

---

УДК 621.391

М.М. Климаш, Б.А. Бугиль

Національний університет "Львівська політехніка", Львів

## УЗАГАЛЬНЕНИЙ МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ СТРУКТУР ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ ЗА КРИТЕРІЄМ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗПОДІЛУ ЇЇ РЕСУРСІВ

У статті проаналізовано та обґрунтовано чинники, що впливають на неоптимальне використання мережевого ресурсу, закладеного при проектуванні телекомунікаційної мережі. В залежності від кількості ребер у топології мережі, основним фактором впливу на ефективність використання мережевого ресурсу є фізична або логічна структура мережі. Фізична структура формується при проектуванні мережі і в подальшому не зазнає значних модифікацій, тому в роботі запропоновано метод вибору фізичної структури, яка забезпечить максимальну якість сервісу потокам при заданій кількості вузлів і ребер. Із збільшенням зв'язності надлишковість фізичної структури зростає, що призводить до множини можливих логічних структур, формування яких забезпечує політика маршрутизації у мережі. Для максимізації використання мережевих ресурсів у роботі запропоновано метод модифікації логічної структури, що базується на пошуку альтернативних шляхів через найменш завантажені локальні сегменти телекомунікаційної мережі.

**Ключові слова:** телекомунікаційна мережа, структура, якість сервісу, маршрут, потік.

### Вступ

Телекомунікаційні мережі стали невід'ємною частиною життя, відколи з'явилися портативні при-

строї доступу. Мережа перестала бути об'єднанням комп'ютерів, і включає в себе будь-які пристрої, що мають модуль зв'язку. Таке різноманіття пристроїв та сервісів генерує значні об'єми інформації, які

об'єднуються у мультисервісні потоки інформації [1]. В процесі свого транспортування вони накладають жорсткі вимоги на мережеві ресурси. Відтак, набуває необхідності проектування мереж за сервісно-орієнтованою концепцією. Використання мереж не обмежується послугами зв'язку та передачею незначних об'ємів інформації, а поширюється на сервіси перегляду HD-відео, online-ігор та обміну файлами. Отже, необхідність досягнення компромісу між залученими коштами при побудові мережі та забезпеченням високого рівня якості обслуговування (QoS) користувачам при її експлуатації є особливо важливою.

Питанням проектування телекомунікаційних мереж присвячені роботи [1, 2], в яких обґрунтовується вибір об'єму мережевого ресурсу та його використання [1] в процесі функціонування мережі. Однак, здійснивши обґрунтування вибору мережевих ресурсів, не завжди можна досягти максимізації показника ефективності їх використання. Основні напрямки вирішення такого класу задач можна поділити на дві групи: оптимальний вибір маршрутів та вдосконалення методів управління трафіком і дослідження властивостей трафіку із забезпеченням необхідних ресурсів на етапі проектування [3]. Обидва напрямки мають за мету максимально ефективно використовувати мережеві ресурси. Дослідження властивостей трафіку дозволяє визначити його поведінку та, спрогнозувавши реакцію мережі, вжити необхідних заходів для покращення рівня сервісу. Такі результати є імовірнісними і ситуаційними, що змушує сферу їх практичного застосування. Вибір оптимальних маршрутів базується на метриках та алгоритмах маршрутизації, які класично використовують графову або поточкову модель [4, 5]. Робота протоколів маршрутизації безпосередньо залежить від фізичної структури мережі, так як повинна утворити найкращу логічну структуру, критеріями оцінки якої є параметри якості сервісу транспортних потоків.

В даній роботі запропоновано комплексний метод підбору фізичної та логічної структур, які дозволять максимально використати мережевий ресурс для забезпечення потоків високого рівня сервісу.

### Постановка задачі

Прокладання маршруту через структуру мережі протоколами динамічної маршрутизації формує розподіл мережевих ресурсів, який впливає на рівень якості сервісу потоків. Оскільки інтенсивність потоків є випадковою величиною, що змінюється в часі, завантаженість мережі, а отже і якість сервісу, залежить від його пікового значення. Для потоків, що транспортуються по виділених лініях, обмежувачим фактором якості сервісу є пропускна здатність каналу зв'язку, а для потоків із гарантованим сервісом – величина зарезервованої смуги пропускання.

Виділена лінія для окремого потоку вимагає повнозв'язної топології, що не завжди ефективно із точки зору затрачених коштів на будівництво. Таким чином, у мережах із кількістю з'єднувальних ланок, меншою за максимальну, одне ребро може належати декільком маршрутам, що призведе до конкуренції за виділення пропускної здатності ребра для кожного із потоків.

При виборі маршрутів за протоколами динамічної маршрутизації [6], найкоротший маршрут не гарантує забезпечення якості сервісу; також більшість метрик не враховує існуючих маршрутів, які вже проходять по ланці. Основною проблемою при виборі маршрутів із гарантованою якістю сервісу для потоків є структура мережі, яка першочергово обмежує найдосконаліші протоколи динамічної маршрутизації, змушуючи вибирати найкращі маршрути з можливих.

Найбільш очевидними прикладами впливу структури є мережі з низькою зв'язністю, такі як зірка та кільце. Для таких мереж задача маршрутизації не є актуальною, оскільки існує лише один можливий варіант логічної структури. Логічна структура маршрутів в такому випадку наближається до фізичної структури мережі. Протилежна ситуація спостерігається для структур із високою зв'язністю, для яких побудова логічної структури є багатоваріантною задачею. Основну можливість зміни логічної структури забезпечують маршрути з однаковою метрикою – так як вони рівноцінні, то протокол маршрутизації обирає перший знайдений. Для таких маршрутів, зазвичай, використовують балансування навантаження [7], що полягає у розділенні інформаційних потоків рівномірно по всіх еквівалентних маршрутах. Балансування є хорошим механізмом рівномірного завантаження мережі, однак не гарантує однаковий рівень сервісу для кожного з підпотоків. Окрім маршрутів з однаковою метрикою, будуть існувати альтернативні, котрі, згідно метрики протоколу маршрутизації, будуть вважатись неоптимальними. Такі маршрути застосовуються у випадку виходу з ладу основного маршруту, або, як у протоколі EIGRP [8, 9], для пропорційного балансування навантаження.

У кожному з випадків для утворення логічної структури протоколи маршрутизації обирають маршрут без врахування завантаження мережі. Протоколи EIGRP та CSPF враховують у власній метриці поточну завантаженість і прокладають маршрут згідно вимог потоку. Їхні дії дозволяють гарантувати потокам задовільний рівень сервісу, однак їх минулі та поточні рішення будуть мати вплив на обрані в майбутньому шляхи. Може виникнути ситуація, коли сумарний ресурс по всіх альтернативних шляхах є достатнім для передачі потоку заданої інтенсивності, однак утворення єдиного потоку є

неможливим. В такому разі потрібно розпаралелити потік по нееквівалентних маршрутах, що не дозволить гарантувати задовільну якість сервісу. Іншим варіантом є перерозподіл маршрутів: знайшовши невеликі потоки з низькими вимогами до якості сервісу, маршрути яких містять спільні ребра з тим, який потрібно утворити, здійснити їх перенаправлення по альтернативних, а вивільнений ресурс витратити для утворення бажаного потоку. Звісно, другий варіант передбачає значні часові затримки на пошук, або ж навіть віднайти такі потоки неможливо. Однак, в роботі розглядається саме він, так як зберігається вимога гарантування дотримання задовільного сервісу потоком і забезпечується раціональне використання мережевого ресурсу.

Згідно вищесказаного, задача забезпечення потоків задовільним сервісом полягає у правильному комбінуванні фізичної і логічної структур телекомунікаційної мережі. Обидві компоненти є одним цілим і, в залежності від зв'язності структури, стають домінуючими при впливі на якість сервісу. Тому розв'язуються дві підзадачі: вибір фізичної структури та зміна логічної структури, обраної протоколами маршрутизації, для забезпечення потоків задовільного рівня сервісу.

### Методи вибору та оптимізації фізичної та логічної структур мережі

Для розв'язання підзадачі вибору фізичної структури запропоновано використати теорію графів, де структура телекомунікаційної мережі буде представлена графом  $G = (V, E)$ , множина вершин  $V$  відповідає вузлам мережі, а множина ребер  $E$  – каналам. Однією з переваг використання теорії графів є можливість дослідження властивостей мереж із максимальним охопленням характеристик ребер, що дозволяє аналізувати вплив пропускної здатності, завантаженості та затримки в каналах передавання інформації на роботу мережі. Водночас, враховувати параметри та характеристики вузлів, а також зміну властивостей потоків при обробці можливо лише по їх впливу на параметри ребер [10].

В теорії графів не кожен граф може представляти телекомунікаційну мережу, тому накладаються обмеження на кількість ребер та їх розміщення в структурі графа. Дане обмеження стосується зв'язності графа; згідно її основного визначення, між кожною парою вузлів повинен існувати шлях. Забезпечивши відповідність графа телекомунікаційній мережі, в подальшому здійснюється дослідження ефективності фізичної структури на предмет забезпечення задовільного рівня якості сервісу потокам за допомогою методу аналізу ієрархій (МАІ).

Даний метод призначений для прийняття складних рішень згідно встановлених критеріїв шляхом парних порівнянь. Основним його недоліком є

формування вхідних даних шляхом суб'єктивних суджень експертів. Його застосування при порівнянні структур графів є неприйнятним, тому вхідні дані будуть формуватись шляхом визначення максимально можливого рівня сервісу в досліджуваній структурі. У відповідності до МАІ, потрібно сформувати ієрархічну структуру досліджуваного завдання (рис. 1), верхній рівень якої буде визначати ціль – фізична структура з потоками, яким забезпечено максимальний рівень сервісу. Другий рівень представляє критерії оцінки, тобто показники якості сервісу. В роботі були прийняті два критерії: інтенсивність потоку  $I$  та завантаженість мережі  $L$ . Завантаженість не є показником рівня сервісу, однак безпосередньо впливає на нього і, найголовніше, – вказує на ефективність використання мережевого ресурсу. Під інтенсивністю потоку розуміємо максимальну швидкість передавання між двома вузлами мережі, яка може бути забезпечена потоком згідно обраного маршруту.

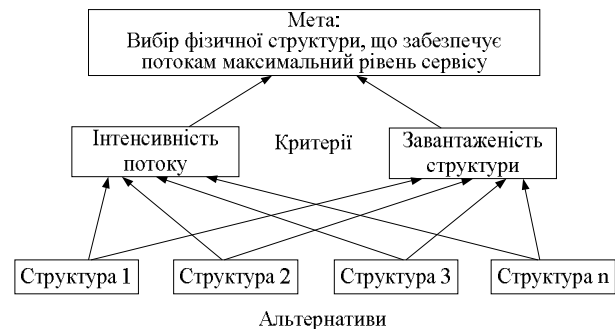


Рис. 1. Ієрархічне представлення задачі згідно методу аналізу ієрархій

Для порівняння структур між собою потрібно забезпечити уніфікацію формування потоків та пропускних здатностей ребер. Також дані обмеження будуть використовуватись при заміні маршрутів у логічній структурі. У роботі будуть прийняті наступні обмеження:

- в мережі одночасно існують всі потоки, причому між кожною парою вузлів  $i$  та  $j$ ,  $i \neq j$  передається один ненаправлений потік, який протікає по обраному маршруту;
- пропускна здатність всіх ребер є однаковою;
- пропускна здатність ребра рівномірно ділиться між всіма потоками, що проходять через неї;
- пропускна здатність потоку між вершинами  $i$  та  $j$ ,  $i \neq j$  визначається найменшою пропускною здатністю в ребрі, що належить обраному маршруту.

Дані обмеження дозволяють сформувати сталий потік, який в результаті рівноправної конкуренції з іншими потоками набуває максимального значення інтенсивності. Так буде сформовано перший критерій у вигляді матриці інтенсивності потоків  $I$ . Для структур графів, у яких кількість маршрутів, що

проходить по кожному ребрі, не є однаковою, спостерігаємо недовантаження мережі. Це впливає із введеного обмеження про пропускну здатність шляху за теоремою про максимальний потік. Завантаженість кожного ребра є другим критерієм та виражене матрицею завантаженості  $L$ .

На останньому – третьому – рівні ієрархії розміщені альтернативи, тобто структури графів. Потюки, що циркулюють у структурі, оцінюються за введеними критеріями, та згідно поставленої цілі структурі присвоюється показник ефективності  $P$  за наступним співвідношенням:

$$P = \max \left[ \sqrt{|V| \prod_{i=1, j=1}^{|V|} I_{i,j}^{w_1}} + \sqrt{|V| \prod_{i=1, j=1}^{|V|} L_{i,j}^{w_2}} \right], i \neq j, \quad (1)$$

де  $P$  – показник ефективності структури;  $w_k$  – вага  $k$ -го критерію;  $|V|$  – кількість вершин графа;  $I$  – матриця інтенсивності потоків;  $L$  – матриця завантаженості.

Цільовою функцією є  $\max(P)$ , тобто структура, у якій потоки набувають найвищих показників якості сервісу. Згідно вищеописаного методу здійснюється підбір фізичної структури, що має найбільший ефект для структур з низькою зв'язністю. Із збільшенням зв'язності фізична структура не є вирішальним чинником забезпечення потоків задовільним рівнем сервісу через багатоваріантність розподілу мережесих ресурсів. Вибраний оптимальний маршрут із множини шляхів розподіляє ресурси фізичної структури між потоками, утворюючи логічну структуру. Зміна маршрутів за критерієм максимізації виділених мережесих ресурсів для потоків дозволить підібрати таку логічну структуру, яка раціонально використовує ресурси фізичної.

Розв'язування поставленої підзадачі здійснено у декілька етапів, на яких отримуються вхідні дані, порівнюються та вибираються кращі маршрути. Першим кроком є пошук шляхів у досліджуваній структурі графа та формування матриць найкоротших шляхів  $W$  і завантаженості ребер потоками  $R$ . Матриця  $R$  виражає завантаженість ребра, з тією особливістю, що завантаженість виражається кількістю потоків, що проходять по ребру.

Нехай маємо граф  $G = (V, E)$ , тоді  $e_{i,j} = (i, j)$ ,  $i \neq j$ ,  $i, j \in V$  визначає ребро графа, що з'єднує вершини  $i$  та  $j$ . Визначення матриці найкоротших шляхів  $W$  буде здійснюватись за алгоритмом Флойда, де кожен елемент матриці є шляхом  $\mu(i, j) = \{e_{i,l}, e_{l,m}, \dots, e_{k,j}\}$ ,  $i \neq j$ ,  $i, l, m, k, j \in V$ . Даний запис містить послідовність ребер  $e_{l,m}$ , які належать вибраному найкоротшому шляху. Якщо граф повнозв'язний, то кожен елемент матриці містить лише одне ребро, яке з'єднує відповідні вершини. У

решти структур графів ребра можуть повторюватись в декількох шляхах. Для неорієнтованого графа буде достатньо враховувати шляхи, записані над або під діагоналлю матриці.

Матриця  $R$  характеризує кількість найкоротших шляхів, що проходить через кожне ребро графу, відповідно незаповнені елементи вказують на відсутність ребра між вершинами, а елементи, що відповідають ребрам графа, можуть приймати значення від 0 до  $|E_{\max}|$ . Заповнення даної матриці відбувається на основі матриці найкоротших шляхів сумуванням кількості потоків, що проходять через ребро

$$e_{l,m} \quad R_{l,m} = \begin{cases} R_{l,m} + 1, & e_{l,m} \in \mu \\ R_{l,m}, & e_{l,m} \notin \mu \end{cases}, \mu \in W_{\text{tout}}, l, m \in V,$$

що входить до будь-якого із найкоротших шляхів.

Значення матриці  $R$  будуть слугувати характеристикою завантаження ребра. Якщо всі записи є однаковими, то ресурси розподілені рівномірно між усіма маршрутами, згідно введених обмежень на формування потоків, і логічна структура підібрана правильно. Тому, в загальному критерій підбору логічної структури має вигляд  $\min[\max(R) - \min(R)]$ . Значення в дужках вказує на нерівномірність завантаження ребер потоками. Якщо не задано значення інтенсивності потоків між кожною парою вузлів, дана величина вказує на існування потенційно вузьких місць мережі за кількістю маршрутів. Із врахуванням ситуації, що склалася при IP-маршрутизації, для граничних мережесих пристроїв зовнішній канал буде містити найбільшу кількість маршрутів на ребро, але визначити його як потенційно перевантажений є невірним. Однак, суть введення матриці завантаженості ребер потоками полягає у тому, щоб визначити, які потоки будуть проходити через вказане ребро, і в подальшому, просумувавши швидкості кожного потоку, визначити сумарну завантаженість (Мбіт/с). Так можна діяти при відомих значеннях інтенсивностей потоків між кожною парою вузлів, а в даному випадку враховуємо лише факт існування потоку, що відображено матрицею.

У структурах із великою зв'язністю завжди є можливість перевизначення маршрутів для рівномірного завантаження всіх сегментів мережі. Для цього потрібно знайти у матриці  $R$  значення найменш завантажених ребер і перенаправити потоки, наявні у перенасичених ребрах, у знайдені. Оскільки, шлях представляє собою послідовність ребер, потрібно виділити із досліджуваної структури, представленій графом мережі, не просто окремі найменш завантажені ребра, а зв'язний підграф. Для цього застосовано алгоритм пошуку найменшого зв'язного дерева (Minimum Spanning Tree, MST) до матриці завантаженості ребер шляхами  $R$ . Побудоване дерево  $G_{\text{MST}}(V, E_{\min})$  буде містити всі вузли графа  $G$ , з'єднані мінімальною кількістю ребер, що відносяться до найменш завантажених. В отриманій стру-

ктурі існує лише один шлях між двома вузлами, без врахування зворотного, і він являє собою потенційний обхідний шлях між вузлами через незавантажений сегмент мережі.

Для знаходження потенційних обхідних маршрутів потрібно застосувати алгоритм Флойда до знайденого найменшого зв'язного дерева  $G_{MST}(V, E_{min})$  та сформувати матрицю шляхів  $W_{MST}$ . Отримана матриця шляхів  $W_{MST}$  може містити найкоротші шляхи, визначені у матриці  $W$ , та обхідні шляхи з максимальним рангом  $r = |V| - 1$ , оскільки деревовидна структура виключає наявність петель. Для пошуку задовільної логічної структури здійснюється відсіювання дублюючих шляхів у матрицях  $W$  та  $W_{MST}$ , та шляхів максимального рангу. Даний крок потрібен для знаходження шляхів, які із найбільшою вірогідністю посприяють покращенню розподілу ресурсів мережі. Найкраще взаємно замінювати шляхи, в яких різниця метрик є мінімальною, що пояснюється мінімальним значенням додаткового навантаження ребер обхідного шляху, однак не для всіх варіантів логічних структур це справедливо.

Після відбору обхідних шляхів треба визначити, які з них будуть мати позитивний вплив при введенні їх у логічну структуру, та вибрати максимально ефективні. Для цього був введений показник ефективності розподілу ресурсів  $K$  (2). Він характеризує зміну завантаженості мережі згідно матриці  $R$ , так як зміна одного з маршрутів вплине на перерозподіл ресурсу. Чим меншим буде значення показника  $K$ , тим більшою мірою вивільнений ресурс посприяв підвищенню рівня сервісу.

$$K = \min \left( \sum_{i,j} \left( \frac{\sum R_{i,j}}{|E|} - R_{i,j} \right) \right). \quad (2)$$

Для визначення найбільш ефективної логічної структури потрібно по черзі підставити кожен відібраний шлях  $\mu_{MST}(i, j)$ ,  $i \neq j$ ,  $i, j \in V$  у матрицю шляхів  $W$  та визначити значення  $K$  згідно (2). Шлях, який найбільш позитивно впливає на логічну структуру, буде відповідати мінімальному показнику  $K$ , і саме його потрібно замінити.

Відповідно, не кожен відібраний маршрут посприяє позитивному перерозподілу ресурсів, зрештою, якщо будуть відомі критичні інтенсивності потоків, це накладе додаткові обмеження на показник  $K$ . Оскільки, в роботі вони не задаються, то значення показника вказує на сумарне покращення рівня сервісу потоків з урахуванням зміни балансу ресурсів телекомунікаційної мережі. При заміні маршруту вивільнений ресурс піде на підвищення рівня сервісу суміжних потоків та його зменшення

для потоків на шляху нового маршруту. Показник  $K$  висвітлює кількісну складову цих змін, а критерій мінімуму буде вказувати на збільшення об'єму ресурсів переважному числу потоків.

Із збільшенням кількості вузлів кількість варіанцій структур різко зростає, тому підбір логічної структури може вимагати зміни більш як одного шляху. Альтернативні шляхи обираємо за результатами застосування алгоритму MST до досліджуваного графа  $G$ , тому кількість шляхів, які потрібно замінити, на пряму залежить від кількості незалежних мінімальних зв'язних дерев. Для структур з кількістю ребер більшою за  $|E| = y \cdot |E_{min}| + 1$ ,  $y = 2, 3, \dots, N$  буде існувати у незалежних дерев, і у кожному з них буде обраний маршрут для зміни логічної структури.

### Дослідження запропонованих методів оптимізації структур

Для дослідження запропонованих методів було розроблено програмний комплекс у пакеті MatLab, та проведено два експерименти по визначенню фізично та логічної структур. У першому експерименті порівнюються фізичні структури із 5-ма вершинами. Згідно запропонованого методу підбору фізичної структури, потрібно згенерувати вхідні дані, якими є зв'язні структури графів із 5 вершин. Загальна кількість структур для 5 вершин становить 728 варіантів, які належать до однієї із 21 виду топології. Через велику кількість топологій будуть представлені лише вибіркові результати, які варті найбільшої уваги. Для кожного виду топології мінімально існує 5 структур.

При застосуванні методу підбору фізичної структури розраховуємо для кожної структури показник ефективності. Для зручності всі структури були розбиті на групи в залежності від кількості ребер, а в кожній групі було знайдено найкращу топологію (рис. 2). Мінімальна кількість ребер для 5-ти вузлів є 4, що формує 125 зв'язних структур, при цьому утворюється три топології: ланцюг (60 структур), дерево (60 структур) та зірка (5 структур). Критерієм порівняння виступає максимум показника ефективності  $P$ , розрахованого згідно (1), який приймає максимальне значення для структур типу зірка (рис. 2, а,  $P=0.6250$ ). Дана топологія зарекомендувала свою ефективність в мережах Ethernet, і згідно запропонованого методу забезпечує максимальний рівень сервісу потокам. При збільшенні кількості ребер показник ефективності наближається до значення 1, яке приймає повнозв'язна топологія. У другій групі (5 ребер) максимальний показник належить топології типу кільце (рис. 2, б,  $P=0.6667$ ). Дана топологія також широко застосовується в мережах SDH, в основному через високу надійність.

На рис. 2, в, г, д, представлено топології які є найбільш ефективними у групах з кількістю ребер 6, 7 та 8. У даних групах зв'язність структури є достатньо великою і фізична структура не відіграє визначальне значення, тому потрібно застосувати другий метод по підбору логічної структури.

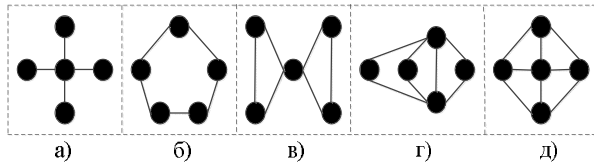


Рис. 2. Структури з найвищим показником ефективності

Починаючи з другої групи структур (5 ребер), з'являються топології у яких існують альтернативні маршрути з еквівалентною метрикою. В залежності від того, який із маршрутів буде обраний для побудови логічної структури, змінюється показник ефективності використання ресурсів. Тобто проявляється вплив варіацій логічної структури на рівень сервісу потоків; із збільшенням кількості ребер даний вплив є суттєвішим. Метод підбору логічної структури застосовано для структури вигляду, представленого на рис. 3 із 7-ма ребрами. Вибір одного із можливих маршрутів буде впливати на показник ефективності розподілу ресурсів  $K$ , розрахований за (2), мінімум якого буде вказувати на найбільш підходящу логічну структуру.

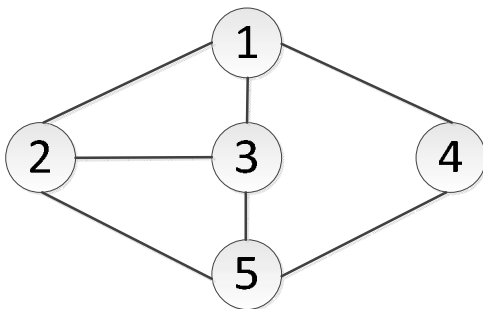


Рис. 3. Вигляд досліджуваної структури

Після всіх процедур відсіювання шляхів було обрано 4 маршрути, які можуть позитивно вплинути на розподіл мережевого ресурсу. Дані маршрути, а також показник ефективності  $K$  представлені у табл. 1. Початковий показник  $K$  рівний 4.28, тому для покращення логічної структури зміна маршруту повинна призвести до його зменшення.

Як видно з табл. 1, потрібно замінити маршрут  $\mu(3,5) = \{e_{3,5}\}$  на довший  $\mu(3,5) = \{e_{3,2}, e_{2,5}\}$ , адже це дозволить досягти вищих показників якості сервісу для потоків. Як бачимо, даний маршрут є довшим за попередній, однак його введення в логічну структуру дозволить підвищити сумарний показник рівня якості сервісу для кожного з потоків.

Таблиця 1

Значення показника ефективності  $K$  при зміні маршруту

Обраний маршрут	Альтернативний маршрут	$K$
$\mu(1,3) = \{e_{1,3}\}$	$\mu(1,3) = \{e_{1,2}, e_{2,3}\}$	5.14
$\mu(1,5) = \{e_{1,3}, e_{3,5}\}$	$\mu(1,5) = \{e_{1,2}, e_{2,5}\}$	5.14
$\mu(2,4) = \{e_{2,1}, e_{1,4}\}$	$\mu(2,4) = \{e_{2,5}, e_{5,4}\}$	2.28
$\mu(3,5) = \{e_{3,5}\}$	$\mu(3,5) = \{e_{3,2}, e_{2,5}\}$	3.14

## Висновок

Величина наданого мережею ресурсу для потоку вказує на рівень отриманого ним сервісу. Однією з причин неефективного використання мережевого ресурсу є неузгодження фізичної та логічної структури мережі, що позначається на зниженні ефективності її використання. Закладений у мережу ресурс не відповідає сумарному ресурсу всіх з'єднувальних ліній, а залежить від фізичної структури та вибраних маршрутів. У кожен момент часу роботи мережі доступний мережевий ресурс буде також залежати від поточної її завантаженості. Однак, завантаженість мережі практично не враховується у роботі традиційних протоколів динамічної маршрутизації, а, отже, обрані маршрути будуть оптимальними з точки зору розподілу ресурсів лише для недовантажених мереж.

У роботі запропоновано комплексний підхід, що складається з двох методів, які полягають у виборі найбільш підходящої фізичної та логічної структури за критерієм забезпечення максимального рівня сервісу потокам. У проведених експериментах було взято мережі з 5-ма вузлами та згідно запропонованих методів досліджено, які з структур будуть забезпечувати найвищий рівень сервісу. В залежності від кількості ребер досліджуваної структури, домінуючим фактором впливу постала фізична (для структур малої зв'язності) або логічна (для сильно зв'язних структур) структура мережі. Запропоновані методи та проведені експерименти здійснювались із вказаними у статті обмеженнями на потоки та канали, тому отримані результати свідчать про найбільш вірогідне покращення ситуації із розподілом ресурсів, однак не абсолютно достовірне. За результатами експериментів по дослідженню фізичної структури, згідно критерію ефективності (1), структури типу зірка та кільце дозволяють забезпечити потоки максимальним сервісом, при цьому використання ресурсів мережі буде найкращим. Підбір підходящої логічної структури згідно обраної фізичної здійснювався шляхом відбору маршрутів та їхньої заміни згідно критерію (2). Як показує експеримент, для досягнення максимальних результатів використання ресурсів мережі, оптимальний маршрут не завжди

повинен бути найкоротшим або володіти найбільшою пропускну здатністю.

Отже, у роботі запропоновано узагальнений метод підбору фізичної та логічної структур, що дозволять підвищити ефективність використання ресурсів мережі та забезпечити кращий рівень сервісу потокам. У майбутніх дослідженнях планується застосувати дані методи при випадкових інтенсивностях потоків, та шляхом статистичного моделювання визначити, який вигляд фізичної структури дозволить максимально ефективно використовувати закладений при проектуванні мережевий ресурс та які корективи потрібно внести у логічну структуру, побудовану протоколами динамічної маршрутизації для забезпечення потоків задовільним рівнем сервісу.

### Список літератури

1. Klymash M. Service-oriented Resource Planning for Multiservice IP Networks / M. Klymash, O. Lavriv, B. Buhil // *International Workshop «Computational Problems of Electrical Engineering» (CPEE'12)*. – Lviv, 2012. – Vol. 2, №1. – P. 59-63.
2. Лемешко А.В. Динамическая модель структурно-функционального синтеза транспортной ТКС [Электронный ресурс] / А.В. Лемешко, В.Л. Стерин // *Проблемы телекоммуникаций*. – 2011. – № 3 (5). – С. 8-17. – Режим доступа к журн.: [http://pt.journal.kh.ua/2011/3/1/113\\_lemeshko\\_synthesis.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2011/3/1/113_lemeshko_synthesis.pdf).
3. Климаш М.М. Интегральная оценка эффективности выбора маршрутов передачи потоков данных для разных конфигураций сетевых топологий / М.М. Климаш, Б.А. Бугиль, О.А. Лаврив // *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Радіоелектроніка та телекоммунікації*. – Львів, 2012. – №738. – С. 95-100.
4. Поповский В.В. Обзор и сравнительный анализ основных моделей и алгоритмов многопутевой маршрутизации в мультисервисных телекоммуникационных сетях / В.В. Поповский, А.В. Лемешко, Л.И. Мельникова, Д.В. Андрушко // *Прикладная радиоэлектроника*. – 2005. – Том.4, вып. № 4. – С. 372-382.
5. Orda A. QoS Routing: The Precomputation Perspective / A. Orda, A. Sprintson // *Proc. IEEE INFOCOM*. – New York, 2000. – Vol. 3. – P. 283-291.
6. Medhi D. Network routing: algorithms, protocols, and architectures / D. Medhi, K. Ramasamy. – Morgan Kaufmann, 2007. – 788 p
7. Keslassy I. Optimal Load-Balancing / I. Keslassy, C. Chang, N. McKeown, D. Lee // *Proc. IEEE Infocom '05*. – Miami, 2005. – Vol.4, № 3. – P. 1054-1065.
8. Pioro M. Routing, Flow, and Capacity Design in Communication and Computer Networks / M. Pioro, D. Medhi. – Morgan Kaufmann Series in Networking. Издательство: Elsevier Digital Press. 2000. – 794 p.
9. Руденко И. Маршрутизаторы CISCO для IP-сетей / И. Руденко. – М.: КУДИС-ОБРАЗ, 2003. – 656 с.
10. Klymash Mykhailo. Service Quality Oriented Method of Multiservice Telecommunication Networks Design / Mykhailo Klymash, Orest Lavriv, Bohdan Buhil, Yuriy Danik // *11th International Conference Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science Dedicated to the 60th Anniversary of Radio Department at Lviv Polytechnic National University TCSET'2012*. – February 21-24, 2012. – Lviv-Slavsk, Ukraine. Publishing House of Lviv Polytechnic. – P. 235-236.

Надійшла до редколегії 24.04.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.О. Пелішок, Національний університет "Львівська політехніка", Львів.

### ОБОБЩЕННЫЙ МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУР ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ ПО КРИТЕРИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ

М.Н. Климаш, Б.А. Бугиль

В статье проанализированы и обоснованы факторы, влияющие на неоптимальное использование сетевого ресурса, заложенного при проектировании телекоммуникационной сети. В зависимости от количества ребер в топологии сети, основным фактором влияния на эффективность использования сетевого ресурса является физическая или логическая структура сети. Физическая структура формируется при проектировании сети и в будущем не претерпит значительных модификаций, поэтому в работе предложен метод выбора физической структуры, который обеспечит максимальное качество сервиса потокам при заданном количестве узлов и ребер. С увеличением связности избыточность физической структуры возрастает, что приводит к множеству возможных логических структур, формирование которых обеспечивает политика маршрутизации в сети. Для максимизации использования сетевых ресурсов в работе предложен метод модификации логической структуры, базирующейся на поиске альтернативных путей через наименее загруженные локальные сегменты телекоммуникационной сети.

**Ключевые слова:** телекоммуникационная сеть, структура, качество сервиса, маршрут, поток.

### GENERALIZED METHOD FOR TELECOMMUNICATIONS NETWORKS STRUCTURES OPTIMIZING BASED ON RESOURCE ALLOCATION EFFECTIVENESS CRITERION

M.M. Klymash, B.A. Buhil

The paper analyzes and justifies factors affecting on not optimum use of network resources embedded in the design of telecommunication networks. Depending on the number of edges in the network topology, the main factor influencing the efficiency of network resource is physical or logical structure of the network. Physical structure is formed when designing networks and wouldn't undergo significant modifications in future, so the paper proposes a method of physical structure selecting. This structure will provide the highest flow service quality for a given number of nodes and edges. Physical structure redundancy increases due to connectivity increasing, which leads to a set of possible logical structures formed by network routing policy. To maximize the use of network resources it is proposed to modify the logical structure based on alternative routes search through the less loaded local segments of the telecommunication network.

**Keywords:** telecommunication network, structure, quality of service, route, flow.