

УДК 621.391:681.5

## АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ РІВНЯ СЕРВІСІВ ТА ДОДАТКІВ МЕРЕЖІ НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ

Кунуп Т.В.

### ANALYTICAL MODEL OF SERVICE AND APPLICATION LEVEL OF NEXT GENERATION NETWORK

Kunup T. V.

Стаття присвячена розробці аналітичних моделей рівня сервісів та додатків в мережі нового покоління (NGN). Представлена архітектура рівня сервісів та додатків з централізованою структурою та принцип надання нових сервісів та додатків (НСД). Запропоновано критерії для оцінки якості управління наданням НСД. На підставі врахування існуючих стандартів якості управління наданням НСД оцінюється за наступними критеріями – вірогідність втрати заявки на НСД; час надання НСД, що складається з часу очікування та, власне, часу обслуговування. Рівень сервісів та додатків NGN представлено у вигляді системи масового обслуговування виду  $M/M/1/t$ , для якої розроблено аналітичну модель. Зазначено, що при побудові аналітичної моделі рівня сервісів та додатків необхідно враховувати пріоритети заявок на НСД. Запропонована аналітична модель для системи масового обслуговування виду  $M/M/1/3$  з урахуванням пріоритетів заявок на НСД. Отримані вирази, які можуть бути застосовані проектувальниками мереж для визначення якості управління наданням НСД.

**Ключові слова:** NGN, нові сервіси та додатки, рівень сервісів та додатків, система масового обслуговування, аналітична модель.

**Вступ.** В теперішній час спостерігається стрімкий ріст попиту на нові сервіси та додатки (НСД), що дозволяють надати рівень сервісів та додатків мережі наступного покоління (NGN – Next Generation Network). Рівень сервісів та додатків забезпечує управління, логіку і виконання деякого числа сервісів та додатків. Пристрої, що відносяться до цього рівня, управляють потоком викликів, ґрунтуючись на запрограмованій логіці виконання сервісів та додатків, за допомогою взаємодії з пристроями рівня управління викликами і сигналізації. До самого рівня сервісів та додатків відносяться такі пристрої – сервери додатків і медіа сервери [1]. В сучасних NGN використовується рівень сервісів та додатків, що представляє собою централізовану систему, тобто використовується рівень сервісів та додатків з централізованою

структурою (РСДЦС). На рис. 1 [1] представлена архітектура NGN з РСДЦС. РСДЦС виділено пунктирною овальною лінією.

Надання сервісів відбувається наступним чином. Заявка на сервіс, пройшовши певний шлях, потрапляє до *Softswitch*. *Softswitch* перевіряє, який сервіс потрібно надати. У випадку необхідності надання базового чи додаткового сервісу *Softswitch* виконує всі необхідні операції самостійно. У разі необхідності надання НСД *Softswitch* через відкриті API або по протоколу SIP звертається до медіа серверу та серверу додатків. Саме вони здійснюють управління наданням НСД.

Ріст попиту на НСД суттєво збільшує навантаження на рівень сервісів та додатків. Виникає питання досягнення необхідної якості управління наданням НСД. Для оцінки якості управління наданням НСД слід визначити критерії якості. Отримання значень критеріїв потребує розробки аналітичних моделей рівня сервісів та додатків. Саме цим питанням присвячена дана робота.

Питання, пов'язані з архітектурою NGN та принципами побудови рівня сервісів та додатків, управлінням НСД і розробкою аналітичних моделей рівня сервісів та додатків, піднімалися у низці робіт українських та зарубіжних вчених. Цим питанням присвячені роботи О. Гольдштейна [2], О. Атцика, О. Тітова, М. Глінникова, О. Антоняна, Є. Скуратовської, І. Бакланова, В. Макарова, С. Остроха, А. Дудника, Н. Князевої [3], С. Шестопалова [5], Є. Штейнберга та ін.

В зазначених роботах при побудові моделей основна увага надавалася принципам управління наданням базових та додаткових сервісів. Сучасні мережі пропонують НСД, управління наданням котрих суттєво відрізняється. Тому розробка аналітичних моделей рівня сервісів та додатків NGN з урахуванням принципів управління наданням НСД є вельми актуальною.

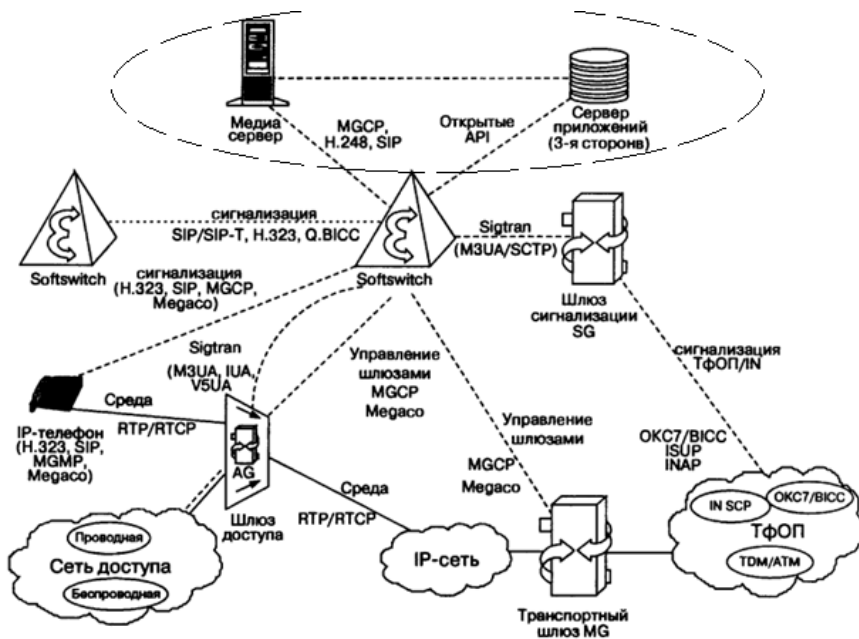


Рис. 1. Архітектура NGN з РСДЦС

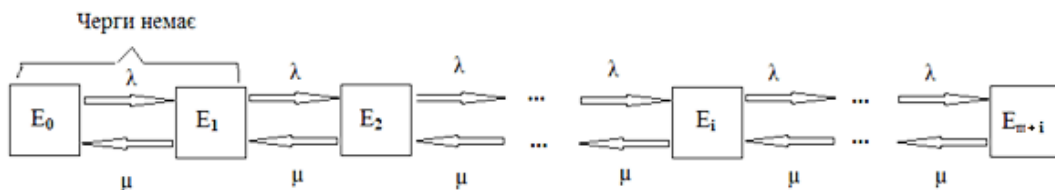


Рис. 2. Граф станів системи

**Мета статті.** Метою статті є визначення критеріїв якості управління наданням НСД, розробка аналітичних моделей РСДЦС для оцінки якості управління наданням НСД в NGN.

**Аналітичні моделі РСДЦС.** На підставі врахування існуючих стандартів [6], якість управління наданням НСД слід оцінювати за наступними критеріями:

1.  $P$  – вірогідність втрати заявки на НСД;
2.  $T_{НСД}$  – час надання НСД, що складається з часу очікування та, власне, часу обслуговування.

Для розрахунку необхідних критеріїв побудуємо аналітичну модель РСДЦС. Для цього скористаємося підходами теорії масового обслуговування. Представимо РСДЦС у вигляді СМО  $M/M/1/m$ . Будемо вважати, що всі заявки на НСД мають однаковий пріоритет. Представимо всі можливі стани системи  $M/M/1/m$  [7]:

- $E_0$  – прилад вільний;
- $E_1$  – прилад зайнятий, черги немає;
- $E_2$  – прилад зайнятий, одна заявка знаходиться в черзі;

в черзі;

- $E_i$  – прилад зайнятий,  $i-1$  заявка знаходиться в черзі;

в черзі;

- $E_{m+i}$  – прилад зайнятий,  $m$  заявок знаходиться в черзі (накопичувач повністю заповнений).

Заявка, що приходить в момент, коли система знаходиться в стані  $E_{m+i}$ , отримує відмову. Граф станів даної системи наведено на рис. 2.

Виходячи зі станів даної системи (рис. 2), для граничних ймовірностей станів можна записати систему рівнянь (1), застосовуючи результати робіт [7, 8]:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \rho \cdot P_0 \\ P_2 &= \rho^2 \cdot P_0 \\ &\dots \\ P_i &= \rho^i \cdot P_0 \\ &\dots \\ P_{m+1} &= \rho^{m+1} \cdot P_0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де

$$P_0 = \left[ 1 + \rho + \rho^2 + \dots + \rho^{m+1} \right]^{-1} \quad (2)$$

Тут  $P_i$  – ймовірність знаходження системи у  $i$ -му стані. Вираз в дужках являє собою геометричну прогресію з першим членом, що дорівнює одиниці, і знаменником прогресії, рівним  $\rho$  – завантаженню системи. Підсумовуючи члени цієї прогресії, знаходимо:

$$P_0 = \left[ \frac{(1-\rho^{m+2})}{(1-\rho)} \right]^{-1} = \frac{1-\rho}{1-\rho^{m+2}} \quad (3)$$

Формула (3) справедлива лише при  $\rho \neq 1$ . При  $\rho = 1$  отримуємо невизначеність вигляду  $\frac{0}{0}$ , розкладаючи яку за правилом Лопітала, отримаємо:

$$P_0 = \frac{1}{m+2} \quad (4)$$

Вірогідність втрати заявки на НСД  $P$  [7]:

$$P = P_{m+1} = \rho^{m+1} \cdot P_0 = \frac{\rho^{m+1}(1-\rho)}{1-\rho^{m+2}} \quad (5)$$

Абсолютна пропускна здатність [7]:

$$q = 1 - P_{\text{втр}} = 1 - \frac{\rho^{m+1}(1-\rho)}{1-\rho^{m+2}} = \frac{1-\rho^{m+1}}{1-\rho^{m+2}} \quad (6)$$

Відносна пропускна здатність:

$$A = \lambda \cdot q \quad (7)$$

Середнє число заявок  $l$ , що знаходяться в черзі, визначимо як математичне очікування дискретної випадкової величини  $R$  – числа заявок, що знаходяться в черзі. Величину можна отримати, помноживши число заявок в черзі на відповідні ймовірності і здійснивши сумування [7]:

$$l = 1 \cdot P_2 + 2P_3 + \dots + (i-1)P_i + \dots + mP_m \quad (8)$$

Після деяких перетворень отримаємо [7]:

$$l = \frac{\rho^2 [1 - \rho^m (m+1 - m\rho)]}{(1-\rho^{m+2})(1-\rho)} \quad (9)$$

Загальна кількість заявок в системі:  $m = l + w$ , де  $w$  – математичне очікування числа заявок, що знаходяться на обслуговуванні:

$$m = l + \frac{\rho - \rho^{m+2}}{1 - \rho^{m+2}} \quad (10)$$

Тоді

$$w = 0 \cdot P_0 + 1(1 - P_0) = \frac{\rho - \rho^{m+2}}{1 - \rho^{m+2}}, \quad (11)$$

де  $l$  визначається з (9).

Середній час очікування  $\bar{T}_{\text{оч}}$  буде дорівнювати середній довжині черги, помноженій на середнє значення часу в потоці заявок. Для найпростішого потоку заявок середній час  $\bar{T}_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda}$ . Таким чином маємо час очікування [7]:

$$\bar{T}_{\text{оч}} = \frac{l}{\lambda} \quad (12)$$

Середній час обслуговування однієї заявки –  $\bar{T}_{\text{обс}} = \frac{1}{\mu}$ . Математичне очікування часу обслуговування –  $q \frac{1}{\mu}$ . Тоді загальний середній час перебування заявки в системі [7]:

$$\bar{T}_{\text{НСД}} = \frac{l}{\lambda} + \frac{q}{\mu} \quad (13)$$

В даному випадку вважалось, що всі заявки на НСД мають однаковий пріоритет.

Вважаючи на те, що в *NGN* існує декілька класів заявок на НСД з різними пріоритетами, введемо три класи заявок – клас заявок на НСД, що потребує роботи з відео потоком; клас заявок на НСД, що потребує роботи з передачею мови; клас заявок на НСД, що працює з даними. Відповідно найбільш пріоритетним буде перший клас, а найменш пріоритетним – останній.

Представимо РСДЦС у вигляді системи масового обслуговування *M/M/1/3*.

Опис системи (рис. 3):

1. Система – *одноканальна*.
2. Вхідний потік заявок – *неоднорідний*: при цьому у систему надходить обмежена кількість класів (три класи) заявок.
3. Накопичувач для заявок – *обмеженою ємністю*  $m = 3$ .
4. Дисципліна буферизації – *без витіснення* заявок: якщо при надходженні в систему заявки будь-якого класу накопичувач заповнений до кінця, то заявка втрачається
5. Дисципліна обслуговування – *з відносними пріоритетами*.

Припущення:

1. Заявки трьох класів, що надходять в систему, утворюють *найпростіші* потоки з інтенсивностями  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  та  $\lambda_3$ , відповідно.
2. Тривалість обслуговування заявок кожного класу розподілена по *експоненціальному* закону з

інтенсивностями  $\mu_1 = 1/b_1$ ,  $\mu_2 = 1/b_2$ ,  $\mu_3 = 1/b_3$ , де  $b_1$ ,  $b_2$  і  $b_3$  – середня тривалість обслуговування заявок класу 1, 2 і 3, відповідно.

У СМО завжди існує стаціонарний режим, оскільки не може бути нескінченних черг [8].

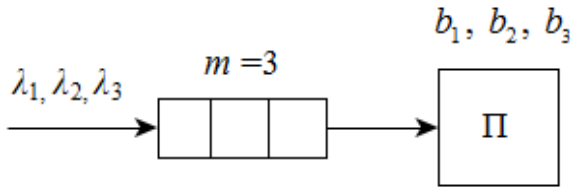


Рис. 3. Представлення РСДЦС у вигляді СМО виду М/М/1/3 з пріоритетами

Тепер можна перейти до кодування станів випадкового процесу. Це можна зробити наступним чином – (П,Ч), де  $\Pi = \{0, 1, 2, 3\}$  – стан обслуговуючого приладу, що задається класом заявки, яка знаходиться на обслуговуванні («0» – прилад вільний; «1», «2» або «3» – на обслуговуванні в приладі знаходиться заявка класу 1, 2 або 3, відповідно). Стан накопичувача може бути представлений таким чином:  $\mathcal{C} = \{0, 1, 2, 3, 11, 12, 13, 22, 23, 33, 111, 112, 113, 122, 123, 222, 223, 233, 333\}$ . Тоді марківський процес у будь-який момент часу може знаходитися в одному з наступних станів:

$E_0(0,000)$  – у системі немає жодної заявки;

$E_1(1,000)$  – на обслуговуванні в приладі

знаходиться заявка класу 1;

$E_2(2,000)$  – на обслуговуванні в приладі знаходиться заявка класу 2;

$E_3(3,000)$  – на обслуговуванні в приладі знаходиться заявка класу 3;

$E_4(1,100)$  – на обслуговуванні знаходиться заявка класу 1 і одна заявка класу 1 чекає обслуговування в накопичувачі;

$E_5(1,200)$  – на обслуговуванні знаходиться заявка класу 1 і одна заявка класу 2 чекає обслуговування в накопичувачі;

.....  
 $E_{59}(3,233)$  – на обслуговуванні знаходиться заявка класу 3 і одна заявка класу 2 та дві заявки класу 3 чекають обслуговування в накопичувачі;

$E_{60}(3,333)$  – на обслуговуванні знаходиться заявка класу 3 і три заявки класу 3 чекають обслуговування в накопичувачі.

Використовуючи стани випадкового процесу, сформуємо розмічений граф переходів (рис. 4).

По розміченому графу переходів складемо систему рівнянь для визначення стаціонарних ймовірностей:

$$\left. \begin{aligned} p_1\mu_1 + p_2\mu_2 + p_3\mu_3 &= p_0(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \\ p_0\lambda_1 + p_4\mu_1 + p_7\mu_2 + p_{10}\mu_3 &= p_1(\mu_1 + \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \\ p_0\lambda_2 + p_5\mu_1 + p_8\mu_2 + p_{11}\mu_3 &= p_2(\mu_2 + \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \\ \dots & \\ p_{30}\lambda_3 &= p_{60}\mu_3 \\ \sum_{i=0}^{60} p_i &= 1 \end{aligned} \right\} (14)$$

Розв'язавши систему рівнянь, знайдемо значення всіх ймовірностей.

Характеристики при знайдених значеннях стаціонарних ймовірностей станів випадкового процесу на підставі [8] можуть бути розраховані за наступними виразами:

Середнє число заявок кожного класу в черзі:

$$l_1 = p_4 + p_7 + p_{10} + p_{13} + p_{14} + 2p_{16} + p_{19} + p_{20} + 2p_{22} + p_{25} + p_{26} + 2p_{28} + \sum_{i=31}^{33} p_i + 3p_{24} + 2p_{35} + p_{36} + 2p_{37} + p_{38} + 3p_{43} + 2p_{44} + 2p_{45} + p_{46} + p_{47} + 3p_{52} + 2p_{53} + 2p_{54} + p_{55} + p_{56} \quad (15)$$

$$l_2 = p_5 + p_8 + p_{11} + p_{13} + p_{15} + 2p_{17} + p_{19} + p_{21} + 2p_{23} + p_{25} + p_{27} + 2p_{29} + \sum_{i=31}^{33} p_i + p_{35} + 2p_{36} + p_{36} + 3p_{39} + 2p_{40} + p_{41} + p_{44} + 2p_{46} + 3p_{48} + 2p_{49} + p_{50} + p_{53} + 2p_{55} + 3p_{57} + 2p_{58} + p_{59} \quad (16)$$

$$l_3 = p_6 + p_9 + p_{12} + p_{14} + p_{15} + 2p_{18} + p_{20} + p_{21} + 2p_{24} + p_{27} + 2p_{30} + \sum_{i=31}^{33} p_i + p_{37} + 2p_{38} + p_{40} + 2p_{41} + 3p_{42} + p_{45} + 2p_{47} + p_{49} + 2p_{50} + 3p_{51} + p_{54} + 2p_{56} + p_{58} + 2p_{59} + 3p_{60} \quad (17)$$

Завантаження пристрою відповідним класом заявок визначаються як суми ймовірностей станів, у яких відповідний пристрій зайнятий обслуговуванням заявок відповідного класу:

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 &= p_1 + \sum_{i=4}^6 p_i + \sum_{i=13}^{18} p_i + p_{31} + \sum_{i=34}^{42} p_i \\ \rho_2 &= p_2 + \sum_{i=7}^9 p_i + \sum_{i=19}^{24} p_i + p_{32} + \sum_{i=43}^{51} p_i \\ \rho_3 &= p_3 + \sum_{i=10}^{12} p_i + \sum_{i=25}^{30} p_i + p_{33} + \sum_{i=52}^{60} p_i \end{aligned} \right\} (18)$$

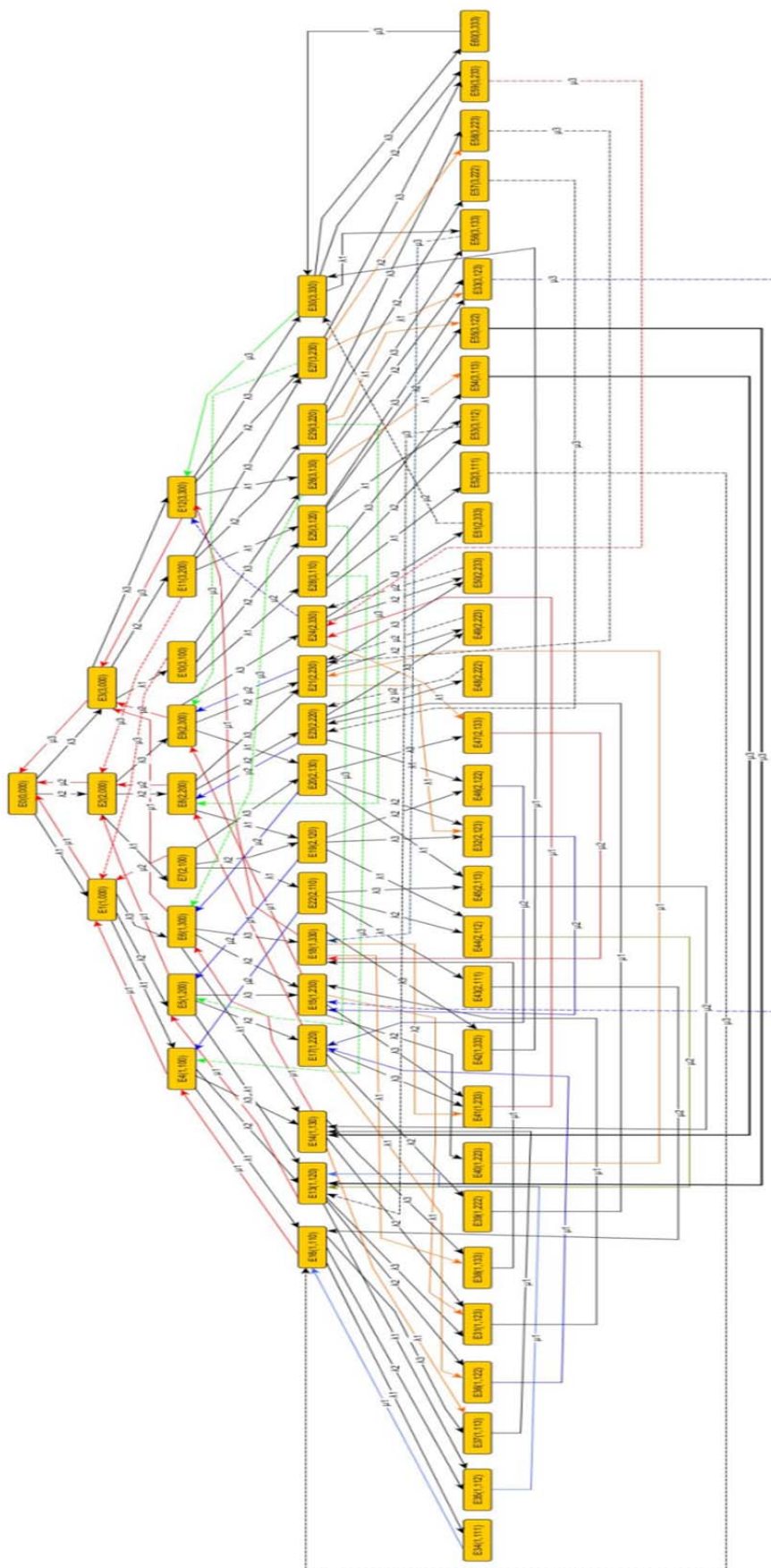


Рис. 4. Розмічений граф переходів

Продуктивності пристрою (інтенсивність обслужених заявок відповідного класу на виході пристрою):

$$\lambda'_1 = \frac{\rho_1}{b_1}; \lambda'_2 = \frac{\rho_2}{b_2}; \lambda'_3 = \frac{\rho_3}{b_3}. \quad (19)$$

Ймовірність втрати заявок відповідного класу:

$$P_1 = P_2 = P_3 = \sum_{i=31}^{60} p_i. \quad (20)$$

Середнє число заявок відповідного класу:

$$m_1 = \rho_1 + l_1; m_2 = \rho_2 + l_2; m_3 = \rho_3 + l_3. \quad (21)$$

Знайдемо час надання НСД кожного класу РСДЦС:

$$T_{\text{НСД}1} = \frac{m_1}{\lambda'_1}; T_{\text{НСД}2} = \frac{m_2}{\lambda'_2}; T_{\text{НСД}3} = \frac{m_3}{\lambda'_3}. \quad (22)$$

Отримані вирази [20, 22] можуть бути застосовані проектувальниками мереж для визначення якості управління наданням НСД.

**Висновки.** На підставі врахування існуючих стандартів [6], якість управління наданням НСД слід оцінювати за допомогою двох критеріїв – ймовірності втрати заявки на НСД та часу надання НСД. Для створення аналітичних моделей систем управління наданням НСД використано апарат теорії масового обслуговування. Для розрахунку критеріїв якості управління наданням НСД запропонована аналітична модель РСДЦС у вигляді СМО  $M/M/1/m$ , коли всі заявки на обслуговування мають однаковий пріоритет. Представлена також РСДЦС у вигляді системи масового обслуговування  $M/M/1/3$  для трьох класів заявок – клас заявок на НСД, що потребує роботи з відео потоком; клас заявок на НСД, що потребує роботи з передачею мови; клас заявок на НСД, що працює з даними. Отримані вирази [20, 22] можуть бути застосовані проектувальниками мереж для визначення якості управління наданням НСД.

Подальші дослідження мають бути пов'язані з розробкою імітаційних моделей для визначення якості управління наданням НСД у РСДЦС з більш складною структурою.

#### Література

1. Гольдштейн Б.С. Сети связи пост-NGN [Текст] / Б. С. Гольдштейн, А.Е. Кучерявый – СПб.: БХВ: Петербург, 2014. – 160 с.
2. Гольдштейн А. Б. SOFTSWITCH [Текст] / А. Б. Гольдштейн, Б. С. Гольдштейн. – СПб.: БХВ, 2006. – 368 с.
3. Kniazieva N.A. Approach to evaluating the quality of telecommunication services in next generation network [Текст] / N.A. Kniazieva, A.S. Kalchenko. – Science and

Education a New Dimention: Natural and Technical Science. – II(4)/ – Issue 32/ Budapest, 2014. – P. 68-70.

4. Стеклов В.К. Основы управления сетями и услугами телекоммуникаций [Текст] / В.К.Стеклов, С.В. Кильчицкий. – К.: Техніка, 2002.– 348с.
5. Шестопапов С.В. Розрахунок часткових критеріїв систем управління NGN [Текст] / С.В. Шестопапов // Вісник ДУІКТ. – т.8. – №2. – К.: ДУІКТ, 2010р. – С. 147-153.
6. Международный союз электросвязи (ITU)», официальное Интернет-представительство. – Режим доступа: <http://www.itu.int> (дата обращения 03.10.2017 г.).
7. Одноканальная СМО с ожиданием. – Режим доступа: [http://stu.sernam.ru/book\\_rop.php?id=54](http://stu.sernam.ru/book_rop.php?id=54) (дата обращения 06.10.2017 г.).
8. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем / Алиев Т.И. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363с.

#### References

1. Goldstein B.S. Post-NGN communication networks [Text] / B.C. Goldstein, A.E. Kucheryavy – St. Petersburg: BHV: Petersburg, 2014. – 160 p.
2. Goldstein A.B. SOFTSWITCH [Text] / A.B. Goldstein, B.S. Goldstein. – St. Petersburg: BHV, 2006. – 368 p.
3. Kniazieva N.A. Approach to evaluating the quality of telecommunication services in next generation network [Text] / N.A. Kniazieva, A.S. Kalchenko. – Science and Education a New Dimention: Natural and Technical Science. – II(4)/ – Issue 32/ Budapest, 2014. – P. 68-70.
4. 4. Steklov V.K. Fundamentals of management of networks and telecommunication services [Text] / V.K.Steklov, E.V. Kilchytsky – K. : Technics, 2002. – 348 p.
5. 5. Shestopalov S.V. Calculation of partial criteria of NGN control systems [Text] / S.V. Shestopalov // Bulletin of the DUKT. – 8(2) – K. : DUKT, 2010 – P. 147-153.
6. International Telecommunication Union (ITU), an official Internet representation. – Access mode: <http://www.itu.int> (circulation date 03.10.2017)
7. Single channel queuing system with expectation. – Access mode: [http://stu.sernam.ru/book\\_rop.php?id=54](http://stu.sernam.ru/book_rop.php?id=54) (circulation date 06.10.2017).
8. Aliyev T.I. Fundamentals of simulation of discrete systems / Aliyev T.I. – SPb: SPbSU ITMO, 2009. – 363 p.

**Кунуп Т.В. Аналитическая модель уровня сервисов и приложений сети следующего поколения.**

*Статья посвящена разработке аналитических моделей уровня сервисов и приложений в сети следующего поколения (NGN). Представлена архитектура уровня сервисов и приложений с централизованной структурой и принцип предоставления новых сервисов и приложений (НСП). Предложены критерии для оценки качества управления предоставлением НСП. На основании учета существующих стандартов качество управления предоставлением НСП оценивается по следующим критериям – вероятность потери заявки на НСП; время предоставления НСП, состоящее из времени ожидания и, собственно, времени обслуживания. Уровень сервисов и приложений NGN представлен в виде системы массового обслуживания вида  $M/M/1/m$ , для которой разработана аналитическая модель. Отмечено, что при построении аналитической модели уровня сервисов и приложений необходимо учитывать приоритеты заявок на НСП. Предложена аналитическая модель для системы*

массового обслуговування вида  $M/M/1/3$  с учетом приоритетов заявок на НСП. Получены выражения, которые могут быть применены проектировщиками сетей для определения качества управления предоставлением НСП.

**Ключевые слова:** NGN, новые сервисы и приложения, уровень сервисов и приложений, система массового обслуживания, аналитическая модель.

**Kunup T.V. Analytical model of service and application level of next generation network**

The article is devoted to the development of analytical models of the level of services and applications in next generation network (NGN). The architecture of the level of services and applications with a centralized structure and the principle of providing new services and applications (NSA) are presented. Criteria are proposed for assessing the quality of control of the provision of NSA. Based on the consideration of existing standards, the quality of control of the provision of NSA is assessed by the following criteria: the probability of losing an application for NSA; time of granting the NSA, consisting of the waiting time and, in fact, the time of service.

The level of services and NGN applications is presented in the form of a queuing system of the  $M/M/1/m$  type and its analytical model is developed. It is noted that when building an analytical model of the level of services and applications, it is necessary to take into account the priorities of applications for NSA. We propose an analytical model for the queuing system of the  $M/M/1/3$  type, taking into account the priorities of the applications for the NSA. Expressions were obtained that can be applied by the network designers to determine the quality of control of the provision of NSA.

**Key words:** NGN, new services and applications, level of services and applications, queuing system, analytical model.

**Кунуп Тетяна Василівна** – аспірантка кафедри Комп'ютерної інженерії Одеської національної академії харчових технологій, [ttvv@ukr.net](mailto:ttvv@ukr.net)

Рецензент: д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана: 23.09.1027