

УДК 004.716:621.39

DOI: 10.31673/2412-9070.2022.041721

Г. О. ГРИНКЕВИЧ, доктор техн. наук, доцент;  
А. Г. ЗАХАРЖЕВСЬКИЙ, канд. техн. наук;  
І. В. ЗАМРІЙ, канд. фіз.-мат. наук, доцент;  
В. В. ВАСИЛЕНКО, канд. техн. наук, доцент,  
Державний університет телекомунікацій, Київ

## АЛГОРИТМ ДИНАМІЧНОГО РЕЗЕРВУВАННЯ КАНАЛЬНОГО РЕСУРСУ АГРЕГОВАНОГО ПОТОКУ ДАНИХ

*Запропоновано алгоритм динамічного резервування каналного ресурсу агрегованого потоку даних. Реалізацію цього алгоритму виконано на VPN-шлюзі, призначеному для керування потоками даних, їх фільтрацією, організацією пріоритетного допуску потоків даних у VPN-тунелі. Розроблений на випадок виникнення навантаження алгоритм має передусім оцінювати стан мережі та за здобутими результатами виконувати функції резервування та керування допуском потоків даних з огляду на їх пріоритети.*

**Ключові слова:** агрегований потік; алгоритм; потік даних; VPN-тунелі; навантаження.

### Вступ

У сучасних телекомунікаційних системах динамічне резервування каналного ресурсу агрегованого потоку даних є одним із найважливіших завдань, яке дає змогу ефективно використовувати доступний ресурс, забезпечуючи високу якість обслуговування абонентів. Розроблення алгоритму динамічного резервування є складною задачею, оскільки потрібно задовольнити оптимальний розподіл ресурсу між абонентами під час змінного завантаження мережі.

Отже, пропонується підхід до розроблення алгоритму динамічного резервування каналного ресурсу агрегованого потоку даних, який забезпечує ефективний розподіл ресурсів та високу якість обслуговування абонентів. Зокрема, розглядатимуться підходи до динамічного розподілу ресурсів залежно від завантаження мережі, методи наближення й оптимізації, які дають можливість зменшити складність алгоритму, а також гарантувати його ефективну роботу. Результати цієї статті можуть бути корисними для розробників телекомунікаційних систем та для дослідження галузі телекомунікацій.

### Основна частина

На підставі критеріїв ефективності використання орендованого каналного ресурсу (КР) запропоновано розроблення алгоритму динамічного резервування каналного ресурсу агрегованого потоку даних захищених корпоративних мульти-сервісних мереж зв'язку (ЗКММЗ), ефективність від впровадження якого досліджується методами імітаційного моделювання. Реалізувати такий алгоритм можна лише на VPN-шлюзі, призначеному для керування потоками даних, їх фільтрацією, організацією пріоритетного допуску потоків даних у VPN-тунелі. Вироблений на випадок виникнення навантаження алгоритм має передусім оцінювати стан мережі та за здобутими результатами

виконувати функції керування допуском потоків даних з огляду на їх пріоритети [1].

Вибір методу розв'язання оптимізаційної задачі максимізації завантаження наявного КР пріоритетним трафіком залежить від розмірності вхідних даних та їх природи, а також від вибраних критеріїв перерозподілу, які зі свого боку залежать від конфігурування мережі та прийнятих правил її функціонування [2; 3].

Алгоритм динамічного резервування каналного ресурсу агрегованого потоку даних забезпечує допуск потоків сервісу, що надається, у відповідний VPN-тунель за наявності ресурсів мережі для обслуговування та за умов перевантаження мережі на основі плану обслуговування з фіксованим абсолютним пріоритетом [4; 5].

Як вихідні дані для роботи алгоритму взято:

$I$  —  $l$ -й VPN-тунель (визначається під час конфігурування VPN-шлюзу);

$Pri$  — пріоритет  $i$ -го потоку даних;

$\{N\}$  — безліч обслуговуваних у VPN-шлюзі потоків даних за годину;

$\{M\}$  — безліч вхідних потоків даних (що надходять на обслуговування в VPN-шлюз) за годину;

$R_s$  — резервованій КР для  $s$ -го класу сервісу (VPN-тунелю);

$S$  — кількість класів сервісів.

Схему розроблюваного алгоритму наведено на рис. 1.

Критерій достатності КР для обслуговування сумарного трафіку  $n$  потоків базується на порівнянні потрібного КР для обслуговування запропонованого навантаження (множини обслуговуваних  $\{N\}$  та вхідних  $\{M\}$ ), що обчислюється за допомогою розробленого алгоритму динамічного резервування каналного ресурсу агрегованого потоку даних та зарезервованого для цього класу каналного ресурсу ЗКММЗ:

Розглянемо послідовність виконуваних алгоритмом дій, яка охоплює 19 пунктів.

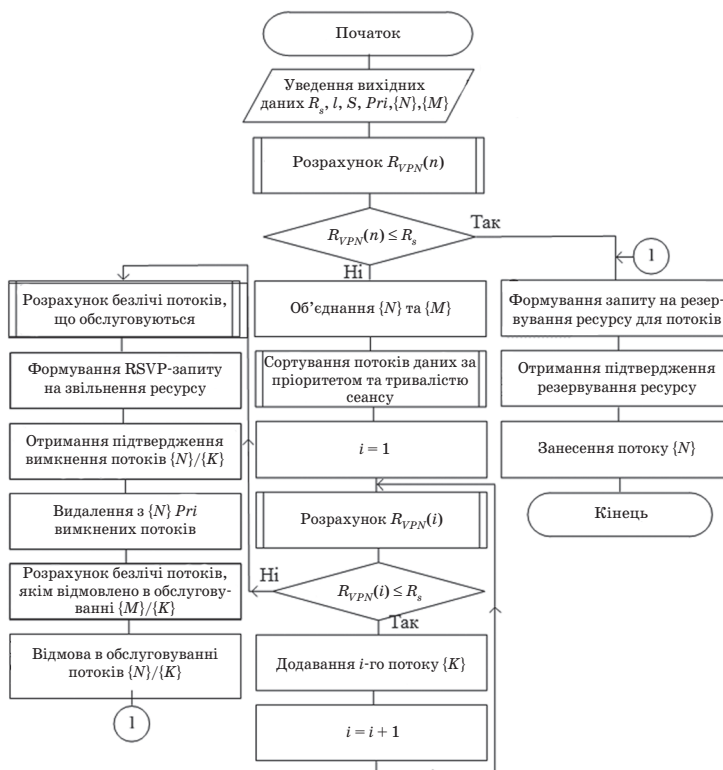


Рис. 1. Схема алгоритму динамічного резервування каналного ресурсу агрегованого потоку даних захищеної корпоративної мультисервісної мережі зв'язку

1. На цьому етапі функціонування алгоритму в оперативну пам'ять VPN-шлюзу вводяться вихідні дані.

2. Обчислюється необхідний КР для обслуговування агрегованого потоку, що містить безліч потоків даних, які обслуговуються і входять у даний момент часу наданого сервісу, для розрахунку ресурсу агрегованого потоку даних розробленого алгоритму динамічного резервування каналного ресурсу:

$$R_{VPN(n)} = \frac{\sum_{i=1}^n a p_i \frac{\sum_{i=1}^n b_i - \gamma L_i}{\sum_{i=1}^n (a p_i - \beta r_i)} + 2\gamma L_i}{t_{ПМ} + \frac{\sum_{i=1}^n b_i - \gamma L_i}{\sum_{i=1}^n (a p_i - \beta r_i)} - \frac{\gamma L_i}{R_{КС}}} \quad (1)$$

3. Порівняння необхідного КР для обслуговування агрегованого потоку в даному VPN-тунелі з допустимим КР, зарезервованим у канал зв'язку для  $l$ -го VPN-тунелю —  $R_S$  на етапі планування:  $R_{VPN(n)} \leq R_S$ .

4. У разі виконання умови  $R_{VPN(n)} \leq R_S$  множини потоків даних, що обслуговуються, і вхідних у даний момент часу наданого сервісу є допущеними до подальшого обслуговування, і від VPN-шлюзу формується запит у канал зв'язку на резервування ресурсу для допущених потоків даних.

5. Після отримання підтвердження на резервування ресурсу на VPN-шлюзі всі вхідні потоки заносяться в безліч потоків  $\{N\}$ , що обслуговуються, і здійснюється допуск потоків даних наданого сервісу в мережу. Відбувається налаштування системи керування потоками VPN-шлюзу та переналаштування вагових коефіцієнтів планувальника за розрахованими значеннями необхідного КР  $R_{VPN(n)}$  для відповідного VPN-тунелю сервісу. Алгоритм завершує свою роботу до надходження нового запиту обслуговування.

6. Невиконання умови  $R_{VPN(n)} \leq R_S$  свідчить про недостатність каналного ресурсу для обслуговування безлічі  $\{N\}$ , що обслуговуються, і вхідних  $\{M\}$  у даний момент часу потоків даних наданого сервісу, оціненого за допомогою розробленого алгоритму динамічного резервування каналного ресурсу, що призводить до появи навантаження мережі. За цих умов вирішується завдання визначення оптимального набору потоків даних з огляду на їх пріоритети та тривалість сеансу, які мають блокуватися, методом розв'язання оптимізаційного завдання «рюкзачного» типу. Сортування потоків даних згідно із запропонованим методом спочатку здійснюється за значеннями їх пріоритетів, а потім — за тривалістю заняття КР. У разі такого підходу за умов перевантаження передусім блокуються низькопріоритетні потоки даних реального часу, для потоків даних одного пріоритету мають блокуватися з'єднання з максимальною тривалістю встановлених сеансів зв'язку.

7. Проводиться об'єднання множин  $\{N\}$ , що обслуговуються, і вхідних  $\{M\}$  у даний момент часу потоків даних, що надається сервісу.

8. Виробляється сортування потоків за пріоритетом та тривалістю сеансу в об'єднаній множині обслуговуваних і вхідних у даний момент часу потоків даних сервісу.

9. Вибирається перший потік  $i = 1$  із множини відсортованих потоків для обчислення необхідного КР.

10. Обчислюється необхідний КР для обслуговування першого потоку з безлічі відсортованих потоків.

11. Під час виконання умови  $R_{VPN}(i) \leq R_S$  перший потік із безлічі відсортованих потоків переміщується в безліч потоків, допущених до обслуговування за умови перевантаження  $\{K\}$ . Готується перехід до номера потоку  $i = 2$ .

12. Здійснюється обчислення необхідного КР для обслуговування агрегованого потоку, що складається з першого та другого потоків із безлічі відсортованих потоків, згідно з виразом для розрахунку ресурсу агрегованого потоку даних розробленого алгоритму динамічного резервування каналного ресурсу.

13.1. Під час виконання умови  $R_{VPN}(i) \leq R_S$  другий потік із безлічі відсортованих потоків переміщується в безліч потоків, допущених до обслуговування за умови перевантаження  $\{K\}$ . Готується перехід до номера потоку  $i = 3$ .

Далі повторюються кроки 10-13 і в разі виконання умови  $R_{VPN}(i) \leq R_S$  здійснюється переміщення відповідних потоків у безліч потоків, допущених до обслуговування за умови перевантаження  $\{K\}$ .

Такі дії відбуваються доти, доки умова  $R_{VPN}(i) \leq R_S$  не перестане виконуватись. Зрештою буде сформовано безліч допущених до обслуговування потоків за умови перевантаження мережі  $\{K\}$ .

Потоки, що залишилися з безлічі відсортованих, підпадають під вимкнення (якщо є потоками, що обслуговуються  $\{N\}$ ) або відмову в обслуговуванні (якщо є вхідними потоками  $\{M\}$ ).

13.2. У разі невиконання умови  $R_{VPN}(i) \leq R_S$  розраховується безліч потоків, що вимикаються через видалення з безлічі допущених потоків за умови перевантаження  $\{K\}$  безлічі обслуговуваних потоків  $\{N\}$ .

14. Формується RSVP-запит на звільнення ресурсу для потоків, які вимикаються, на термінальні апарати, що генерують дані з'єднання.

15. Після отримання підтвердження на вимкнення потоків відбувається видалення даних потоків із безлічі потоків, що обслуговуються.

16. Розрахунок множини потоків, яким відмовлено в обслуговуванні, здійснюється видаленням із множини допущених потоків за умови перевантаження  $\{K\}$  множини вхідних потоків  $\{M\}$ .

17. Відмова в обслуговуванні розрахованої безлічі потоків.

18. Після визначення оптимального набору потоків даних з огляду на їх пріоритети, які мають блокуватися, від VPN-шлюзу формується запит до КС на резервування ресурсу для допущених потоків даних за умови навантаження  $\{K\}$ .

19. Після отримання підтвердження на резервування ресурсу на VPN-шлюзі всі потоки, допущені до обслуговування за умови перевантаження  $\{K\}$ , заносяться в безліч потоків, що обслуговуються  $\{N\}$  і здійснюється допуск потоків даних сервісу, що надається в мережу. Проводиться налаштування системи керування потоками VPN-шлюзу та переналаштування вагових коефіцієнтів планувальника за розрахованими значеннями необхідного КР  $R_{VPN}(n)$  для відповідного VPN-тунелю сервісу. Алгоритм завершує свою роботу до надходження нового запиту обслуговування.

Розроблений алгоритм призначено для реалізації як спеціальне програмне забезпечення, завантажене з оперативної пам'яті та виконане у вигляді фонового процесу в VPN-шлюзі.

Результатом роботи алгоритму є формування керувальних впливів допуску в VPN-тунелі потоків даних реального часу (ПДРЧ) на етапі встановлення з'єднання, беручи до уваги вплив процедури шифрування на їх параметри. Розроблений алгоритм має властивість детермінованості. Тобто кроки алгоритму (процедури) настільки точні та виразні, що не припускають двозначних тлумачень. Вони єдиним і цілком певним шляхом щоразу приводять до результату.

Масовість розробленого алгоритму означає, що його може бути застосовано не тільки до єдиних вихідних даних або набору даних, а й до цілого класу схожих завдань. Результативність чи здійсненність алгоритму означає, що з будь-яких допустимих вихідних даних і в разі точного виконання всіх розпоряджень алгоритм приведе до результату за скінчену кількість кроків. Але оскільки ця вимога може знехтувати реальними умовами, зокрема під час швидкої зміни вихідних даних у процесі розв'язання оптимізаційного завдання, тому говорять про «потенційну» здійсненність.

Дискретність розробленого алгоритму доводиться тим, що алгоритмічний процес розділено на окремі елементарні дії (процедури), можливість виконання яких безперечна. У результаті маємо сукупність розпоряджень, що позначають структуру алгоритму.

Ефективність алгоритму визначається мінімальним часом відшукування оптимального розв'язку з мінімальними витратами ресурсів пам'яті. Максимальні часові витрати під час функціонування алгоритму допуску потоків до транспорт-

ної мережі ЗКММЗ витрачаються на розв'язання оптимізаційної задачі.

Щоб здобути швидке розв'язання цієї задачі, було вибрано метод Данцига, який належить до «жадібних» алгоритмів, тобто на кожному кроці вибирається локально-оптимальне вирішення, унаслідок чого підсумкове рішення не завжди буде оптимальним [6].

Обчислювальна складність розробленого алгоритму визначається найбільш трудомісткими процедурами з погляду часу їх виконання. До цих процедур належить вкладений цикл під час розрахунку необхідного КР ЗКММЗ обслуговування трафіку, що надходить у VPN-тунель, у процесі надання захищених послуг реального часу.

Для дослідження властивостей алгоритму динамічного керування КР під час навантаження послуги IP-телефонії за тих самих параметрах джерел навантаження створювалися такі умови перевантаження: орендований КР 100 Мбіт/с; від 20-ти джерел генерувалось навантаження вищого пріоритету; від 35-ти — середнього пріоритету та 45-ти — нижчого пріоритету для кожної з цих послуг.

Результати функціонування алгоритму в режимі керування допуском ПДРЧ в транспортну мережу унаочнює рис. 2, звідки випливає, що до настання навантаження (100 с) у каналі зв'язку обслуговуються потоки всіх трьох пріоритетів. Після моменту часу (100 с) спостерігається відмова в обслуговуванні потоків меншого пріоритету під час виділення ресурсів як потокам вищого, так і середнього пріоритетів. З появою нових заявок на встановлення з'єднання (170 с) відбувається повне припинення обслуговування низькопріоритетних потоків, а на 215-й с простежується процес перерозподілу ресурсів уже між потоками вищого і середнього пріоритетів, де завдяки припиненню обслуговування потоків середнього пріоритету допускаються до обслуговування високопріоритетні потоки.

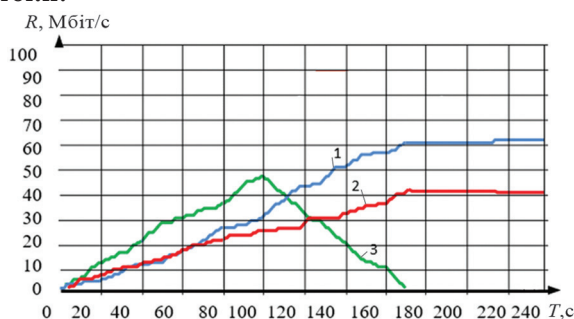


Рис. 2. Динаміка роботи алгоритму допуску за умов навантаження: обслуговування високопріоритетних потоків (1), потоків середнього пріоритету (2) та низькопріоритетних потоків (3)

Очевидно, що динаміка роботи запропонованого алгоритму за умов навантаження повністю підтверджує логіку роботи, закладену в процесі

формування та обґрунтування критеріїв оптимального перерозподілу пропускної здатності каналу зв'язку.

Під час надання послуг IP-телефонії, відеотелефонії та послуги виходу в інтернет з виникненням навантаження оцінювався технічний ефект від застосування розробленого алгоритму та реалізації пріоритетного допуску потоків даних до транспортного ресурсу мережі. Як показник оцінювання ступеня використання КР ЗКММЗ у разі перевантаження (нештатне функціонування мережі) вибрано ймовірність втрат викликів пріоритетних користувачів. Прийнято припущення, що навантаження, створюване абонентами вищих категорій, у разі перевантаження обслуговується з гарантованою якістю. Водночас розроблений алгоритм допуску потоків у транспортну мережу завдяки вибору оптимального набору допущених до обслуговування потоків з огляду на їх пріоритети і тривалість сеансу, а також резервування КР на основі розробленого алгоритму динамічного резервування каналного ресурсу агрегованого потоку даних дає змогу зменшити ймовірність втрат викликів від пріоритетних користувачів. За наявності категорій користувачів у ЗКММЗ, яким надається даний клас послуг (0 — керівники корпорації та їх заступники, 1 — начальники відділів, 2 — рядові співробітники), навантаження, що створюється абонентами вищої категорії (№ 0), обслуговується з гарантованою якістю, ймовірність втрат викликів від користувачів категорії № 1 зменшується. Здобуті під час проведення експерименту на імітаційній моделі дані зведено в таблицю.

Технічний ефект від застосування  
модельно-алгоритмічного інструментарію  
в разі виникнення перевантаження

Послуга	Канальний ресурс, що резервується на етапі проєктування мережі, $R$ , Мбіт/с	Канальний ресурс, обчислений на основі $R_{VPN}(n)$ , Мбіт/с	Технічний ефект, %
Відеотелефонія	34,8	32,3	27
IP-телефонія	13,8	13,7	13

Скориставшись значенням КР, здобутим за допомогою розробленого алгоритму динамічного резервування каналного ресурсу агрегованого потоку даних на основі УФП, у виразі першої формули Ерланга дістанемо змінені значення ймовірностей втрат викликів. Ця зміна склала для послуги відеотелефонії приблизно 0,008, що становить майже 27% щодо нормованого значення. Для послуги IP-телефонії — 0,004 (13%). Очевидно, що під час резервування КР, отриманого з використанням розробленого алгоритму динамічного резервуван-

ня каналного ресурсу агрегованого потоку даних на основі УФП, що дорівнює КР, обчисленому на етапі проектування мережі з використанням формули Ерланга (для послуги IP-телефонії — 13,8 Мбіт/с, послуги відеотелефонії — 34,8 Мбіт/с), кількість потоків, що одночасно обслуговуються, збільшиться, а отже, імовірність втрат викликів зменшиться на отримані зміни, наведені в таблиці.

### Висновки

На основі розробленого алгоритму динамічного резервування каналного ресурсу агрегованого потоку даних реального часу в статті сформовано систему критеріїв ефективності використання каналного ресурсу агрегованого потоку даних захищених корпоративних мультисервісних мереж зв'язку для умов наявності КР мережі для обслуговування запропонованого навантаження від мережі доступу та перевантаження мережі. Розглянутий підхід щодо призначення пріоритетів потокам даних, в якому враховано категорії користувачів та клас послуг, на відміну від сучасного інструментарію дає змогу розв'язати завдання пріоритетного обслуговування за умов навантаження та визначити найкращий варіант використання наявного каналного ресурсу транспортного рівня захищених корпоративних мультисервісних мереж зв'язку.

### Список використаної літератури

1. Caramanis C., Palomar D. P. *Distributed Resource Allocation in Wireless Networks: A Game-The-*

*oretic Approach* // *IEEE Transactions on Wireless Communications*. 2009. Vol. 8, no. 3. P. 1216–1226.

2. *Потокові моделі та метод балансування черг на маршрутизаторах мультисервісних телекомунікаційних мереж* [Електронний ресурс]. URL:

<https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/7aeb69e3-b9da-437c-b841-f6606ee2411b/content> (дата звернення: 15.01.2023).

3. *Динамічне резервування пропускнуої здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку* [Електронний ресурс]. URL:

<https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/154503?locale-attribute=en> (дата звернення: 13.01.2023).

4. Alsalibi M. S., Umrao S. N. *Dynamic Resource Allocation Techniques for Wireless Communication Networks* // *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*. 2014. Vol. 4, no. 6. P. 1047–1053.

5. Sahoo S. S., Mohapatra S. S., Das A. K. *Dynamic Resource Allocation in Wireless Networks: A Review* // *International Journal of Computer Applications*. 2011. Vol. 33, no. 4. P. 38–42.

6. *Система динамічного планування в розподілених обчислювальних мережах* [Електронний ресурс]. URL:

[https://knowledge.allbest.ru/programming/2c0a65635a3ad69b5c43a88521206d37\\_0.html](https://knowledge.allbest.ru/programming/2c0a65635a3ad69b5c43a88521206d37_0.html) (дата звернення: 15.01.2023).

G. Grynkevych, A. Zakharzhevskiy, I. Zamrii, V. Vasylenko

### ALGORITHM FOR DYNAMIC CHANNEL RESERVATION OF AGGREGATED DATA FLOW

*In modern telecommunications systems, dynamic reservation of channel resources for an aggregated data stream is one of the most important tasks, as it allows for efficient use of available resources and provides high-quality service to subscribers. Developing an algorithm for dynamic reservation is a challenging task, as it requires ensuring optimal resource allocation among subscribers during variable network load.*

*This article discusses an approach to developing an algorithm for dynamic reservation of channel resources for an aggregated data stream that provides efficient resource allocation and ensures high-quality service to subscribers. Specifically, approaches to dynamic resource allocation based on network load and approximation and optimization methods that reduce algorithm complexity and ensure its effective operation will be considered. The results of this work can be useful for telecommunications system developers and for research in the field of telecommunications.*

*The article proposes an algorithm for dynamic reservation of channel resources for an aggregated data stream. The implementation of this algorithm is performed on a VPN gateway designed to manage data streams, filter them, and organize priority access to data streams in the VPN tunnel. In the event of a network load, the developed algorithm should first evaluate the network status and, based on the results obtained, perform data stream access control functions, taking into account their priorities.*

*Based on the developed algorithm for dynamic reservation of channel resources for an aggregated real-time data stream, this section establishes a system of criteria for efficient utilization of channel resources for protected corporate multiservice communication networks under conditions of network resource availability for servicing the proposed workload from the access network and network congestion. The approach to prioritizing data streams takes into account user categories and service classes, which, unlike existing tools, allows for the task of prioritized servicing under load conditions and determines the best use of the available channel resources at the transport layer of protected corporate multiservice communication networks.*

**Keywords:** aggregate flow; algorithm; data flow; VPN tunnels; load.