

УДК 621.391

Демидов І.В., канд. техн. наук, доц. (Тел. +380 (99) 371 58 54. E-mail: demydov@lp.edu.ua)

Гуськов П.О., аспірант (Тел.: +380 (98) 902 84 72. E-mail: p.huskov@gmail.com)

Мухамед Мехді Ель Хатрі, аспірант (Тел.: +380 (93) 438 14 01. E-mail: lviv.polytechnique@hotmail.fr)

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОТОКІВ ЗАПИТІВ У РОЗПОДІЛЕНИХ СЕРВІСНИХ МЕРЕЖНИХ АРХІТЕКТУРАХ

**Demydov I. V., Guskov P. O., Mohamed Mehdi El Hatri. The simulation of workflows servicing in distributed service network architectures.** In this paper we developing functional and structural mathematical models of workflows' servicing at the segment of distributed service network system that includes combining multiple queuing systems. The hypothesis was formulated that taking into account the existence in telecommunications platform of service network system the sufficient number of alternative routes for traffic streaming service requests, it is advisable to abandon the previous reservation of channel resources during the implementation of flow management.

**Ключевые слова:** service network systems, network architecture, servicing of requests, service-oriented architectures, distributed network systems, probability-time characteristics

Демидов І. В., Гуськов П. О., Мухамед Мехді Ель Хатрі. Моделювання процесів обслуговування потоків запитів у розподілених сервісних мережних архітектурах. В даній роботі розробляються функціональна і структурно-математична моделі обслуговування потоків запитів на сегменті розподіленої сервісної мережної системи, що включає в себе об'єднання декількох систем масового обслуговування. Запропоновано гіпотезу про те, що із урахуванням існування в телекомунікаційній платформі сервісної мережної системи достатньої кількості альтернативних маршрутів для обслуговування потокового трафіку запитів, доцільно відмовитися від попереднього резервування каналних ресурсів під час реалізації методів управління потоками.

**Ключові слова:** сервісні мережні системи, мережна архітектура, обслуговування запитів, сервісно-орієнтовані архітектури, розподілені системи, ймовірно-часові характеристики

Демидов И. В., Гуськов П. А., Мухаммед Мехди Эль Хатри. Моделирование процессов обслуживания потоков запросов в распределенных сервисных сетевых архитектурах. В данной работе разрабатываются функциональная и структурно-математическая модели обслуживания потоков запросов на сегменте распределенной сервисной сетевой системы, включающей в себя объединение нескольких систем массового обслуживания. Предложена гипотеза о том, что с учетом существования в телекоммуникационной платформе сервисной сетевой системы достаточного количества альтернативных маршрутов для обслуживания потокового трафика запросов, целесообразно отказаться от предварительного резервирования каналных ресурсов при реализации методов управления потоками.

**Ключевые слова:** сервисные сетевые системы, сетевая архитектура, обслуживание запросов, сервисно-ориентированные архитектуры, распределенные системы, вероятностно-временные характеристики

**1. Вступ.** У розподілених сервісних мережах виникають ситуації, коли багатошляхова маршрутизація трафіку стає чи не єдиним засобом розв'язання проблеми гіперагрегації трафіку, разом – внутрішньо системних відмов у обслуговуванні, а також зниження зовнішньо-системних показників якості сервісу. Проте, складність подібних алгоритмів розподілу навантаження, їх адаптації до поточних умов функціонування розподіленої мережної інфраструктури спонукає дослідити дисципліну обслуговування запитів всередині сервісних мережних систем більш докладно. Випадок існування резервного маршруту/маршрутів видається тривіальним лише з точки зору структурної інтерпретації, проте вже нескладні розрахунки свідчать, що імовірно-часові характеристики процесів обслуговування пов'язаних запитів і потоків є складнопрогнозованими. Більше того, недостатньо опрацьованим є апарат для аналітичних досліджень подібних імовірнісних явищ. Враховуючи те, що обсяги трафіку, які обслуговуються розподіленими сервісними системами вражають навіть спеціалістів, актуальними є задачі моделювання та оптимального розподілу їх мережних ресурсів. До такого трафіку відносять відеоконференції, відео на замовлення, “важкі” обчислення та бізнес за концепціями “повсюдного комп'ютингу”, а також m-business [1-4]. Більшість трафіку потребує резервування пропускну здатності для гарантування належної якості обслуговування клієнта. Очевидно, що алгоритми розподілу

потокowego навантаження в сервісних мережних системах можуть враховувати дану потребу під час маршрутизації [5, 9]. Проте ефективність (за критерієм системної продуктивності) тієї чи іншої дисципліни обслуговування запитів та пов'язаного з ними характеру розподілу навантаження з розподіленою просторовою структурно-математичною моделлю сервісної мережної системи на сьогодні не узгоджували, а це дозволило б запропонувати моделі та методи отримання імовірно-часових характеристик потокowego трафіку запитів для різних методів його обслуговування.

Зокрема, відповідно до рекомендації МСЕ-Т Q.764 [6], при передаванні через мережу сигналізації ЗКС № 7 початкового адресного повідомлення (IAM) в системі рухомого зв'язку 4G LTE, одночасно відбувається резервування каналних ресурсів мережі транспортної підсистеми. Аналогічні по суті дії можуть передбачатися при обслуговуванні сервісною мережною системою мультимедійного контенту множини клієнтів у реальному часі [9].

На Рис.1 наведено блок-схему сегменту розподіленої сервісної мережної системи з різними можливими маршрутами пересилання сервісного трафіку між вузлом субсистеми А та вузлом субсистеми В.

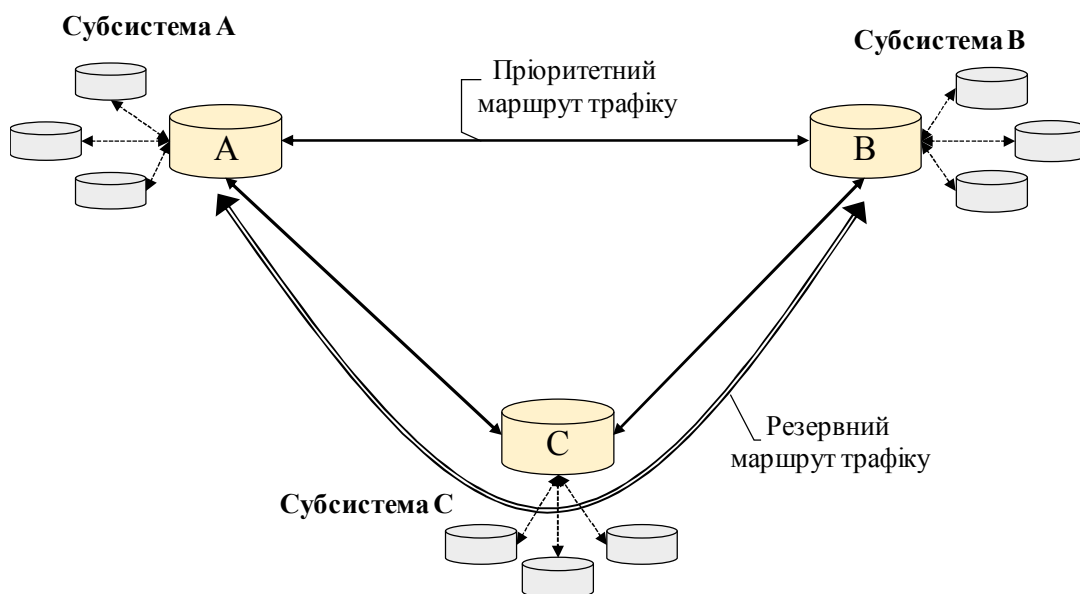


Рис. 1. Функціональна блок-схема сегменту розподіленої сервісної мережної системи з двома можливими маршрутами пересилання сервісного трафіку [8]

Очевидно, що не всі зарезервовані з'єднання всередині сервісної системи закінчуються передаванням потоків корисної інформації. Кожна сервісна мережа характеризується коефіцієнтом використання ресурсів. Звичайно, збільшення кількості непродуктивних та відхилених потоків запитів призводить до неефективних витрат телекомунікаційних ресурсів сервісної мережної системи, а отже і зниження її продуктивності за обслугованим корисним навантаженням.

Одним зі способів підвищення ефективності сервісної мережної системи, зокрема її телекомунікаційної компоненти за рахунок виключення непродуктивних витрат комунікаційних ресурсів є відмова від попереднього резервування каналної ємності між сервісними підсистемами (вузлами, серверами) до встановлення відповідних потоків даних. Звичайно, набір мережних протоколів, які для цього слід використовувати потребує певних модифікацій, наприклад відмови від застосування протоколів, які побудовані на зразок RSVP. Тим не менше, необхідним видається дослідження ймовірно-часових характеристик сервісної мережної системи за умови застосування різних підходів до резервування каналної ємності її телекомунікаційної платформи. Слід мати на увазі, що гарантування якісних показників обслуговування, зокрема за часткою невдало обслугованих

потоків трафіку, або ж потоків, які були обслужені недостатньо якісно є пріоритетним завданням при побудові відмовостійких розподілених сервісних мережних систем.

**Метою роботи** є розроблення функціональної і структурно-математичної моделей обслуговування потоків запитів на сегменті розподіленої сервісної мережної системи, що включає в себе об'єднання декількох систем масового обслуговування.

Інтуїтивно зрозуміло [7, 10], що для надання гарантій встановлення потоків запитів і результуючих потоків даних між елементами сервісної мережі, необхідно ввести поріг завантаження гарантованого каналного ресурсу відповідного визначеного пріоритетного маршруту трафіку в телекомунікаційній системі (див. Рис. 1), при досягненні якого встановлювати з'єднання з використанням ресурсів резервних маршрутів. На резервних маршрутах, враховуючи їх більшу фізичну довжину, існуватиме можливість здійснення резервування комунікаційних ресурсів.

**2. Постановка задачі побудови математичної моделі обслуговування потоків запитів у сегменті сервісної мережної системи.** Розглянемо сегмент сервісної мережної системи, представлений на Рис. 1 [8]. Для потоків запитів, що надходять від вузлів підсистеми А є два можливих варіанти встановлення маршрутів до вузлів підсистеми В. Перший варіант (заздалегідь визначений пріоритетний маршрут трафіку) передбачає встановлення прямого маршруту, а другий варіант (резервний маршрут трафіку) передбачає в нашій моделі встановлення шляху через транзитний маршрутизатор підсистеми С, тобто потоки запитів проходять за шляхом А-С-В. Більша кількість резервних маршрутів може бути математично зведена до одного шляхом узагальнення відповідних ділянок (А-С і С-В) та трафіку інших підсистем (як підсистеми С), проте це призвело б до значного ускладнення моделі Рис. 1, тому в даній роботі такий варіант спеціально не розглядається.

Уявімо ситуацію, коли на пріоритетному маршруті трафіку запитів загальний обсяг каналного ресурсу дорівнює  $N$ , на частині резервного маршруту трафіку запитів від підсистеми А до підсистеми С досяжний обсяг ресурсу –  $L_1$ , а на його частині від підсистеми С до підсистеми В –  $L_2$ . Слід врахувати, що ми розглядаємо сервісну мережну систему, в якій на ресурс з обсягом  $L_2$  додатково поступатимуть також потоки запитів від підсистеми С до підсистеми В.

Відмова від попереднього резервування каналної ємності між сервісними підсистемами передбачається на пріоритетному маршруті трафіку на час встановлення з'єднання для потоків запитів та відповідного трафіку і (для розмовних викликів, наприклад у платформах 4G-LTE) – на час очікування відповіді абонента, що викликається. При цьому із загального ресурсу каналної ємності  $N$  на пріоритетному маршруті трафіку встановимо поріг на рівні  $K$  каналів, причому нехай  $K = N - M$ . Величину  $K$  будемо називати порогом гарантованого ресурсу каналної ємності в сервісній мережній системі. Очевидно, що регулювання його величини можна використовувати для мінімізації втрат при обслуговуванні потоків запитів та підтримання в нормі якісних показників роботи розподіленої системи в цілому. Величина  $M$  характеризуватиме величину каналних ресурсів, які використовуються до фактичного досягнення заданого порогу гарантованого ресурсу каналної ємності сервісної мережної системи.

Зробивши такі визначення та застереження, розглянемо три основні сценарії щодо проходження потоків трафіку в процесі встановлення з'єднань між підсистемами А і В сервісної мережної системи.

**Сценарій 1.** Якщо при надходженні запиту на передавання потоку від підсистеми А до підсистеми В через пріоритетний маршрут трафіку частина величини каналного ресурсу  $M$  виявиться вільною та достатньою, то відповідний інформаційний потік буде передаватись з використанням пріоритетного маршруту трафіку.

Обслуговування інформаційного потоку сервісною мережною системою може характеризуватися двома фазами [11, 12]. Відповідно до запропонованої моделі, перша фаза - це очікування відповіді від сервісної служби в підсистемі В. Якщо мова йде про реагування абонента на виклик, то очікуються його дії. Канальні ресурси не займаються, а запит від серверів підсистеми А реєструється, очікуючи на обслуговування. Для мереж мобільного зв'язку передавання інформації про встановлення з'єднання може також здійснюватися через MAP підсистему сигналізації ЗКС №7.

Після відповіді сервісної служби або абонента, що запитується або викликається в субсистемі В починається друга фаза обслуговування запиту. Власне, розмовний канал або передавання даних потребують передавання деяких обсягів інформації, тобто встановлення інформаційного потоку, якому доступний весь обсяг ресурсів величиною  $N$ . Якщо перед початком другої фази обслуговування весь каналний ресурс величиною  $N$  виявляється зайнятим, то автоматично обирається резервний маршрут трафіку запитів. Звичайно, в такому випадку, за відсутності вільних каналних ресурсів на хоча би одній частині резервного маршруту, виникає відмова у обслуговуванні запиту сервісною мережною системою навіть при вдалій генерації відповідного потоку від вузлів субсистеми В.

Якщо запит в субсистемі В під час свого оброблення привів до досягнення тривалості таймауту, то такий запит залишає систему масового обслуговування (СМО) необслуженим, не зайнявши жодних каналних ресурсів інформаційної мережі.

**Сценарій 2.** Якщо при надходженні запиту від вузлів субсистеми А на пріоритетному маршруті трафіку зайнята величина каналного ресурсу, що перевищує  $M$ , то запит відразу прямує на обслуговування, використовуючи резервний маршрут. Слід врахувати, що, використовуючи каналний ресурс першої частини резервного маршруту А-С ( $L_1$ ), може не виявитись достатнього каналного ресурсу ( $L_2$ ) в його другій частині, оскільки на маршрут С-В також надходять запити від субсистеми В. У результаті також може виникати відмова у обслуговуванні запиту.

**Сценарій 3.** Якщо при надходженні запиту від вузлів субсистеми А на пріоритетному маршруті трафіку зайнята величина каналного ресурсу, що перевищує  $M$ , а на резервному маршруті обсяг задіяного каналного ресурсу досягає  $L_1$  (або  $L_2$ ), то виклик отримує відмову в обслуговуванні.

Отже, потрібно побудувати математичну модель описаної СМО і за допомогою дослідження цієї моделі визначити оптимальні значення для її структурних параметрів (обсяг каналних ресурсів на кожному з маршрутів; поріг гарантованого ресурсу каналної ємності, його співвідношення з каналною ємністю  $N$  на пріоритетному маршруті трафіку, при якому ймовірність відмови у обслуговуванні запиту буде мінімальною (тобто слід підібрати оптимальне значення каналного ресурсу  $M$ ); ймовірність відмови у обслуговуванні запиту, якщо в момент його приходу на пріоритетний маршрут трафіку було зарезервовано каналну ємність  $K$ , а за час оброблення її витратили інші запити відповідними інформаційними потоками і початковий запит отримує відмову.

Крім того, потрібно розробити алгоритм та його програмну реалізацію для обчислення ймовірності блокування запитів на отримання потоків трафіку через пріоритетний та резервний маршрути досліджуваної СМО.

**3. Побудова структурно-математичної моделі обслуговування потоків запитів у сегменті сервісної мережної системи.** Для повного опису системи масового обслуговування з очікуванням необхідно описати імовірнісні процеси, що описують вхідний потік запитів на обслуговування, структуру обслуговуючих пристроїв і дисципліну обслуговування [13]. У загальному випадку вхідний потік запитів описується розподілом ймовірностей проміжків часу між сусідніми запитами, який позначимо наступним чином:  $A(t) = P(t - \text{час між послідовними запитами})$ , де  $A$  – певна подія.

Зазвичай передбачають, що проміжки часу між послідовними запитами є незалежними і рівномірно розподіленими випадковими величинами [14].

Другою величиною, яку треба описати, є час обслуговування. Розподіл цієї величини позначимо так:  $B(x) = P(x - \text{час обслуговування})$ .

Часом обслуговування вважаємо проміжок часу, протягом якого запит знаходиться в обслуговуючому пристрої нашої СМО.

Як правило, для опису структури обслуговуючого пристрою і дисципліни обслуговування використовують такі параметри: ємність пам'яті, в якій накопичуються запити, що очікують обслуговування (іноді передбачається, що обсяг пам'яті це нескінченна величина) і число доступних обслуговуючих пристроїв [14].

Важливою характеристикою СМО для нашої структурної моделі є дисципліна обслуговування, що визначає порядок вибору запитів з черги для обслуговування [15]: обслуговування заявок в порядку їх надходження (FCFS – first come first serve), обслуговування заявок у зворотному порядку

надходжень (LCFS – last come first serve) і випадковий вибір заявок для обслуговування (RANDOM). Звичайно, якщо вхідні заявки розрізняються за групами і встановлюється деякий пріоритет обслуговування для цих груп, то говорять про пріоритетну дисципліну обслуговування [14].

Крім того, СМО може враховувати такі явища, як відкликання запитів з черги, перехід запитів з однієї черги до іншої, затримку запитів перед входом їх у чергу та інші.

Вказавши характеристики СМО, необхідно визначити показники ефективності роботи сервісної мережної системи, які будуть отримані в результаті аналізу її роботи.

Основні позначення:

$\lambda_1$  – інтенсивність вхідного потоку запитів від субсистеми А;

$\lambda_2$  – інтенсивність вхідного потоку запитів від субсистеми С;

$\mu$  – інтенсивність обслуговування запитів від субсистем А і С на пріоритетному та резервному маршрутах в сервісній мережній системі;

$q$  – імовірність того, що запит від субсистеми А або С не буде оброблений субсистемою В (не утворить результуючого потоку трафіку в мережній системі);

$\pi_{11}$  – імовірність того, що потік трафіку за запитом від субсистеми А буде блокований на пріоритетному маршруті;

$\pi_{12}$  – імовірність того, що потік трафіку за запитом від субсистеми А буде блокований на пріоритетному маршруті після того, як буде згенерований субсистемою В внаслідок обслуговування запиту;

$\pi_2$  – імовірність того, що потік трафіку за запитом від субсистеми А буде блокований на першій частині резервного маршруту трафіку (А-С);

$\pi_3$  – імовірність того, що потік трафіку за запитом від субсистеми А буде блокований на другій частині резервного маршруту трафіку (С-В);

$\frac{1}{\mu_0}$  – середній час очікування обслуговування в субсистемі В запитами від субсистем А і С ;

$\mu_0$  – параметр експоненційної функції розподілу  $F(x) = 1 - e^{-\mu_0 x}$ ,  $x > 0$ , за допомогою якої моделюється час очікування обслуговування субсистемою В запитів від субсистем А і С.

Необхідно звернути увагу на те, що визначення величин каналних ресурсів ( $N$ ,  $M$ ,  $K$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ ) передбачає їх дискретний характер, зокрема з технологічних міркувань – при резервуванні й утворенні відповідних інформаційних потоків (віртуальних каналів) на практичному мережному обладнанні (маршрутизатори, серверні платформи), а також з математичних, оскільки до складу більшості класичних розрахункових співвідношень теорії СМО входить поняття факторіалу. Розрахункову величину окремих потоків користувачів необхідно оцінювати, виходячи із прогнозованого набору послуг системи та конкретного типу мережного обладнання телекомунікаційної платформи.

В даній роботі була розроблена структурна математична модель обслуговування потоків запитів на сегменті розподіленої сервісної мережної системи, що включає в себе об'єднання декількох СМО, та представлена у вигляді узагальненої блок-схеми на Рис. 2.

Передбачається, що вхідні запити субсистем А і С утворюють пуасонівські потоки заявок з інтенсивностями  $\lambda_1$  та  $\lambda_2$  відповідно.

Тривалість обслуговування викликів на маршрутах А-В і А-С-В прийнята експоненційно розподіленою з параметром розподілу  $\mu$ . Тривалість очікування обслуговування запиту моделюється за допомогою одного обслуговуючого пристрою з нескінченною чергою очікування та випадковою дисципліною обслуговування. Передбачається, що дана тривалість також має експоненційний розподіл зі значенням параметра  $\mu_0 \gg \mu$ .

Всі ймовірності блокувань, які можуть відбуватися в розробленій СМО сервісної мережної системи позначені в моделі різними індексами. Відтак, першою цифрою в індексі позначаємо номер (частину) маршруту, на якій виникає блокування.

- Індекс 1 – маршрут А-В (з каналним ресурсом  $M$ );

- Індекс 2 – маршрут А-С (з каналним ресурсом  $L_1$ );
- Індекс 3 – маршрут С-В (з каналним ресурсом  $L_2$ ), причому з вхідним потоком запитів від субсистеми С і вихідним потоком запитів з маршруту А-С розглянутої СМО.

Головними параметрами, що потребують дослідження та моделювання є ймовірності блокування пов'язаного трафіку запитів, що надходять у СМО  $\pi_{11}, \pi_{12}, \pi_2$  та  $\pi_3$ .

Зважаючи на складність даної СМО її дослідження проводилося поетапно.

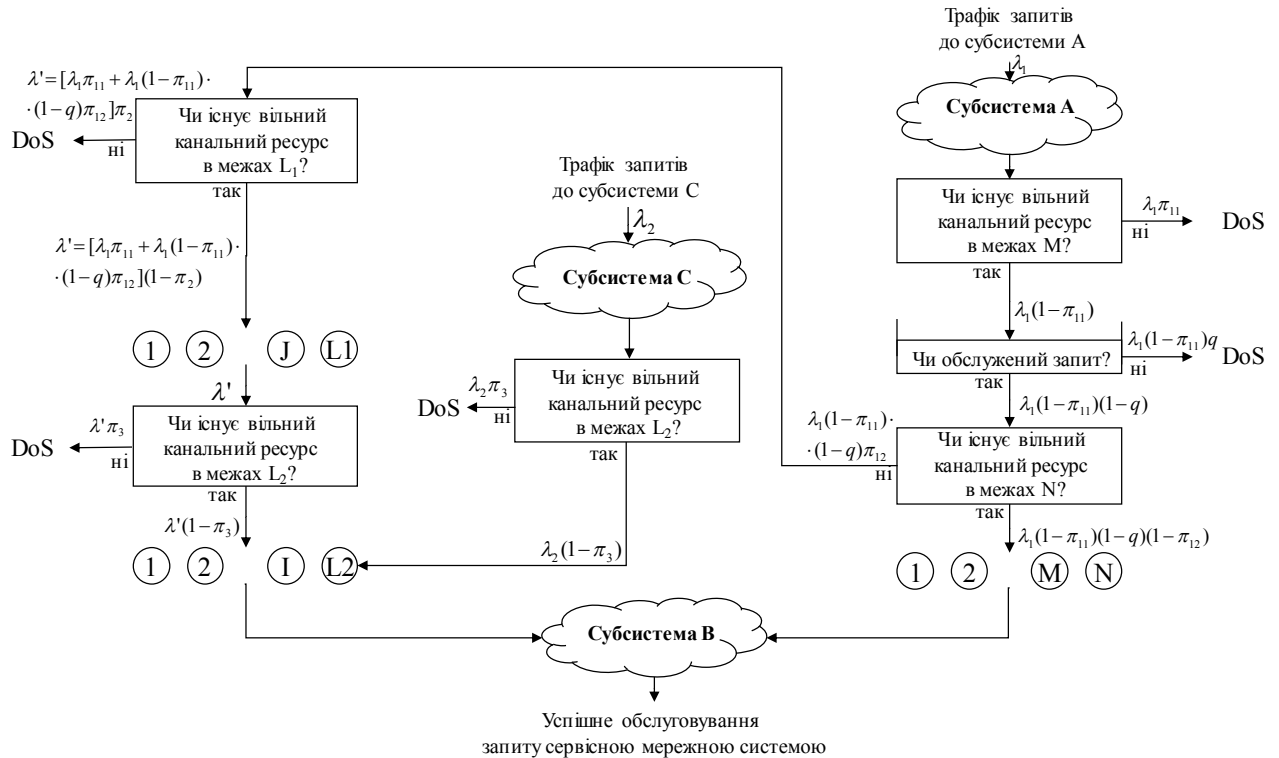


Рис. 2. Математична модель обслуговування потоків запитів на сегменті розподіленої сервісної мережної системи [8]

Оскільки самі шукані ймовірності блокування результируючих потоків запитів  $\pi_{11}, \pi_{12}, \pi_2$  і  $\pi_3$  беруть участь у перерозподілі цих потоків між ланками СМО (наприклад, чим більше ймовірність того, що трафік запиту від субсистеми А буде блокований на пріоритетному маршруті після свого обслуговування субсистемою В, тим частіше такі запити будуть потрапляти на резервний маршрут). Це стосується, зокрема, генерації сервісною мережною системою важкого мультимедійного контенту «на вимогу». Для їх обчислення доцільно застосовувати ітераційний алгоритм, оскільки в даний час не існує достатньо розробленого методу побудови математичних моделей аналогічних СМО і точних аналітичних формул для обчислення їх характеристик.

Розглянемо можливості обслуговування інформаційних потоків між субсистемами А і В (Рис. 2). Якщо кількість задіяних мережних ресурсів на пріоритетному маршруті не досягла порогового значення М, то утворений потік продовжує обслуговуватися за даним маршрутом. Така подія відбувається з ймовірністю  $1 - \pi_{11}$ .

Якщо потік на пріоритетному маршруті не застане вільних ресурсів в межах величини М, тоді він з ймовірністю  $\pi_{11}$  автоматично переспрямовується на резервний маршрут для дообслуговування. Обслуговування запиту відбувається двома фазами. Перша фаза передбачає оброблення запиту в субсистемі В, друга – передавання результируючого інформаційного потоку.

**Фаза 1.** Очікування завершення оброблення запиту субсистемою В моделюється за допомогою СМО з одним обслуговуючим пристроєм і з нескінченною чергою очікування, причому дисципліна обслуговування обрана випадковою. При цьому каналні ресурси де-факто не використовуються, а запит потрапляє в чергу очікування завершення оброблення (число запитів, що очікують у моделі необмежене). Передавання інформації про встановлення з'єднання у системах мобільного зв'язку

здійснюється по мережі сигналізації ЗКС №7 в частині МАР.

З імовірністю  $q$  може відбутися така подія, як блокування запитів на маршрутах внаслідок того, що запити від підсистеми А залишають систему, не дочекавшись обслуговування (підсистемою В), причому так і не зайнявши жодних каналних ресурсів розподіленої сервісної мережної системи.

**Фаза 2.** З імовірністю  $1-q$  підсистемою В буде оброблено запит підсистеми А та відповідний результуючий потік вимагатиме проходження через телекомунікаційну платформу. Даний потік потрапляє на пріоритетний маршрут з каналним ресурсом  $N$ , причому частина цього ресурсу буде вільною для того, щоб обслужити потік з імовірністю  $1 - \pi_{12}$ , тобто обслуговування запиту у такому разі відбувається успішно.

Можливе виникнення ситуацій, при яких за час оброблення запиту підсистемою В весь каналний ресурс на пріоритетному маршруті із залишкової величини вище порогу гарантованого ресурсу каналної ємності  $K$  був використаний на обслуговування інших запитів і при генеруванні потоку щодо даного запиту на пріоритетному маршруті не виявиться вільних каналних ресурсів. У цьому випадку трафік запиту автоматично перенаправляється на резервний маршрут для дообслуговування.

Якщо запит, який надходить у СМО від підсистеми А застане вільні каналні ресурси в межах  $L_1$  і достатню кількість каналних ресурсів в межах  $L_2$ , то він вважається успішно опрацьованим і відповідний трафік передаватиметься резервним маршрутом у рамках сервісної мережної системи.

За відсутності вільних каналних ресурсів, запит зазнає відмови у обслуговуванні.

Розглянемо тепер можливі варіанти проходження трафіку запитів на маршруті підсистема С - підсистема В. Новий запит від підсистеми С надходить у СМО підсистеми В, що моделюється одним обслуговуючим пристроєм із нескінченною чергою очікування і випадковою дисципліною обслуговування. Отже, моделюється очікування оброблення трафіку запиту від підсистеми С до підсистеми В.

Якщо з імовірністю  $q$  підсистема В не обробить запиту від підсистеми С (не відбудеться з'єднання з абонентом, не буде згенерований відповідний сервісний трафік), то запит покине нашу модель СМО, не справляючи на її параметри впливу.

Відповідно, якщо з імовірністю  $1-q$  запит від підсистеми С буде обслужений підсистемою В, то трафік буде вдало обслуговуватися за даним маршрутом С-В. При цьому, якщо трафік, що буде згенерований підсистемою В застане з імовірністю  $1 - \pi_3$  необхідний каналний ресурс в рамках  $L_2$ , то трафік такого запиту буде успішно обслужений. У випадку, якщо трафік запиту від підсистеми С, який згенерований підсистемою В застане з імовірністю  $\pi_3$  всі каналні ресурси  $L_2$  зайнятими, то запиту буде відмовлено в обслуговуванні.

Таким чином, в даній роботі побудовано математичну модель обслуговування трафіку запитів в розподіленій сервісній мережній системі, яка утворює собою об'єднання декількох СМО. Також наведений опис функціональної відповідності між структурною (Рис. 1) і математичною моделями (Рис. 2) розглянутого сегменту розподіленої сервісної мережної системи.

Був докладно описаний процес обслуговування та маршрутизації трафіку запитів від підсистем сервісної мережної системи при надходженні до змодельованої СМО.

Запропоновані та описані основні параметри розглянутої СМО, оцінку яких необхідно отримати при розробленні алгоритму обчислення ймовірності блокування трафіку запитів в досліджуваній СМО, зокрема в умовах відмови від попереднього резервування каналної ємності між сервісними підсистемами.

#### 4. Висновки

1. Висловлено гіпотезу про те, що із урахуванням існування в телекомунікаційній платформі сервісної мережної системи достатньої кількості альтернативних маршрутів для обслуговування потокового трафіку запитів, доцільно відмовитися від попереднього резервування каналних ресурсів під час реалізації методів управління потоками.

2. В роботі розроблено структурно-функціональну та структурно-математичну моделі процесів обслуговування запитів у сервісній мережній системі. Параметризовано імовірності

блокування запитів при використанні багатошляхової маршрутизації потокового трафіку запитів. Побудовано та описано граф переходів для такого випадкового процесу.

3. Запропоновані математична модель та загальний алгоритм обслуговування запитів без попереднього резервування каналних ресурсів дозволяють оптимізувати їх використання за продуктивністю на час тривалості оброблення потоку запитів.

### **Література**

1. Josef Spillner and Andrii Chaichenko and Andrey Brito and Francisco Brasileiro and Alexander Schill: Cloud Resource Recycling: An Addition of Species to the Zoo of Virtualised, Overlaid, Federated, Multiplexed and Nested Clouds; SDPS Transactions: Journal of Integrated Design and Process Science (JIDPS). - Issue 4/2014. - Vol. 18/1. – PP. 5-19.

2. Лунтовський А. О. Розподілені сервіси телекомунікаційних мереж та повсюдний комп'ютинг і Cloud-технології / А. О. Лунтовський, М. М. Климаш, А. І. Семенко. – Львів : Львівська політехніка, 2012. – 368 с.

3. N. Kryvinska, C. Strauss, “Conceptual Model of Business Services Availability vs. Interoperability on Collaborative IoT-enabled eBusiness Platforms”, in the “Internet of Things and Inter-cooperative Computational Technologies for Collective Intelligence”, book Ed.: N. Bessis and F. Xhafa, D. Varvarigou, R. Hill, and M. Li, the book series “Studies in Computational Intelligence”, (SCI-460), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013, ISBN: 978-3-642-34951-5, pp. 167-187.

4. [https://www.corezoid.com/ru/about\\_corezoid](https://www.corezoid.com/ru/about_corezoid)

5. Лагутин В. С. Телетрафик мультисервисных сетей связи / В. С. Лагутин, С. Н. Степанов. – Москва : Радио и связь, 2000. – 320 с.

6. Q.764: Specifications of Signalling System No. 7 – ISDN user part // Series Q: switching and signaling. – Geneva: ITU-T, 1999. – 110 p.

7. Бутрименко А. В. Система поиска оптимальных путей передачи сообщений / А. В. Бутрименко, В. Г. Лазарев // Проблемы передачи информации. – 1965. – Т.1. – С. 8-26.

8. Самер Аввад. Дослідження обслуговування трафіку на транзитній мережі оператора мобільного зв'язку / Самер Аввад, М. М. Климаш, І. В. Демидов, Б. В. Коваль // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2011. – №1 (17). – С. 51-55.

9. Климаш М. М. Дослідження особливостей розвитку архітектури та технологій WiMAX-орієнтованих інтегрованих радіомереж доступу 4G / М. М. Климаш, І. В. Демидов, Самер Аввад // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2008. – №4 (6). – С.37-47.

10. Богомоллова Н. Е. Метод повышения пропускной способности транзитной сети операторов сотовой подвижной связи / Н. Е. Богомоллова, А. С. Крылов // Мобильные системы. – 2005. – № 9. – С. 14-18.

11. Протоколы и методы управления в сетях передачи данных. Под ред. Ф. Куо. – Москва : Радио и связь, 1985. – 120 с.

12. Чекмарева Е. В. Особенности системы сигнализации №7 для сетей подвижной связи. Подсистема MAP / Е. В. Чекмарев // Материалы курсов «Новые технологии связи». – Москва : НТЦ КОМСЕТ, 1996.

13. Лившиц Б. С. Теория телетрафика / Б. С. Лившиц, А. П. Пшеничников, А. Д. Харкевич. – Москва : Связь, 1979. – 224 с.

14. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – Москва : Высшая школа, 2000. – 480 с.

15. Форд Л. Потоки в сетях ; перевод с англ. / Л. Форд, Д. Фалкерсон. Москва : – Мир, 1966. – 276 с.

Дата надходження в редакцію: 24.07.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. М. М. Климаш