметрів QoS). На практиці в задачах інженерії здебільшого розглядають кілька потоків, серед когних частина або навіть всі є агрегованими.

### **4 Точність результатів інженерії трафіка**

Процес інженерії здійснюють з різним ступенем деталізації щодо опису характеристик потоків для яких визначаються маршрути. Чим вища ступінь деталізації, тим точніші результати оптимізації маршрутів.

Наприклад, для більш тонкої оптимізації мережі під час опису характеристик потоків бажано враховувати величину можливої пульсації трафіка або вимоги до якості обслуговування, зокрема, до припустимої величини затримок, варіації затримок та (або) припустимого відсотка втрат пакетів. Однак за цих умов задача інженерії ускладнюється настільки, що не завжди вдається її вирішити навіть наближеними методами. Тому в багатьох випадках задовольняються субоптимальними рішеннями, коли в процесі розподілу шляхів проходження потоків через мережу, як правило, враховуються тільки їхні середні щільності за умов, коли навантаження кожного ресурсу не перевищує попередньо визначеного значення, наприклад 0,65. Крім того, з метою спрощення усі потоки пакетів вважаються рівнозначними, тобто такими, що висувують однакові вимоги до якості обслуговування.

### **5 Субоптимальні методи інженерії**

Використовуються, в основному, такі два субоптимальні підходи до вирішення задачі інженерії трафіка:

завчасний пошук раціональних маршрутів у фоновому режимі;

автоматизований пошук раціональних маршрутів в оперативному режимі з використанням розширень протоколів маршрутизації, що працюють на основі алгоритму стану зв'язків.

У випадку застосування завчасного пошуку раціональних маршрутів у фоновому режимі потрібно знати такі вихідні дані: топологія і продуктивність мережі, вхідна і вихідна точки кожного потоку трафіка, середня щільність кожного потоку. Необхідно задати також



певний припустимий рівень максимального значення коефіцієнта використання ресурсу, неперевищення котрого має бути забезпечено.

За цих вихідних даних реалізується процедура спрямованого перебору варіантів (що краще зробити за допомогою спеціально створеної для цієї цілі комп'ютерної програми). Результатом такого перебору будуть точно визначені за вищевказаним критерієм маршрути для кожного потоку з вказівкою на місця розташування всіх проміжних маршрутизаторів у мережі.

Процес завчасного вирішення задачі інженерії трафіка у фоновому режимі доцільно продемонструвати на прикладі. Для цього візьмемо дані, що відображені на рисунках 2 та 3.

На рисунку 4 показано одне з можливих рішень поставленої задачі, яке гарантує, що максимальний коефіцієнт використання ресурсів не перевищить 0,6.

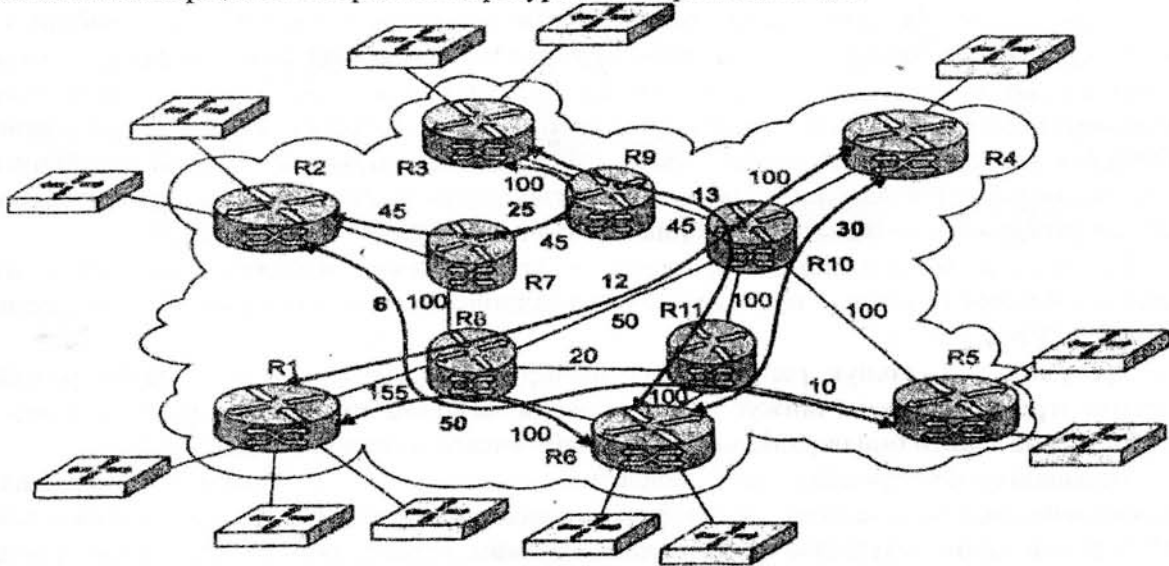


Рис. 4 Інженерія трафіка. Приклад розподілу навантаження на елементи мережі, за яким коефіцієнт використання кожного елемента не перевищує 0,6

У випадку автоматизованого пошуку раціональних маршрутів в оперативному режимі з використанням розширень протоколів маршрутизації, що працюють на основі алгоритму стану зв'язків, задача інженерії вирішується засобами мережної маршрутизації в оперативному режимі їхнього функціонування. Для цього використовуються розширення протоколів маршрутизації, що працюють на основі алгоритму стану зв'язків. Наразі такі розширення стандартизовані для протоколів OSPF і IS-IS.

Причина застосування протоколів маршрутизації саме цього класу полягає в тому, що ці протоколи, на відміну від дистанційно-векторних протоколів, до яких відноситься, наприклад, RIP, дають маршрутизаторові повну топологічну інформацію щодо мережі. Оголошення цих протоколів містять дані як про внутрішні маршрутизатори досліджуваної мережі, так і про інші зовнішні мережі, а також про всі фізичні зв'язки між ними. Кожний зв'язок характеризується поточним станом щодо працездатності і метрикою, яка є величиною, пропорційною його вартості використання. У традиційному варіанті граф мережі, ребра якого навантажені значеннями метрик, використовується маршрутизатором для вибору найкоротшого (з мінімальною сумарною метрикою) маршруту до кожної із зовнішніх мереж. При цьому із знайденого маршруту в таблиці маршрутизації запам'ятовується тільки наступний "хоп" (тобто, запам'ятовується IP-адреса лише найближчого маршрутизатора), а дані щодо інших проміжних "хопів" відкидаються. Таке здійснюється відповідно до прийнятого у IP-мережах принципу просування пакетів - кожен маршрутизатор приймає рішення тільки про один крок маршруту.

У протоколи OSPF і IS-IS, щоб надати можливість за їх допомогою вирішувати

задачі інженерії трафіка, включені нові типи сголошень, що поширюють каналами мережі додаткову інформацію про номінальну і незарезервовану пропускну спроможність кожного зв'язку. Таким чином, ребра результуючого графа мережі, що створюється в топологічній базі кожного маршрутизатора, ідентифікуються цими двома додатковими параметрами. Побудувавши такий граф, а також отримавши інформацію про параметри потоків, для яких потрібно знайти раціональні маршрути, маршрутизатор одержує можливість знайти субоптимальне рішення, що задовольняє, наприклад, одному із сформульованих вище обмежень на коефіцієнти використання ресурсів мережі, забезпечивши тим самим збалансоване завантаження мережі.

Для спрощення задачі оптимізації вибір шляхів щодо визначеного набору потоків може здійснюватися поступово по черзі за кілька етапів – спочатку у рамках однієї послідовності каналів визначеного набору, потім іншої послідовності цього набору і т.д. При цьому у якості обмеження виступає сумарне завантаження кожного ресурсу мережі. Зрозуміло, що у будь-якому випадку пропускну здатність маршрутизатора має бути (у середньому) достатньою для обслуговування будь-якого трафіка, який у змозі прийняти інтерфейси цього маршрутизатора. Тому обмеженнями є тільки максимально припустимі значення коефіцієнтів завантаження каналів зв'язку, котрі встановлюються індивідуально для кожного каналу окремо або ж мають однакові значення.

Процедура знаходження маршруту з урахуванням обмежень одержало назву *Constrained-based Routing*, а протокол OSPF з відповідними розширеннями — *Constrained SPF* або *CSPF*.

Зрозуміло, що пошук раціональних маршрутів по черзі з послідовним розглядом варіантів агрегації потоків знижує якість рішення, оскільки при одночасному розгляді всіх потоків можна знайти більш раціональний варіант завантаження ресурсів.

Проаналізуємо приклад, що наведений на рисунку 5. Задано обмеження на максимальну припустиме значення коефіцієнта використання ресурсів, яке прийнято рівним 0,65. Заданий також результуючий граф досліджуваної мережі, який відображений у верхній частині цього рисунку. Як бачимо, на п'яти вузлах A,B,C,D,E задано три потоки, що починаються на вузлі A і закінчуються на вузлі C. Середні щільності цих потоків N відповідно визначені як 50, 40, 30. Відношення між номінальною та незарезервованою пропускну спроможністю N' для кожного із вузлів - однакове і дорівнює 155/100. Метрика (тобто, вартість) M кожного зв'язку (кожного "хопу") дорівнює 65.

Розглянемо два варіанта вирішення задачі. У варіанті 1 рішення шукається при черговості розгляду потоків за таким порядком номерів потоків: 1 → 2 → 3. Для першого потоку був обраний маршрут A-B-C, тому що, з одного боку, він задовольняє заданому обмеженню на максимальний коефіцієнт використання ресурсів (в даному випадку, усі маршрутизатори уздовж маршруту виявляються завантаженими на  $50/155 = 0,32$ , тобто меншими, ніж 0,65), а з іншого боку, він має мінімальну метрику:  $65 + 65 = 130$ . Для другого потоку також був обраний шлях A-B-C, тому що у цьому випадку висунуте обмеження також задовольняється, тобто результуючий коефіцієнт використання виявляється рівним  $(50 + 40)/155 = 0,58$ . Третій потік направляється в напрямку A-D-E-C і завантажує ресурси каналів A-D, D-E і E-C на 0,3.

Рішення за варіантом 1 можна назвати задовільним, тому що в цьому випадку коефіцієнт використання будь-якого маршрутизатора у досліджуваній мережі не перевищує 0,58, тобто менший, ніж 0,65.

Однак існує краще рішення, представлене варіантом 2, згідно з котрим за маршрутом A-B-C спрямовуються потоки 2 і 3, а потік 1 — за маршрутом A-D-E-C. У цьому випадку ресурси першого маршруту виявляються завантаженими на 0,45, а другого — на 0,5, тобто в наявності більш рівномірне завантаження ресурсів, а максимальний коефіцієнт використання будь-якого елементу мережі не перевищує 0,5.

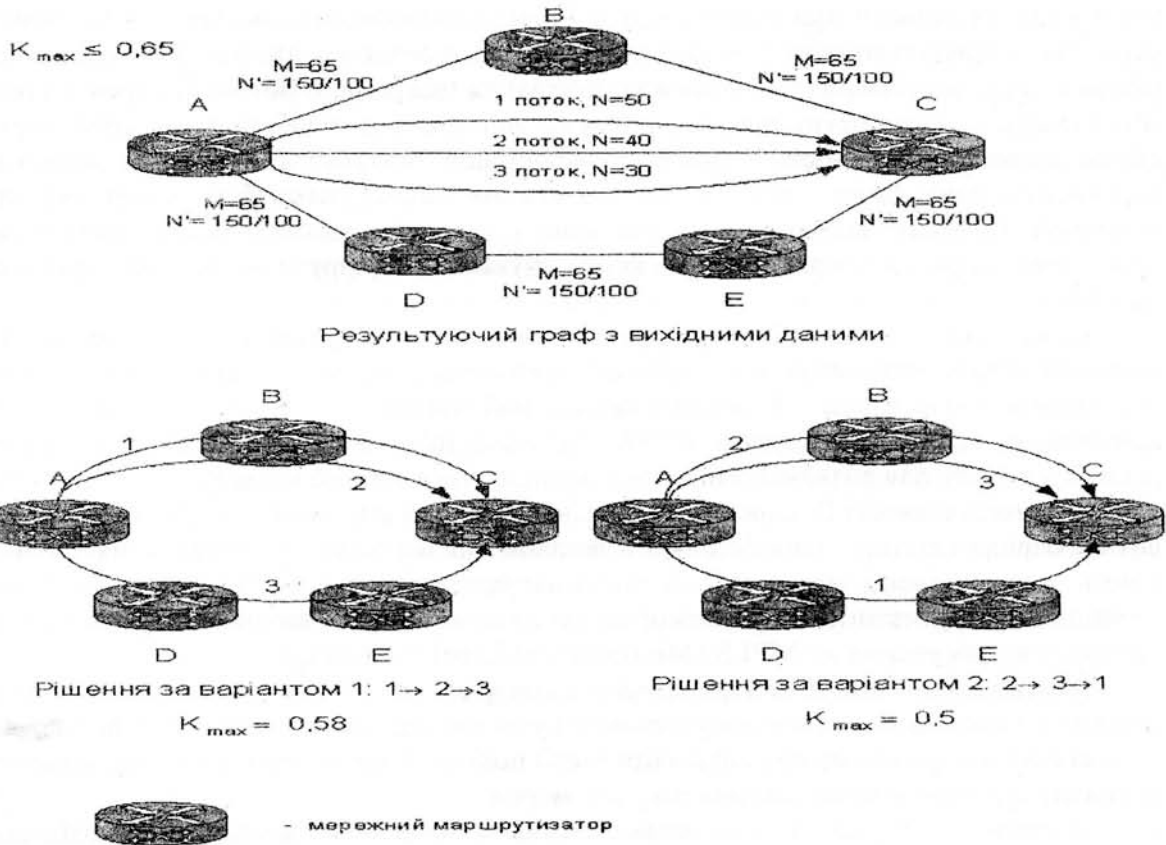


Рис. 5 Приклад субоптимальної інженерії трафіка з послідовним розглядом варіантів агрегації потоків

### 6 Переваги інженерії трафіка у порівнянні із стандартними протоколами маршрутизації

Особливість задач інженерії трафіка – це те, що у них інформація про знайдений раціональний шлях використовується цілком — запам'ятовується не тільки перший “хоп” маршруту (як це робиться в основному режимі IP-маршрутизації), але також інформація про всі проміжні вузли мережі (разом з початковим і кінцевим), тобто має місце маршрутизація від джерела. Тому безпосередньо маршрутизацією займаються тільки граничні маршрутизатори мережі, а внутрішні — лише надсилають до них необхідну інформацію про поточний стан мережі. Такий підхід має кілька переваг у порівнянні з розподіленою моделлю пошуку шляхів, що лежить в основі стандартних протоколів маршрутизації IP. По-перше, він дозволяє використовувати так звані «зовнішні» рішення, коли маршрути знаходяться якою-небудь зовнішньою системою оптимізації мережі в автономному режимі, а потім встановлюються в мережі. По-друге, кожний із граничних маршрутизаторів має можливість працювати за власною версією алгоритму пошуку, що спрощує роботу на устаткуванні різних виробників. По-третє, такий підхід розвантажує внутрішні LSR-маршрутизатори від роботи з пошуку шляхів.

### 7 Механізми реалізації визначених маршрутів

Після того як задача інженерії трафіка знайшла вирішення і маршрути визначені, необхідно задіяти механізм, який дозволяв би спрямовувати пакети, що відносяться до визначеного маршруту, саме через ті проміжні маршрутизатори, що були обрані.

Ця задача для IP-мереж ускладнюється тим, що основний режим маршрутизації пропонує лише єдиний «найкоротший» маршрут. В принципі, за цих умов, в IP-мережах існує можливість використати режим маршрутизації від джерела (Source Routing), оскільки він дозволяє джерелу пакетів задавати точну послідовність проміжних вузлів



уздовж шляху їхнього проходження. Але цьому режимові притаманні суттєві обмеження, через які в експлуатаційній практиці він не отримав розповсюдження. По-перше, наразі він підтримується не усіма виробниками устаткування (зокрема, в поточній версії 4 протоколів IP). По-друге, маршрутизація від джерела пов'язана з необхідністю транспортування небажано великої кількості службової інформації (оскільки кожен пакет додатково має переносити дані щодо всіх адрес проміжних маршрутизаторів, через які пролягає маршрут). По-третє, цей режим надзвичайно уразливий з погляду інформаційної безпеки: саме тому адміністратори під час конфігурування маршрутизаторів, як правило, його відключають.

Отже, для реалізації маршрутів, знайдених в результаті інженерії трафіка, використовують спеціальний службовий протокол, що, за звичайних умов, називають протоколом сигналізації. У якості такого найчастіше в IP-мережах використовується протокол резервування ресурсів RSVP (Resource reSerVation Protocol). У повідомленнях цього протоколу для визначеного потоку прописується точний маршрут, що встановлюється у вигляді послідовності IP-адрес інтерфейсів проміжних маршрутизаторів, через які протікає потік. Маршрутизатори запам'ятовують встановлені маршрути у спеціальних таблицях, які мають назву “таблиці комутації”. А для того щоб пакети просувалися не за допомогою таблиць маршрутизації, а за допомогою таблиць комутації, використовується спеціальна технологія просування — MPLS (Multiprotocol Label Switching).

Істотним з позицій інженерії трафіка є той факт, що ця технологія дозволяє передавати пакети (які належать визначеному потокові) уздовж заздалегідь обраного і встановленого в мережі шляху. При цьому специфіка інженерії полягає в тім, що шляхи вибираються з метою дотримання балансу завантаження ресурсів мережі.

Дотримання верхньої межі завантаження після впровадження результатів інженерії гарантує, що середня довжина і варіація черги до кожного ресурсу буде знаходитися у визначених межах, так що затримки пакетів і втрати через недостачу місця у буферній пам'яті також із визначеною імовірністю не будуть перевищувати звісних граничних значень. Правда, точні значення величин затримок і втрат пакетів тільки на основі додержання обмежень щодо коефіцієнтів використання ресурсів в реальних умовах експлуатації визначити практично неможливо, хоча цей коефіцієнт і найбільш істотно впливає на якісні показники роботи мережі. Уточнені оцінки значень затримок або відсотків втрат пакетів визначаються в мережі, як правило, шляхом натурних вимірювань. Результати таких вимірювань пропонуються клієнтам мережі відповідно до умов сервісних угод про рівень обслуговування (тобто, у SLA).

#### **8 Адаптивні методи керування трафіковими навантаженнями**

В теперішній час з'явилися роботи, в яких для подальшого збільшення коефіцієнту завантаження мережного обладнання пропонується застосовувати методи адаптивного перерозподілу ресурсів мережі в процесі її функціонування. Зокрема, пропонується перерозподіляти пропускну здатність комутатора між його портами в залежності від поточного трафікового завантаження цих портів. Такий підхід, як стверджують його автори, у разі його застосування дозволить збільшити коефіцієнт завантаження комутаторів у мережі до величин приблизно 0,6 – 0,7. Як бачимо, навіть після реалізації цих нових методів існує достатньо вагомий резерв збільшення економічної ефективності використання ресурсів мережі на шляхах, що пов'язані із спробами збільшити коефіцієнт використання основного обладнання мережі без зниження при цьому припустимого рівня якості обслуговування.

#### **9 Метод адаптивного перерозподілу пропускну спроможності комутатора між його портами**

Уданій роботі пропонується метод збільшення навантажень на мережне обладнання (зрозуміло, без погіршення якості обробки потоків пакетів) за рахунок адаптивного перерозподілу пропускну спроможності пакетного комутатора (або маршрутизатора) між його портами в процесі його роботи у реальному часі. Згідно з цим методом пропускну спроможність комутатора, як і у звісних методах, розподіляється між портами пропорційно



поточним величинам щільностей потоків пакетів, що надходять до цих портів.

Так, наприклад, якщо миттєва щільність потоку пакетів на якомусь порту в певних межах збільшується, то цьому порту треба виділити більшу частку пропускної спроможності комутатора (звісно, за рахунок зменшення часток пропускної спроможності, що виділяються іншим портам). І навпаки, якщо потік пакетів на якомусь порту зменшується, то відповідно зменшується і частка пропускної спроможності комутатора, яка цьому порту виділяється. При цьому динаміка процесу перерозподілу за певних умов має співпадати із динамікою пульсацій трафіку на увідних портах комутатора. Але, на відміну від звичних методів, такий перерозподіл здійснюється не тільки на основі визначення поточного стану характеристик потоків пакетів, що надходять до портів комутатора, але і з використанням результатів прогнозування характеру змін інтенсивностей цих потоків. Урахування “поведінки” потоків пакетів на портах комутатора дасть змогу підвищити динамічні характеристики системи автоматичного регулювання змінами параметрів комутатора, що пов’язані із здійсненням перерозподілу пропускної здатності комутатора, і за кінцевим рахунком підвищити коефіцієнт використання мережного обладнання.

Вищенаведене являє собою спрощене пояснення основної ідеї запропонованого методу адаптивного регулювання пропускних спроможностей (або, як кажуть, ширин смуг пропускання) портів комутатора. На практиці необхідно враховувати ряд умов, що є характерними для задач управління трафіковими навантаженнями: класифікація трафіка, пріоритезація класів трафіка, механізми керування чергами тощо. Тим не менш, такий підхід до підвищення ефективності використання ресурсів мережі у спеціалізованій літературі, наскільки нам відомо, не розглядався і в експлуатаційній практиці не використовується. Але, якщо б вдалося без істотних додаткових витрат ресурсів його втілити в життя, то навіть поверхневий аналіз вказує на перспективність такого підходу у широкому спектрі застосувань.

Зрозуміло, що в якості об’єкту досліджень за вищевказаним напрямком доцільно вибрати найбільш високовартісні елементи обладнання мережі, якими є, в першу чергу, магістральні комутатори і маршрутизатори, а також, в багатьох випадках, граничні комутатори і маршрутизатори абонентського доступу.

#### **Висновки**

Існуючі методи, засоби та механізми керування трафіковими навантаженнями у мережах з пакетною комутацією через пульсації трафіку не дозволяють у прийнятній мірі забезпечити завантаження мережного обладнання та (або) доступність мережних ресурсів для авторизованих користувачів. Розглянуті технології інженерії трафіка забезпечують суттєве підвищення коефіцієнту завантаження обладнання, але навіть після реалізації цих технологій існує достатньо вагомий резерв збільшення економічної ефективності використання ресурсів мережі на шляхах, що пов’язані із спробами збільшити коефіцієнт використання основного обладнання мережі без зниження при цьому припустимого рівня якості обслуговування. В роботі запропоновано метод збільшення навантажень на мережне обладнання за рахунок адаптивного перерозподілу пропускної спроможності пакетного комутатора (або маршрутизатора) між його портами в процесі його роботи у реальному часі. Такий перерозподіл має здійснюватися не тільки на основі визначення поточного стану характеристик потоків пакетів, що надходять до портів комутатора, але і з використанням результатів прогнозування характеру змін інтенсивностей цих потоків. Урахування “поведінки” потоків пакетів на портах комутатора дасть змогу підвищити динамічні характеристики системи автоматичного регулювання змінами параметрів комутатора і за кінцевим рахунком підвищити коефіцієнт використання мережного обладнання.

*Надійшла 4.01.2005р.*