

УДК 621.391

МЕТОД ДЕКОМПОЗИЦІЇ СТРУКТУРИ МЕРЕЖНОГО ПРИСТРОЮ З ВІРТУАЛІЗАЦІЄЮ РЕСУРСІВ

В. І. Романчук., М. І. Бешлей., А. М. Прислупський., Г. В. Бешлей

*Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. Степана Бандери, 12, Львів, 79013, Україна*

Запропоновано новий підхід до побудови мультисервісної інфраструктури з віртуалізацією мережевих пристроїв. Мультисервісна мережа з віртуалізацією — це мережа в якій на одному або декількох мережевих пристроях використовується режим роботи з віртуалізацією. Віртуалізація мережевого пристрою передбачає створення двох або більше віртуальних мережевих машин, які виконують функції комутатора чи маршрутизатора з індивідуальним обслуговуванням потоків. Розроблено метод декомпозиції структури мережного пристрою з віртуалізацією ресурсів, використання яких в мультисервісній інфраструктурі забезпечить ефективний розподіл між різними мережевими потоками та дасть змогу підвищити якість обслуговування потоків реального часу із наданням гарантованого рівня QoS сервісів чутливих до втрат та нечутливих до затримок.

Ключові слова: параметри QoS, віртуалізація, комутатор, мережеві ресурси, мультисервісна мережа.

Постановка проблеми. Сучасні телекомунікаційні мережі (ТКМ) орієнтовані на надання абонентам широкого спектру послуг, кожна з яких при передаванні характеризується різнотипними вимогами щодо мережевих ресурсів [1–3]. Невпинне зростання потоків інформації приводить до модернізації телекомунікаційних мереж як в частині обладнання вузлів мережі, так і щодо постійного розширення пропускних здатностей каналів передавання для зростаючого обсягу потокового трафіку та забезпечення якості його передавання. Збільшення обсягів трафіку реального часу (голос, відео) створює ряд проблем та вимагає застосування нових методів ресурсної оптимізації, протоколів управління і, відповідно, заміни обладнання. Одним із методів забезпечення якості обслуговування різних видів трафіку є використання системи обслуговування з пріоритетами. При цьому система обслуговування на основі фіксованих пріоритетів має істотний недолік. Дана система не в змозі забезпечити необхідний рівень QoS низькопріоритетним потокам [4–6]. Детальний аналіз вказаних проблем, оптимізація і налаштування використовуваного обладнання ТКМ може забезпечити зростаючі вимоги. При цьому витрати на проведення таких робіт значно нижчі від можливих затрат на закупівлю та встановлення нового телекомунікаційного обладнання.

Найбільш перспективним рішенням стосовно забезпечення QoS та збалансованого використання мережних ресурсів, а також узгодженості між розв'язками

завдань маршрутизації, комутації, управління доступом та резервування ресурсів є використання для оптимізації обладнання IP-мереж технології віртуалізації мережевих пристроїв, які готують базис для радикальних змін у сфері надання мультимедійних послуг через мережу Internet. Віртуальні комутатори відкривають шлях новим сервісам Internet, які будуть ізольовані від трафіку інших сервісів мережі і забезпечать контроль над продуктивністю, адмініструванням адрес, засобами управління і мережевою безпекою. У зв'язку з цим тематика роботи, яка присвячена дослідженню віртуалізації мережевого пристрою з метою покращення якості обслуговування трафіку в мультисервісних мережах, є актуальною [7].

Мета статті — покращити часові показники якості обслуговування та гнучкості управління мережними ресурсами шляхом розробки методу декомпозиції структури мережевого пристрою з віртуалізацією ресурсів.

Розроблення методу декомпозиції структури мережного маршрутизатора на основі теорії систем та мереж масового обслуговування. У роботі запропоновано метод декомпозиції структури мережного маршрутизатора на основі теорії систем та мереж масового обслуговування, що дав змогу зменшити флуктуації часових параметрів обслуговування різних видів трафіку, які виникають через коливання їх інтенсивності із забезпеченням QoS. Мережевий пристрій з віртуалізацією згідно теорії систем масового обслуговування (СМО) можна зобразити за допомогою каскадного включення буферної пам'яті, обслуговуючих пристроїв та менеджера ресурсів (гіпервізора) (рис.1а). Втрати продуктивності на обслуговування гіпервізора є невисокі, проте необхідно врахувати вплив віртуалізації на продуктивність системи в залежності від використовуваної технології віртуалізації в процесі проектування корпоративних мереж. Відповідно на відміну від відомих у роботі здійснено удосконалення, а саме запропоновано використати коефіцієнт впливу віртуалізації на продуктивність системи — κ . Поведінка трафіку мультисервісної IP-мережі характеризується різними законами розподілу і тому при віртуалізації мережевого пристрою кожен віртуальний маршрутизатор працює із своїм класом послуг, кожен з яких описується відповідною функцією розподілу інтервалів між пакетами та функцією розподілу тривалості обслуговування. Провівши декомпозицію моделі маршрутизатора з віртуалізацією (рис. 1б) для одного типу трафіку отримаємо спрощену односерверну модель.

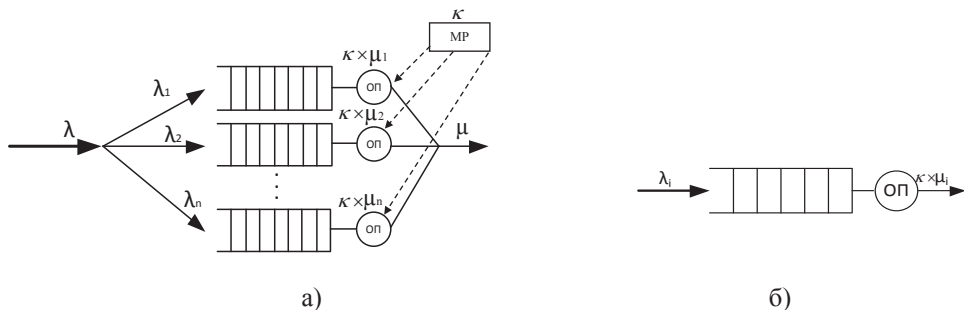


Рис. 1. Модель мережевого пристрою з віртуалізацією (а) та модель віртуального маршрутизатора (б)

Для опису такої моделі можна використати довільну систему масового обслуговування [28]. Для прикладу використаємо систему М/М/1/п, де на вхід поступають виклики з пуассонівським законом розподілу, при об'єднанні яких утворюється мультисервісний агрегований потік. Отже, для запропонованої системи М/М/1/п ймовірність втрат в i -му віртуальному маршрутизаторі визначається:

$$P_{вт_i} = \frac{(1 - \frac{\lambda_i}{\mu_i \cdot \kappa}) \cdot \frac{\lambda_i^{n_i}}{\mu_i \cdot \kappa}}{1 - \frac{\lambda_i}{\mu_i \cdot \kappa}}, \quad (1)$$

де λ_i — інтенсивність поступлення пакетів i -го потоку i -го віртуального маршрутизатора; μ_i — інтенсивність обслуговування пакетів i -го потоку i -го віртуального маршрутизатора; n_i — кількість місць в буфері i -го віртуального маршрутизатора.

Середня кількість пакетів в буфері i -го віртуального маршрутизатора:

$$\bar{N}_i = \frac{\frac{\lambda_i}{\mu_i \cdot \kappa} \cdot (1 + n_i) \cdot \frac{\lambda_i^{n_i+1}}{\mu_i \cdot \kappa}}{1 - \frac{\lambda_i}{\mu_i \cdot \kappa} - \frac{\lambda_i^{n_i+1}}{\mu_i \cdot \kappa}}, \quad (2)$$

Відповідно середній час перебування пакета в i -му віртуальному маршрутизаторі можна визначити на основі формули Літтла:

$$\bar{T}_i = \frac{\bar{N}_i}{\lambda_i}. \quad (3)$$

$$\bar{T}_i = \left(\frac{\frac{\lambda_i}{\mu_i \cdot \kappa} \cdot (1 + n_i) \cdot \frac{\lambda_i^{n_i+1}}{\mu_i \cdot \kappa}}{1 - \frac{\lambda_i}{\mu_i \cdot \kappa} - \frac{\lambda_i^{n_i+1}}{\mu_i \cdot \kappa}} \right) \cdot \frac{\kappa}{\lambda_i}. \quad (4)$$

У роботі вперше запропоновано використати формулу Норосса для оцінки кількості пакетів i -го потоку в буфері i -го віртуального маршрутизатора, де кожен потік характеризується своїми властивостями та власним параметром Херста:

$$N_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i \cdot \kappa} \cdot \frac{\left(\frac{\lambda_i}{\mu_i \cdot \kappa} \right)^{\frac{H_i - 0.5}{1 - H_i}}}{\left(1 - \frac{\lambda_i}{\mu_i \cdot \kappa} \right)^{\frac{H_i}{1 - H_i}}}, \quad (5)$$

де H_i — параметр Херста i -го потоку, що надходить на i -й віртуальний маршрутизатор.

Обсяг пам'яті буфера віртуального маршрутизатора, що потребується, визначається за формулою:

$$Q_{\sigma_i} = N_i \cdot L_{cp_i}, \quad (6)$$

де L_{cp_i} — середня довжина пакету.

Дослідження процесу декомпозиції фізичної топології мультисервісної мережі на віртуальні моносервісні на основі розробленого методу. Отже, завдання планування ресурсів зводиться до вибору параметрів структурно-функціональної моделі вузла обслуговування, які забезпечують дотримання необхідних параметрів якості обслуговування для інформаційних функціонально-орієнтованих корпоративних мереж. Служби, що використовують віртуальні магістральні маршрутизатори, дають змогу клієнтові, без особливих витрат, встановити контроль над приватною магістральною мережею і забезпечити її безпеку, а також організувати із мультисервісної мережі віртуальні моносервісні мережі (рис.2.). При такій організації мультисервісних мереж спрощується задача визначення моделі вхідного трафіку, які без декомпозиції використовували складні властивості самоподібності.

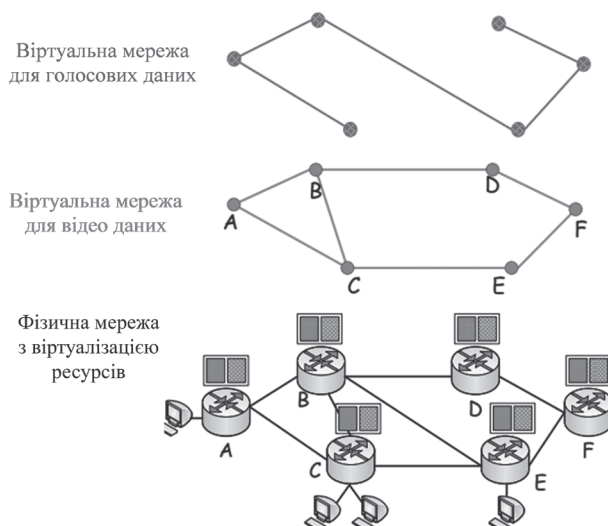


Рис. 2. Мережева віртуалізація з декомпозицією на моносервісні мережі

У роботі запропоновано удосконалено формулу Норосса для визначення середньої кількості пакетів певної послуги у буфері віртуального маршрутизатора. Запропоновано формулу визначення тривалості затримки пакетів послуги i -го віртуального мережного пристрою на всьому шляху передавання від джерела до адресата (7) та формулу визначення кількості віртуальних вузлів для забезпечення QoS (8).

$$t_i = \sum_{k=1}^M \tau_{ik} + \sum_{j=1}^N \frac{\lambda_i}{\mu_i \cdot K} \cdot \frac{\left(\frac{\lambda_i}{\mu_i \cdot K} \right)^{\frac{H_i - 0.5}{1 - H_i}}}{\left(1 - \frac{\lambda_i}{\mu_i \cdot K} \right)^{\frac{H_i}{1 - H_i}}} \cdot \frac{L_{cp_i} \cdot 8}{C_j}, \quad (7)$$

$$N_{\text{вузлів}} = \frac{T_{\text{допустиме}_i}}{\frac{\lambda_i}{\mu_i \cdot K} \cdot \left(\frac{\lambda_i}{\mu_i \cdot K} \right)^{\frac{H_i - 0.5}{1 - H_i}} \cdot \frac{L_{\text{ср}_i} \cdot 8}{C_j \cdot \left(1 - \frac{\lambda_i}{\mu_i \cdot K} \right)^{\frac{H_i}{1 - H_i}}}}, \tag{8}$$

де M — загальне число каналів зв'язку між двома абонентами сервісу; τ_{ik} — величина часу затримки розповсюдження пакету послуги i -го пріоритету по k -каналу зв'язку i -го віртуального маршрутизатора; N — загальне число мережевих пристроїв з віртуалізацією ресурсів розміщених між двома абонентами сервісу; C_j — пропускна здатність j каналу.

Дослідження тривалості затримки послуги i -го віртуального маршрутизатора на всьому шляху передавання від джерела до адресата здійснювалось на основі моделі мережі показаної на рис. 3 із використанням запропонованої формули 7 та ефективності її використання порівняно із відомою формулою Норроса, яка не враховує середню кількість пакетів. Величину тривалості затримки розповсюдження пакету послуги i -го пріоритету по k -каналу зв'язку взято для всіх однаковою $\tau_{ik} = 1$ мс виходячи з того, що випадковим процесом часу затримки є тривалість буферизації пакетів у вузлах, який важко прогнозувати за рахунок впливу багатьох чинників, особливо при складних алгоритмах обробки черг, що використовують пріоритети.

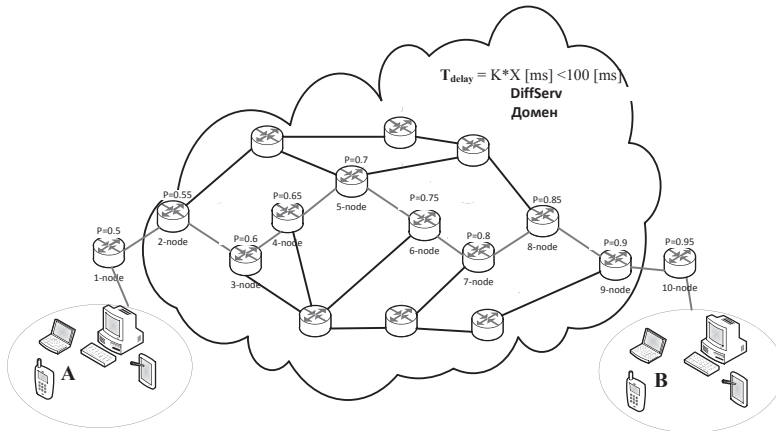


Рис. 3. Модель досліджуваної віртуалізованої мережі прогнозування тривалості затримки

Як бачимо з рис. 3 модель побудована так, щоб під час проходження пакету від джерела до адресата врахувати різні випадки коефіцієнтів завантаження віртуальних вузлів при яких виникають черги із різними віртуальними зонами завантаження буферного ресурсу. Прогнозування здійснювалось для трафіку створюваного трьома групами користувачів, які користуються різними послугами в різному обсязі. Для кожної із групи показано графіки прогнозування часів затримок послуг i -го віртуального маршрутизатора.

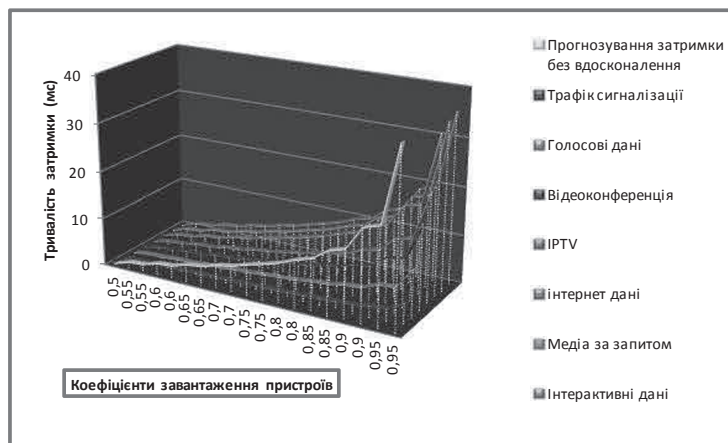


Рис. 4. Прогнозування тривалості затримок пакетів послуг i -го віртуального маршрутизатора дослідженої мережі для домашніх користувачів

Із рис. 5 бачимо ефективність використання запропонованої формули (7), яка визначає тривалість затримки пакетів послуг i -го віртуального маршрутизатора на всьому шляху передавання від джерела до адресата. Порівняно із результатами прогнозування тривалості затримки пакетів визначених за формулою коли ми не знаємо кількість пакетів i -ї послуги, які перебувають у буфері. А саме за формулою відомою — $t_i = 36.1$ мс, а за формулою удосконаленою — $t_i = 9.8$ мс. Як бачимо ефективність прогнозування тривалості затримки пакетів голосу підвищилась у 3.6 рази трафіку створюваного групою домашніх користувачів. З рис. 5 визначено ефективності прогнозування тривалості затримки пакетів всіх послуг, що передаються у мережі групою домашніх користувачів, які показано в табл. 1, де k — коефіцієнт підвищення ефективності прогнозування тривалості затримки пакетів послуг.

Таблиця 1

Ефективність прогнозування тривалості затримки пакетів послуг запропонованої формули

Послуга	К
Голосові дані	3,656941813
Відеоконференція	2,056688548
IPTV	1,589633977
Інтернет дані	1,093147158
Медіа за запитом	1,0520732
Інтерактивні дані	1,022597916

З рис. 5 визначено ефективності прогнозування тривалості затримки пакетів всіх послуг, що передаються групою офісних користувачів

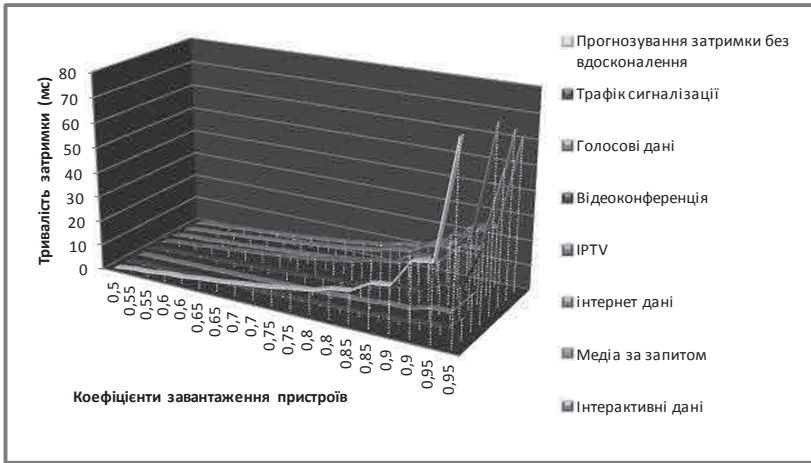


Рис. 5. Прогнозування тривалості затримок пакетів послуг *i*-го віртуального маршрутизатора дослідженої мережі для офісних користувачів

Таблиця 2

Ефективність прогнозування тривалості затримки пакетів послуг запропонованої формули

Послуга	К
Голосові дані	5,242391304
Відеоконференція	2,492031981
IPTV	1,048893775
Інтернет дані	1,419830823
Медіа за запитом	1,159452151
Інтерактивні дані	1,247084569

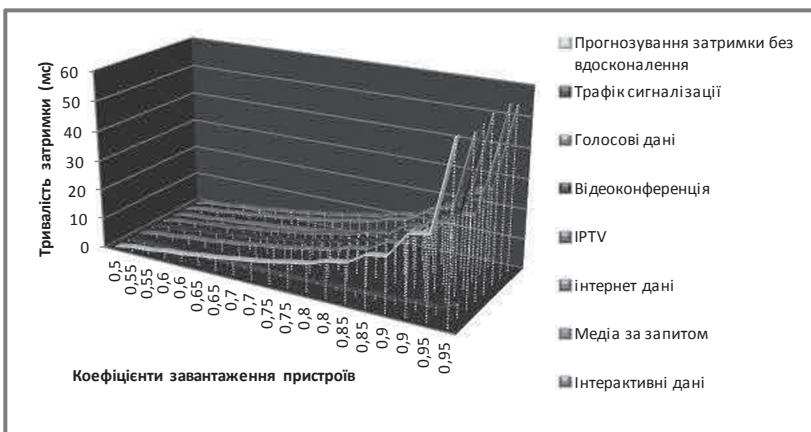


Рис. 6. Прогнозування часів затримок послуг *i*-го пріоритету дослідженої мережі для центру обробки даних

З рис. 6 визначено ефективності прогнозування тривалості затримки пакетів всіх послуг, що передаються у мережі групою центрів обробки даних, які показано в таблиці 3, де k — коефіцієнт підвищення ефективності прогнозування тривалості затримки пакетів послуг. Як бачимо отримані результати прогнозування тривалості затримки пакетів послуг співпадають із результатами не вдосконаленої формули, це можна пояснити тим, що користувачам центрів обробки даних не є важливими послуги голосу, тому вони оброблятимуться із гіршою якістю за рахунок поміщення пакетів у зону віртуального буфера призначеного для обслуговування центрів обробки даних. Такий підхід можна використати на етапі проектування, а також для підвищення ефективності функціонування реальної корпоративної мережі.

Таблиця 3

Ефективність прогнозування тривалості затримки пакетів послуг запропонованої формули

Послуга	К
Голосові дані	1,044663908
Відеоконференція	1,0301216
IPTV	1,005460956
Інтернет дані	1,253073463
Медіа за запитом	1,017641898
Інтерактивні дані	1,05376165

З рис. 7–9 визначено, прогнозування кількості віртуальних вузлів в мережі, яка забезпечує QoS при різних значеннях середнього коефіцієнта завантаження мережі для трьох груп користувачів. Та показано ефективність прогнозування із застосування вдосконаленої формули для послуг реального часу.

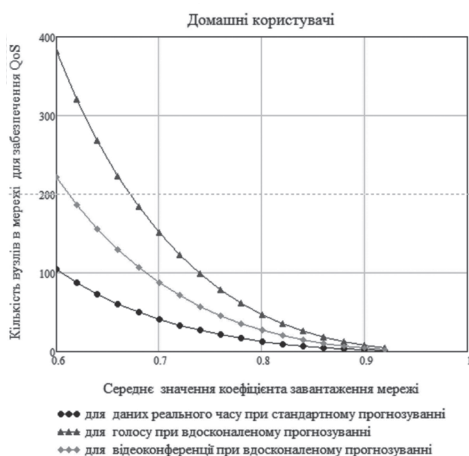


Рис. 7. Прогнозування кількості віртуальних вузлів в мережі, яка забезпечує QoS для групи домашніх користувачів

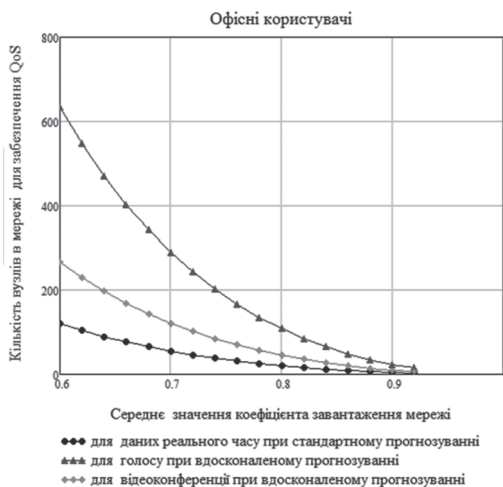


Рис. 8. Прогнозування кількості віртуальних вузлів в мережі, яка забезпечує QoS для групи офісних користувачів

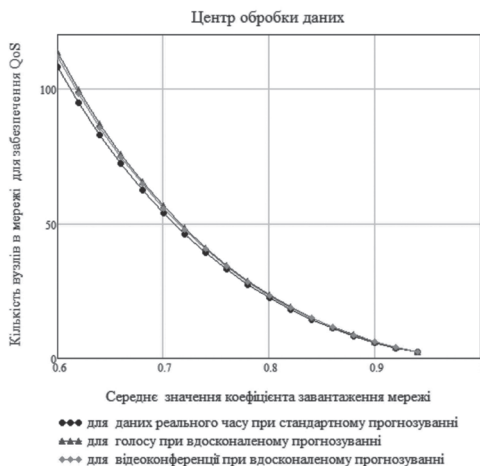


Рис. 9. Прогнозування кількості віртуальних вузлів в мережі, яка забезпечує QoS для групи центри обробки даних

З графіків бачимо переваги використання запропонованих формул які дають змогу ефективніше управляти мережевими ресурсами, із забезпеченням необхідної якості обслуговування абонентів. А також дозволяє отримати результати з вищою точністю (табл.1–3), загальної тривалості буферизації пакетів певного сервісу при проходженні через віртуальні вузли із різним коефіцієнтом завантаження на етапі проектування та прогнозуванням кількості вузлів в мережі, яка забезпечує QoS для даних реального часу створюваними різними групами користувачів.

Висновки. Запропоновано математичну модель мережевого пристрою з віртуальними маршрутизаторами. За допомогою даного математичного представлення розроблено метод декомпозиції структури вузла, що дає змогу визначити

основні параметри системи віртуальних черг, що базуються на алгоритмі FIFO з метою проведення аналізу ефективності використання мережних ресурсів, а також визначення параметрів якості обслуговування потоків трафіку сервісів, що надаються, для заданої інтенсивності надходження пакетів на вхідний інтерфейс мережного елементу. Запропоновано підхід щодо прогнозування тривалості затримки пакетів послуги i -го віртуального маршрутизатора на основі якого можна отримати результати з вищою достовірністю, загального часу буферизації пакетів певного сервісу при проходженні через віртуальні вузли із різним коефіцієнтом завантаження на етапі проектування для різних функціонально-орієнтованих корпоративних мереж. А також розраховано максимальну кількість транзитних вузлів, яка може бути встановлена для якісного надання мультисервісних послуг. Для голосових даних прогнозована допустима кількість транзитних вузлів збільшилась у 3.6 разів після застосування віртуалізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Liu X., Medhi D. «Optimally Selecting Standby Virtual Routers for Node Failures in a Virtual Network Environment», IEEE Transactions on Network and Service Management, no. 99, 2017, Pp. 1.
2. Increasing the efficiency of real-time content delivery by improving the technology of priority assignment and processing of IP traffic / Beshley M., Seliuchenko M., Lavriv O., Chervenets V., Kholiavka H., Klymash M. Smart Computing Review. 2015. Vol. 5. № 2. Pp. 76–88.
3. Розвиток методів передавання даних реального часу шляхом вдосконалення процесів пріоритетизації потоків у маршрутизаторах / Бешлей М. І., Червенець В. В., Демидов І. В., Романчук В. І., Панченко О. М. Системи озброєння і військова техніка. Харків: Харківський ун-т Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба. 2016. № 5(142). С. 114–123.
4. Beshley M., Romanchuk V., Chervenets V., Masiuk A. Ensuring the quality of service flows in multiservice infrastructure based on network node virtualization: International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo). 2016. Pp. 1–3.
5. Klymash M., Beshley M. and Stryhaluk B. System for increasing quality of service of multimedia data in convergent networks. Problems of Infocommunications Science and Technology: first International Scientific-Practical Conference. Kharkov, 2014. Pp. 63–66.
6. Beshley M., Romanchuk V., Seliuchenko M. and Masiuk A. Investigation the modified priority queuing method based on virtualized network test bed. The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics. Lviv, 2015. Pp. 1–4.
7. Klymash M., Romanchuk V., Beshley M., Polishuk A. Investigation and Simulation of System for Data Flow Processing in Multiservice Nodes Using Virtualization Mechanisms. IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). 2017. Pp. 989–993.

REFERENCES

1. Liu, X., Medhi, D. (2017). «Optimally Selecting Standby Virtual Routers for Node Failures in a Virtual Network Environment», IEEE Transactions on Network and Service Management, no. 99, 1 (in English).

2. Beshley M., Seliuchenko M., Lavriv O., Chervenets V., Kholiavka H., Klymash M. (2015). Increasing the efficiency of real-time content delivery by improving the technology of priority assignment and processing of IP traffic: *Smart Computing Review*, 5, 2, 76–88 (in English).
3. Beshlei M. I., Cherve-nets V. V., Demydov I. V., Romanchuk V. I., Panchenko O. M. (2016). Rozvytok metodiv peredavannia danykh realnoho chasu shliakhom vdoskonalen-nia protsesiv priorityzatsii potokiv u marshrutyzatorakh: *Systemy ozbroiennia i viisko-va tekhnika*. Kharkiv: Kharkivskiy un-t Povitrianykh Syl im. Ivana Kozheduba, 5(142), 114–123 (in Ukrainian).
4. Beshley, M., Romanchuk, V., Chervenets, V., Masiuk, A. (2016). Ensuring the quality of service flows in multiservice infrastructure based on network node virtualization: *International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo)*, 1–3 (in English).
5. Klymash, M., Beshley, M. and Stryhaluk, B. (2014). System for increasing quality of service of multimedia data in convergent networks. *Problems of Infocommunications Science and Technology: first International Scientific-Practical Conference*. Kharkov, 63–66 (in English).
6. Beshley, M., Romanchuk, V., Seliuchenko, M. and Masiuk, A. (2015). Investigation the modified priority queuing method based on virtualized network test bed. *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics*. Lviv, 1–4 (in English).
7. Klymash, M., Romanchuk, V., Beshley, M., Polishuk, A. (2017). Investigation and Simulation of System for Data Flow Processing in Multiservice Nodes Using Virtualization Mechanisms. *IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, 989–993 (in English).

doi: 10.32403/1998-6912-2018-1-56-31-42

METHOD OF DECOMPOSITION OF NETWORK DEVICE STRUCTURE WITH VIRTUALIZATION OF RESOURCES

V. I. Romanchuk., M. I. Beshley., A. I. Pruslupskiy., H. V. Beshly

*Lviv Polytechnic National University,
12, S. Bandery St., Lviv, 79013, Ukraine
mklimash@lp.edu.ua*

A new approach to the construction of multiservice infrastructure with virtualization of network devices has been presented. A multiservice network with virtualization is a network in which the mode of work with virtualization is used on one or several network devices. Virtualization of a network device involves the creation of two or more virtual network machines that perform the functions of a switch or router with individual service streams. The method of decomposing the structure of a network device with virtualization of resources has been developed. This method will provide an efficient allocation between different network streams and allow you to improve the quality of real-time streaming services, providing a guaranteed level of QoS services that are loss-sensitive and delay-insensitive in a multiservice infrastructure.

The mathematical model of a network device with virtual routers has been suggested. With the help of this mathematical representation, a method for decomposing the

device structure has been developed, which enables to determine the basic parameters of the virtual queue system based on the FIFO algorithm in order to analyse the efficiency of using network resources, as well as to determine the parameters of the service quality of traffic streams of services that are provided for the given intensity of packet arrival on the input interface of the network element. The approach to forecasting the duration of delay of service packets of the i -th virtual router has been suggested, on the basis of which it is possible to obtain results with a higher reliability, the total time of buffering of packages of a certain service when passing through the virtual switches with different loading factors at the design stage for various functional-oriented corporate networks. In addition, the maximum number of transit switches has been calculated that can be installed for the quality support of multiservice services.

Keywords: *QoS parameters, virtualization, switch, network resources, multi-service network.*

Стаття надійшла до редакції 30.03.2018.

Received 30.03.2018.