

УДК 621.3.095.21:621.3.018

DOI 10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2023-22-21

**Шульга О.В., Сокіріна В.О.**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### МЕТОД ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗПОДІЛУ ІНФОРМАЦІЙНО – ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ В ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ДОПОВНЕННЯХ СУПУТНИКОВИХ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

В статті проведений аналіз ефективності керування вимірювальними каналами і метод вибору оптимального плану розподілу інформаційних потоків при змінних умовах в мережі інформаційно вимірювальної системи контролюючої – коригуючої станції супутникових навігаційних систем. В умовах функціонування мережі, коли час обробки сигналів у вузлі комутації займає певний час, а важливість інформації має різні значення, виникає необхідність організації черг заявок на обслуговування інформації. Основна мета такої організації полягає в зменшенні втрат інформації в мережі при передачі за умов використання транзитних шляхів. Динамічна перебудова черги на вузлах в свою чергу забезпечує зменшення втрат заявок з причини їх «старіння». Встановлено, що особливе місце в комутаційній підсистемі займає система управління, яка здійснює контроль за збором, обробкою і надалі переміщенням трафіку в мережах, розподілом мережесвих комутаційних ресурсів відповідно до заданих пріоритетів. Очевидно, що застосування в складі комутаційної структури систем динамічного управління інформаційними потоками забезпечить необхідну якість функціонування мережі, оперативну реакцію на мало інерційні ситуації в реальному масштабі часу.

Динамічне керування розподілом потоків може бути здійснено як за рахунок управління структурою мережі шляхом зміни смності пучків каналів, або перерозподілом каналів мережі при зміні інформаційних взаємодій між окремими парами вузлів комутації, так і за рахунок управління шляхами передачі потоків без зміни структури мережі. Очевидно, що другий спосіб є як економічно, так і апаратно більш вигідним, оскільки зміни структури мережі мінімальні.

**Ключові слова:** виклик, коефіцієнт якості, вимірювання, мережа, ефективності, стан

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** У методах динамічного керування всі шляхи, що йдуть від вузлів інформаційної мережі, упорядковуються відповідно до критерію, прийнятого для того чи іншого методу. При обслуговуванні заявки спочатку перевіряється перший вихідний напрямок. Якщо в ньому є вільний канал, він займається, якщо вільного каналу немає, перевіряється другий вихідний напрямок і т. д. При цьому навантаження, що надходить на кожен обхідний шлях, (залежить від пропускної здатності вихідних напрямків. Зауважимо, що якщо пропускна здатність вихідної гілки більше пропускної здатності обраного шляху, то при встановленні з'єднань без повторного пошуку частина навантаження буде втрачатися. В даному випадку, для підвищення якості обслуговування вимірювальної інформації необхідно ділити потік викликів між вихідними напрямками, враховуючи пропускну здатність кожного шляху в цілому.

При розподіленій системі керування вимірювальними потоками викликів для забезпечення оптимального розподілу потоків інформації в мережі вирішена задача оптимального розподілу потоків на вузлі інформаційно – вимірювальної системи.

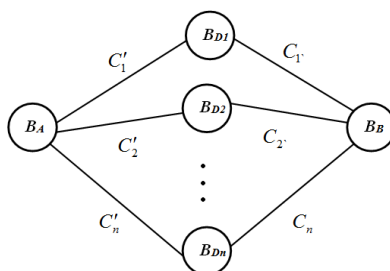


Рисунок 1– Структура вимірювальної мережі функціонального доповнення.

Дослідження мережі, що складається з двох вузлів –  $A$  і  $B$  (рис 1). показали, що між вузлами для передачі потоку інформації (викликів) існує  $n$  двотранзитних шляхів, що проходять через вузли  $D_1, D_2, \dots, D_n$ . Пропускні здатності перших ділянок вище, ніж других ділянок, тобто  $C'_i > C_i$  для будь-якого  $i$ .

У цьому випадку у вихідних гілках завжди будуть вільні канали і при будь-якому впорядкуванні вихідних напрямків весь потік прямує на перший вихідний напрямок. Використовується тільки один шлях. Пропускна здатність для пари вузлів  $A$  і  $B$  визначається пропускною спроможністю при виборі  $i$ -го вихідного напрямку. Для оптимального використання всіх  $n$  шляхів слід розподіляти потік навантаження у по всіх вихідних напрямках.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, де розв'язувались завдання цієї проблеми, виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячена стаття.**

В працях [1, 2] запропонована вдосконалена потокова модель маршрутизації в мультисервісній комунікаційній мережі. Вона ґрунтується на оновлених умовах забезпечення якості обслуговування за показниками пропускної здатності, середньої між кінцевої затримки та ймовірності втрат пакетів. Отримати шукані умови забезпечення якості обслуговування вдалося на основі використання тензорного підходу до моделювання мультисервісних телекомунікаційних мереж. Питанню складності процесів, що відбуваються в мережевих супутникових системах, і висока вартість їхньої реалізації призводять до того, що евристичні підходи при проектуванні таких систем виявляються неефективними і широкого поширення набувають методи математичного моделювання присвячені праці [3, 4, 5, 6]. На моделях різного рівня можуть бути досліджені процеси, що відбуваються як в окремих каналах інформації, так і в системі в цілому.

**Мета статті (формулювання цілей статті).** Метою статті є вимірювання ефективності функціонування інформаційно – вимірювальних систем при застосуванні методу вибору оптимального плану розподілу інформаційних потоків (каналів) при змінних умовах в комунікаційній мережі контрольно – корегуючих станцій супутникових навігаційних систем, що є важливим питанням при проектуванні їх функціональних доповнень.

**Постановка завдання.** Оскільки у реальних умовах функціонування комутаційної мережі через нерівномірність надходження потоків інформації (викликів), якість їх обслуговування між різними парами вимірювальних вузлів комутаційної мережі може бути неоднаковою. Крім того, на мережі комунікацій можуть бути пари вимірювальних вузлів, важливість зв'язку між якими неоднакова. Тому необхідно розробити оптимальний план розподілу інформаційних потоків (каналів) при змінних умовах в комутаційній мережі.

**Виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих результатів.**

Розглянемо метод розподілу потоків (викликів) в мережі при змінних умовах в її структурі. Можуть бути пари вузлів, важливість зв'язку між якими неоднакова. Тому вся множина пар вузлів комутаційної мережі  $\{U_1, \dots, U_f\}$  розбивається на підмножини  $\{U_1, \dots, U_j, \dots, U_f\}$ , для пар вузлів кожного з яких важливість зв'язку має одне і те ж значення, тобто для всіх пар вузлів, що входять в підмножину важливості зв'язку однакова і становить величину  $\varepsilon_j$ . Без обмеження загальності можна прийняти важливість зв'язку для абонентів одного і того ж вузла  $V_i$  однаковою. Справді, якщо у  $V_i$  включені лінії абонентів різних категорій, наприклад двох, для яких важливість зв'язку повинна бути прийнята різною, тоді  $V_i$  можна представити у вигляді двох фіктивних вузлів  $B_i'$  і  $B_i''$ , в кожен з яких включені лінії абонентів тільки однієї категорії.

З урахуванням важливості зв'язку середній коефіцієнт якості зв'язку для мережі:

$$K_c = \left( \sum_{j=1}^f \sum_{i=1}^{\gamma_j} \varepsilon_j p_i^j \lambda_i \right) / \Gamma, \quad (1)$$

де  $f$  – число підмножин пар вузлів, що не перетинаються,  $\gamma_j$  – число пар вузлів у  $j$ -ій підмножині;  $\varepsilon_j$  – коефіцієнт, що враховує важливість зв'язку для пар вузлів, що входять в  $j$ -ту підмножину;  $p_i^j$  – ймовірність втрат між  $i$ -ю (парою вузлів, що входить в

підмножину  $U_j$ ;  $\lambda_j$  – інтенсивність потоку викликів для  $i - o_i$  пари вузлів;  $\Gamma$  число пар КК в мережі. Якщо прийняти, що важливість зв'язку для всіх, абонентів і пар вузлів мережі однакова, то замість (1) отримаємо

$$K_c = \left( \sum_{i=1}^{\Gamma} p_i \lambda_i \right) / \Gamma. \quad (2)$$

Якщо з яких-небудь «причин» легше отримати середню ймовірність мережених втрат  $p_{cp}$ , ніж ймовірності втрат для кожної пари вузлів (наприклад, при моделюванні мереж великої ємності отримання ймовірностей втрат з прийнятною вірогідністю для кожної пари вузлів окремо вимагає неприпустимо великого часу моделювання), то в припущенні, що важливість зв'язку для всіх абонентів і пар вузлів однакова, середній коефіцієнт якості обслуговування для мережі  $K_c = p_{cp}$ .

При оцінці якості обслуговування викликів вважатимемо, що діапазон змін значень коефіцієнта  $K_c$  розділений на  $r$  областей, кожна з яких обмежена двома значеннями коефіцієнта якості обслуговування:  $K_i$  і  $K_{i-1}$ , де  $K_i > K_{i-1}$ ,  $i = 1, 2, \dots, r$ , що називають відповідно верхнім і нижнім порогами. При цьому верхній поріг області ( $i$ ) збігається з нижнім порогом області ( $i + 1$ ).

Пороговим критерієм якості обслуговування викликів називається багатозначний предикат

$$\pi = K(K_0 < K_x \leq K_1; \dots; K_{r-1} < K_x \leq K_r), \quad (3)$$

що приймає одне з  $K_r$  значень:

$$\pi = \begin{cases} K_1 \text{ при } K_0 < K_x \leq K_1 \\ \dots \\ K_r \text{ при } K_{r-1} < K_x \leq K_r \end{cases}, \quad (4)$$

де  $K_x$  – поточне значення коефіцієнта якості обслуговування викликів.

Внаслідок коливання навантаження і структурних змін на мережі значення  $K_x$  безперервно змінюється (рис. 2). У зв'язку з цим дискретно змінюється і значення  $\pi$ .

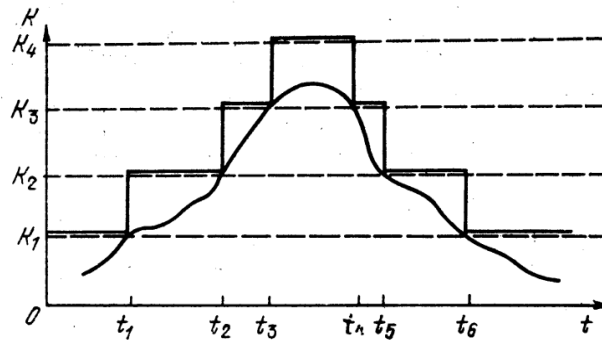


Рисунок 2– Графік зміни якості обслуговування в часі

Мережа зв'язку в кожен момент часу може знаходитися в одному з  $\Sigma = (\sigma_1, \dots, \sigma_r)$  станів. Прийmemo, що одному і тому ж значенню  $K_i$  порогового критерію якості обслуговування (ПКЯО) відповідає один і той же стан мережі зв'язку  $\sigma_i$ . Будемо говорити, що мережа зв'язку в момент  $t_i$  перейшла зі стану  $\sigma_i$  в стан  $\sigma_j$ , якщо значення ПКЯО в момент  $t_i$  змінилось з  $K_i$  на  $K_j$ .

Можна зробити висновок, що число можливих станів на мережі дорівнює числу  $\pi$  можливих значень ПКЯО.

При розгляді поведінки мережі зв'язку вважатимемо час дискретним. Прийmemo, що незмінному стану  $\sigma_j$  мережі відповідає один період часу  $T_\alpha$  й перехід від одного періоду ( $T_\alpha$ ) до іншого ( $T_\beta$ ) відбувається в момент зміни стану мережі. При цьому різним періодами часу, взагалі кажучи, може відповідати один і той самий стан мережі. Таким чином, розглядається функціонування мережі в дискретні моменти часу, коли безперервна шкала часу розділена на інтервали часу, пронумерованих цілими позитивними числами  $i = 0, 1, \dots, \alpha, \dots$ , (періодами).

При застосуванні в мережі різних способів розподілу потоків викликів значення  $\pi$  для одного і того ж періоду часу  $T_i$  може бути різним, тобто в період  $T_i$  кожному плану розподілу потоків викликів  $\Pi^\eta$ ,  $\eta = 1, \dots, Z$ , відповідає своє значення  $\pi(T_i^\eta)$ , при чому  $\pi(T_i^{\eta'}) \neq \pi(T_i^\eta)$ . Таким чином, розподіл  $K_x$  в часі для різних планів розподілу потоків викликів можуть істотно відрізнятися, а отже, і періоди функціонування мережі для різних планів розподілу потоків викликів можуть не збігатися.

Як видно з рис.3, за один і той же час в мережі при першому плані розподілу потоків  $\Pi^1$  викликів змінилися вісім періодів і чотири стани, при другому плані  $\Pi^2$  – тільки три періоди і два стани, а при третьому плані  $\Pi^3$  – сім періодів і чотири стани.

При цьому початки і кінці періодів і станів для цих трьох планів розподілу потоків викликів не співпадають. Крім того, одні плани розподілу потоків викликів можуть давати більший ефект при одних станах, а інші – при інших, тобто різні плани розподілу потоків викликів можуть давати протилежний ефект при одних і тих же ситуаціях.

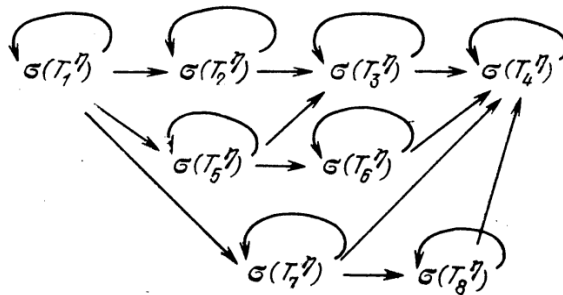


Рисунок 3 – Розгалуження зміни станів у мережі.

Позначимо стан на мережі в період  $T_i$  при плані розподілу потоків викликів  $\Pi^\eta$  через  $\sigma(T_i^\eta)$ . При цьому  $\sigma(T_i^\eta) \in \{\sigma_1, \dots, \sigma_r\}$  тобто в період  $T_i$  при плані розподілу потоків  $\Pi^\eta$  мережа може перебувати в одному з  $\sigma_r$  можливих станів, кожен з яких однозначно визначається відповідним значенням  $\pi$ . Однак характер коливань навантаження і його величини за певний час в значній мірі залежить від багатьох факторів. У зв'язку з цим процес зміни станів мережі зв'язку має розгалужений характер (рис. 2.19).

Імовірність переходу зі стану  $\sigma(T_i^\eta)$  в стан  $\sigma(T_j^\eta)$ , або перебування в тому ж самому стані визначає статистичну закономірність зміни станів протягом певного часу. Маючи такі ймовірності переходу від одного стану в інший і представляючи процес зміни станів а у вигляді ергодичного марківського ланцюга, а також нормуючи по  $T$  довжину періоду  $T_i$  можна визначити фінальну ймовірність  $\omega(\sigma_i)$  перебування мережі зв'язку в стані  $\sigma_i$ .

Таким чином, можна отримати вектор-рядок  $W_{\Pi^\eta} = [\omega(\sigma_1), \dots, \omega(\sigma_r)]$ , яка буде задавати апіорні ймовірності перебування мережі в кожному стані  $\sigma_i$  протягом певного періоду часу при застосуванні певного плану розподілу потоків викликів  $\Pi^\eta$ . При виборі оптимального способу розподілу потоків викликів доводиться вирішувати багатоваріантну задачу оптимізації. При цьому широко використовуються методи теорії прийняття рішень [3 ,4 ,5]. Будемо вважати, що є  $Z$  різних планів розподілу потоків викликів, кожен з яких для одних і тих же умов у мережі (інтенсивності вхідних потоків, пропускної здатності мережі і т. д.), Безперервно

Будемо вважати, що є  $Z$  різних планів розподілу потоків викликів, кожен з яких для одних і тих же умов у мережі (інтенсивності вхідних потоків, пропускної здатності мережі і т. д.), Безперервно мінливих протягом доби, дає свій розподіл станів  $\sigma_i$ .

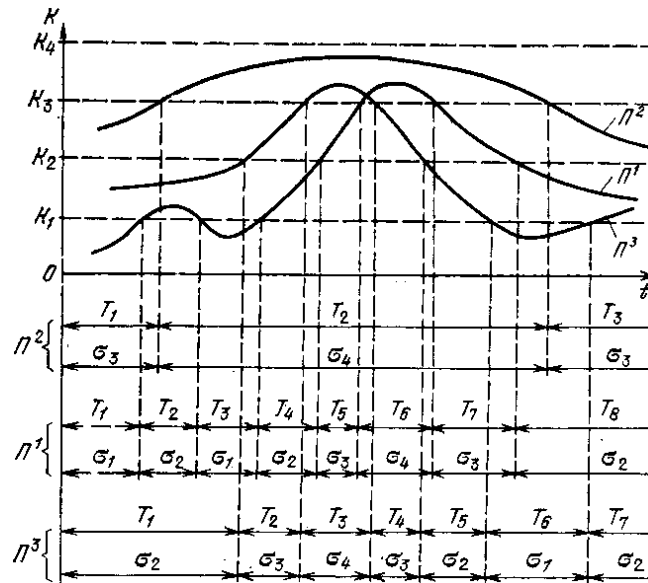


Рисунок 4 – Зміна якості обслуговування для різних розподілів

Фінальні імовірності цих станів розподілені у вигляді векторів-рядків апріорних ймовірностей перебування мережі в тому чи іншому стані  $\omega(\sigma_i)$  при кожному з  $Z$  планів розподілу потоків викликів, тобто:

$$\begin{cases} W_{\pi^1} = [\omega^1(\sigma_1), \dots, \omega^1(\sigma_r)] \\ \dots \\ W_{\pi^Z} = [\omega^Z(\sigma_1), \dots, \omega^Z(\sigma_r)] \end{cases}$$

При оцінці ефективності плану розподілу потоків викликів необхідно враховувати деякий штраф, який отримує мережа при застосуванні того чи іншого плану розподілу потоків викликів. Кількісний опис функції штрафу від потрапляння в мережу в кожен із  $\sigma_r$  станів (а також прийняття одного з  $K_r$  значень) представимо у вигляді вектора-рядка штрафів  $L = [L(\sigma_1), \dots, L(\sigma_r)]$ . В якості вирішального функціоналу, що визначає найкращий план розподілу потоків викликів, приймемо функціонал, що мінімізує очікуване значення штрафу.

Легко зрозуміти, що таким функціоналом може служити система рівнянь виду:

$$\rho_{\pi^n} = \sum_{j=1}^r L(\sigma_j) \omega(\sigma_j). \quad (5)$$

Таким чином, отримавши для кожного з  $Z$  планів розподілу потоків викликів своє значення функціоналу (5) і вибравши найменше з отриманих значень, тим самим визначимо оптимальний варіант розподілу потоків викликів для мережі зв'язку.

Слід зауважити, що практично дуже важко організувати безперервне спостереження за змінними втратами в мережі. Тому втрати на мережі визначають тільки в дискретні моменти часу. В якості таких моментів часу завжди можна вибрати найбільш характерні години доби. Значення втрат між цими моментами часу можна отримати шляхом інтерполяції з того чи іншого закону, в найпростішому випадку за лінійним законом. Тоді для кожного плану розподілу потоків викликів будують ламані лінії, за якими визначають число і моменти зміни періодів  $T_i$  станів і  $\sigma_j$  мережі. При цьому слід зауважити, що чим більше буде моментів часу, в які визначаються втрати, тим ближче апроксимація істинної кривої зміни втрат протягом часу функціонування роботи мережі.

**Висновки.** Вдосконалено метод динамічного розподілу інформаційних потоків шляхом адаптації системи керування до умов, створених у комутаційній мережі. Розроблено алгоритм динамічного керування інформаційними потоками на підставі комплексного критерію

$F(\alpha_j, v_j, V_j^*, |f_j'(t)|, T_j)$ , що призначений для обслуговування швидкозмінних у часі інформаційних потоків, що актуально для мультисервісних мереж і дозволяє при мінімальних апаратних витратах формувати  $n$  рядів черг, де  $n$  – число інформаційних входів. Для забезпечення оптимального розподілу потоків у вузлах мережі вдосконалено метод послідовних наближень із використанням імовірісно-ігрового підходу. Таким чином вдалося досягти більшої гнучкості системи відносно зміни стану мережі і надати їй елементарної адаптивності у вигляді коефіцієнтів штрафу і «заохочення» вузлів комутації. Запропонована оцінка

#### Інформаційні джерела

1. Лемешко А. В. Методика выбора независимых путей с определением их количества при решении задач многопутевой маршрутизации / А.В. Лемешко, О.Ю. Евсева, О.А. Дробот // Праці УНДІРТ. – Київ, 2006. – № 4 (48). – С. 69 – 74.
2. Козелков С. В., Кочерук С. М. Напрямки розвитку радіонавігаційного забезпечення України/ С.В. Козелков, С.М. Кочерук // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Харків, 2009. – Вип. 3(21). – С. 86-90.
3. Волосюк В. К. Анализ принципов построения и особенностей функционирования многоспутниковых сетевых систем / В. К. Волосюк, Е.С. Козелкова // Системи обробки інформації. – Харків, 2004. – Вип. 12(40). – С.26-31.
4. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / [В.В. Поповський, С.О. Сабурова, О.В. Лемешко та ін.] – Харків, 2006. ТОВ “Компанія СМІТ”. – 564 с.
5. Хусанінов Д. Я. Введення в моделювання динамічних систем / Д. Я. Хусанінов, І. І. Харченко, А. В. Шатирко. – Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2010. – 132 с.
6. Тіхонов В. І. Метод динамічного керування цифровими потоками в інтегрованій технології телекомунікацій UA-ІТТ / В. І. Тіхонов. – Одеса, 2013. Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – №1. – С. 64 – 71.
7. Наумов О. В. Перспективи розвитку навігаційних засобів / О. В. Наумов. – Київ, 2011. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. – №14. – С. 105–108.

**Shulga O., Sokirina V.**

National Technical University of Ukraine "Ihor Sikorskyi Kyiv Polytechnic Institute"

#### METHOD OF EVALUATING THE EFFICIENCY OF DISTRIBUTION OF INFORMATION - MEASUREMENT CHANNELS IN FUNCTIONAL COMPLEMENTS OF SATELLITE RADIO NAVIGATION SYSTEMS.

*The article analyzes the effectiveness of the management of measurement channels and the method of choosing the optimal plan for the distribution of information flows under changing conditions in the network of the information measurement system, controlling and correcting stations of satellite navigation systems. In the conditions of network operation, when the signal processing time at the switching node takes a certain amount of time, and the importance of information has different values, there is a need to organize queues of requests for information service. The main goal of such an organization is to reduce the loss of information in the network during transmission under the conditions of using transit routes. The dynamic restructuring of the queue at the nodes, in turn, ensures a reduction in the loss of applications due to their "aging" [67]. It was established that a special place in the switching subsystem is occupied by the control system, which controls the collection, processing and further movement of traffic in networks, distribution of network switching resources in accordance with set priorities. It is obvious that the use of dynamic information flow management systems as part of the switching structure will ensure the necessary quality of network functioning, prompt response to low-inertia situations in real time. Dynamic management of flow distribution can be carried out both by managing the network structure by changing the capacity of channel bundles, or by redistributing network channels when changing the information interactions between individual pairs of switching nodes, and by managing flow transmission paths without changing the network structure [60]. It is obvious that the second method is both economically and hardware more profitable, since changes to the network structure are minimal challenge, quality factor, measurement, network, efficiency, state*

**Key words:** factor, measurement, network, efficiency, state