

УДК 004.057.2

В.Я. Воропаєва (канд. техн. наук, доц.), Д.О. Жуковська

Державний вищий навчальний заклад

«Донецький національний технічний університет», м. Покровськ

кафедра автоматики та телекомунікацій

E-mail: viktoriya.voropayeva@donntu.edu.ua, daria.zhukovska@donntu.edu.ua

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ QOS НА ІМІТАЦІЙНІЙ МОДЕЛІ
ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ**

Розроблена імітаційна модель передачі інформації по гетерогенній телекомунікаційній мережі на прикладі гібридної системи супутникового зв'язку. Проведено моделювання мультисервісної мережі з використанням програмного забезпечення, що забезпечує керування продуктивністю для комп'ютерних мереж і застосунків – OPNET. Результати моделювання роботи гібридної системи супутникового зв'язку показали вплив характеристик атмосфери та налаштувань обладнання мережі на параметри QoS, такі як розподіл смуги пропускання, затримка і варіації затримки при використанні відеоконференц-зв'язку, VoIP, HTTP. На основі отриманих результатів моделювання для відеоконференц-зв'язку сукупна пікова затримка не перевищила значення 0,4 с і залишалася постійною приблизно 0,38 с, пікове значення варіації затримки голосового пакету було близько до 0,08 с², а потім зменшилася до 0,025 с², тремтіння мало пікове значення приблизно 0,0045 с під час завмирання в дощі, що не перевищує вимоги до параметрів QoS.

Ключові слова: супутникова мережа, DVB, пріоритет, затримка, параметри QoS, OPNET.

Актуальність задачі дослідження. У зв'язку з необхідністю постійного пошуку оптимальних архітектурних побудов, визначення характеристик та налаштувань сучасних гетерогенних телекомунікаційних мереж перед проєктувальниками стоїть завдання дослідження особливостей цих мереж за допомогою імітаційного моделювання [1].

Локалізація задачі дослідження. Мета роботи полягає в дослідженні особливостей проєктування і функціонування гетерогенної мережі при передачі різного типу трафіку та його комбінацій шляхом імітаційного моделювання. Для досягнення мети поставлені наступні задачі:

- розробити імітаційну модель передачі інформації по гетерогенній телекомунікаційній мережі на прикладі ГССЗ;
- реалізувати модель в середовищі моделювання OPNET;
- виконати аналіз отриманих результатів і дати відповідні рекомендації.

Результати досліджень. Гетерогенні мережі зв'язку – це мережі, які складаються з двох або декількох систем зв'язку, що працюють при цьому спільно, для надання необхідних телекомунікаційних послуг кінцевому користувачеві. На сьогоднішній день існує велике розмаїття гетерогенних мереж. Одним з прикладів даних мереж є гетерогенні супутникові системи зв'язку (ГССЗ), які використовують супутникові та наземні канали зв'язку. ГССЗ є дуже гнучкими і дозволяють створювати мережі, що відповідають найжорсткішим вимогам і надають широкий спектр послуг з передачі голосу, відео, даних в будь-якій комбінації. На рис.1 представлений приклад побудови гібридної супутникової системи зв'язку [2, 3]. У роботі [4] авторами доведено, що використання алгоритму «зважена справедлива черга» при налаштуванні параметрів маршрутизатора дає змогу зменшити втрати даних з високим пріоритетом, чутливих до затримок. Отже, саме такий алгоритм обрано для реалізації імітаційної моделі передачі інформації по гетерогенній супутниковій системі зв'язку.



Рисунок 1 – Архітектура гібридної системи супутникового зв'язку

У моделі, що розробляється пакети приймаються з i -го порту, потім розбиваються на пріоритетні класи (високий, середній, низький) відповідно до типу мережного протоколу на підставі адрес призначення й джерела. Пакет обробляється протягом певного часу, що задається системним годинником. Розпізнавання пріоритету, розміщення в одну з 3-х черг і обробка протягом заданого часу. Перевагою обраної моделі є міжплатформенність комутаційного обладнання другого і третього рівнів. На рис. 2 представлена блок-схема роботи алгоритму обробки справедливої зваженої черги.

Під вагою пріоритетного класу розуміється відсоток наданої класу трафіку пропускної здатності від повної пропускної здатності вихідного інтерфейсу. Як при зваженому, так і при пріоритетному обслуговуванні, трафік ділиться на кілька класів для кожного з яких ведеться окрема черга пакетів. Але з кожною чергою зв'язується не її пріоритет, а відсоток пропускної здатності вихідного інтерфейсу, що гарантується даному класу трафіку при перевантаженнях цього інтерфейсу

Розрахунок параметрів моделі та смуги пропускання, що використовуються при налаштуванні застосунків в середовищі моделювання здійснюється за наступними формулами, які використовуються :

$$\begin{cases} V_1 = VH + VC + VB; \\ PVB = VB / V_1; \\ PVH = VH / V_1 \cdot p; \\ PVC = VC / V_1 \cdot p; \end{cases} \quad (1),$$

$$\begin{cases} OPB = (VB - PVB) / VB; \\ OPC = (VC - PVC) / VC; \\ OPH = (VH - PVH) / VH, \end{cases} \quad (2),$$

де P – пріоритет; $ВП$, $СП$, $НП$ – високий, середній та низький пріоритети, V_l – об'єм переданої інформації, VH , C , B – об'єм черг; PVB , PVH , PVC – об'єм інформації з високим, середнім

та низьким пріоритетом; p – пропускна здатність каналу; OPB , OPC , OPH – смуга пропускання для інформації з високим, середнім та низьким пріоритетом [5, 6].

Для побудови розробленої моделі використано середовище для проектування та моделювання локальних і глобальних мереж, комп'ютерних систем, додатків і розподілених систем – OPNET. Головною перевагою є те, що OPNET дозволяє проводити імітацію моделі мережі передачі даних в максимально наближених до реальності умовах, зокрема є можливість моделювати не тільки окремі канали, але й визначати наскрізні затримки та інші параметри QoS для гетерогенної мережі, що використовує супутниковий канал.

В налаштуваннях супутникового каналу обрана технологія DVB тому, що вона основана на одному з найпопулярніших методів супутникового доступу до глобальної мережі Інтернет, що об'єднує трафік даних і відео-трафік в загальний цифровий потік [7].

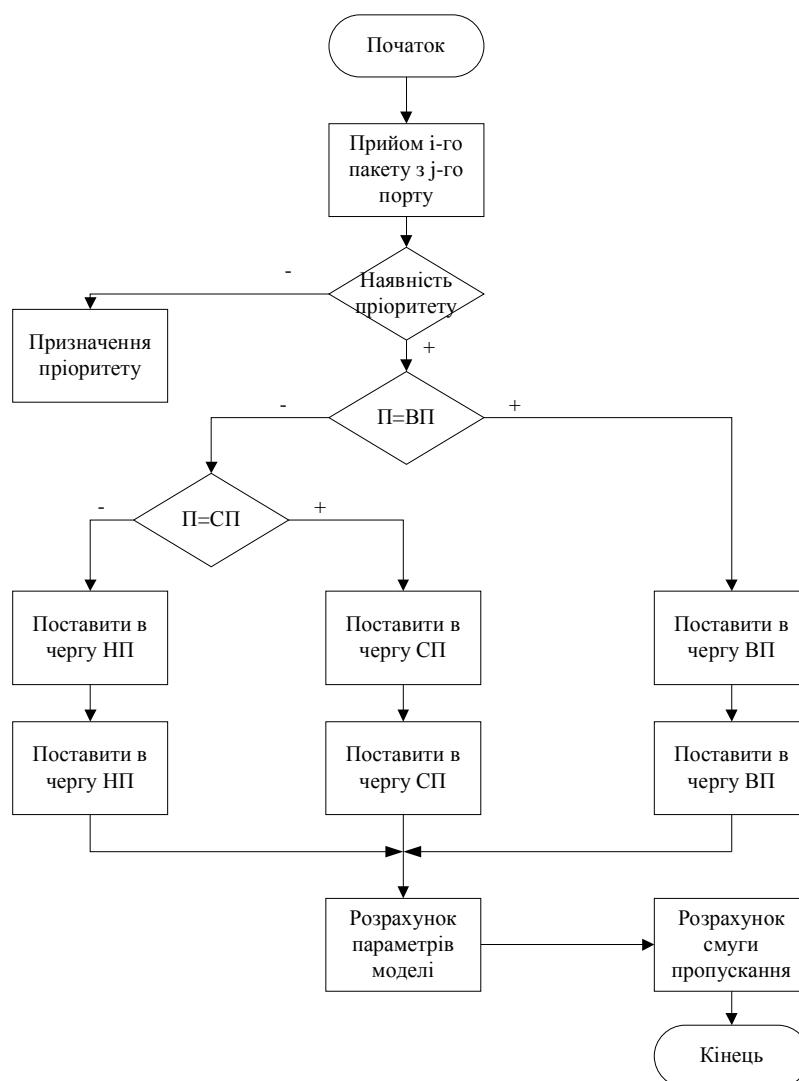


Рисунок 2 – Блок-схема роботи алгоритму моделі обробки справедливої зваженої черги

На рис. 3 маршрутизатор А виконує функції шлюзу до підмережі, що складається з комутатора А і чотирьох серверів. Крім того, він виступає в ролі наземного терміналу, а підмережа представляє Інтернет. Супутник є «вузьким місцем» мережі за величиною смуги пропускання. Клієнти запитують послуги у серверів, а повідомлення передаються за допомогою трафіку зворотного напрямку [8]. Далі представлені параметри для застосувань, що використовувались під час моделювання.

– відеоконференц-зв'язок (пріоритет – 1): між клієнтом 1 і клієнтом 8 на серверах 1 і 4

прямий напрямок розподілений за експоненціальним законом в середньому по 1000 байтів на кадр, а зворотній – по 250 байтів на кадр на швидкості 30 кадрів/с в обох напрямках;

– VoIP (пріоритет – 2): G.729: між сервером 1 і клієнтами 1 та 5 мовні потоки розподілені за експоненціальним законом із середньою тривалістю 0,352с, а інтервали тиші – 0,65 с, під час мовного потоку 80-байтовий пакет, враховуючи заголовки, згенеровано 100 разів в секунду;

– HTTP (пріоритет – 3): між сервером 2 і клієнтами 2 і 6 прямий трафік, що складається з одного пакету в 1000 байтів і п'яти пакетів, рівномірно розподілених між 500 і 2000 байтів, розподілений за експоненціальним законом середнім інтервалом в 30с, а трафік зворотного руху з шістьма 350-байтовими пакетами – з інтервалом в 30 с;

– FTP (пріоритет – 4): між сервером 4 і клієнтами 4 і 8 прямий і зворотній трафік склалися з одного 512-байтового контрольного пакету і одного 8000-байтового пакету даних (50 % отриманих і 50 % виданих) розподілений за експоненціальним законом середнім інтервалом в 60 с.

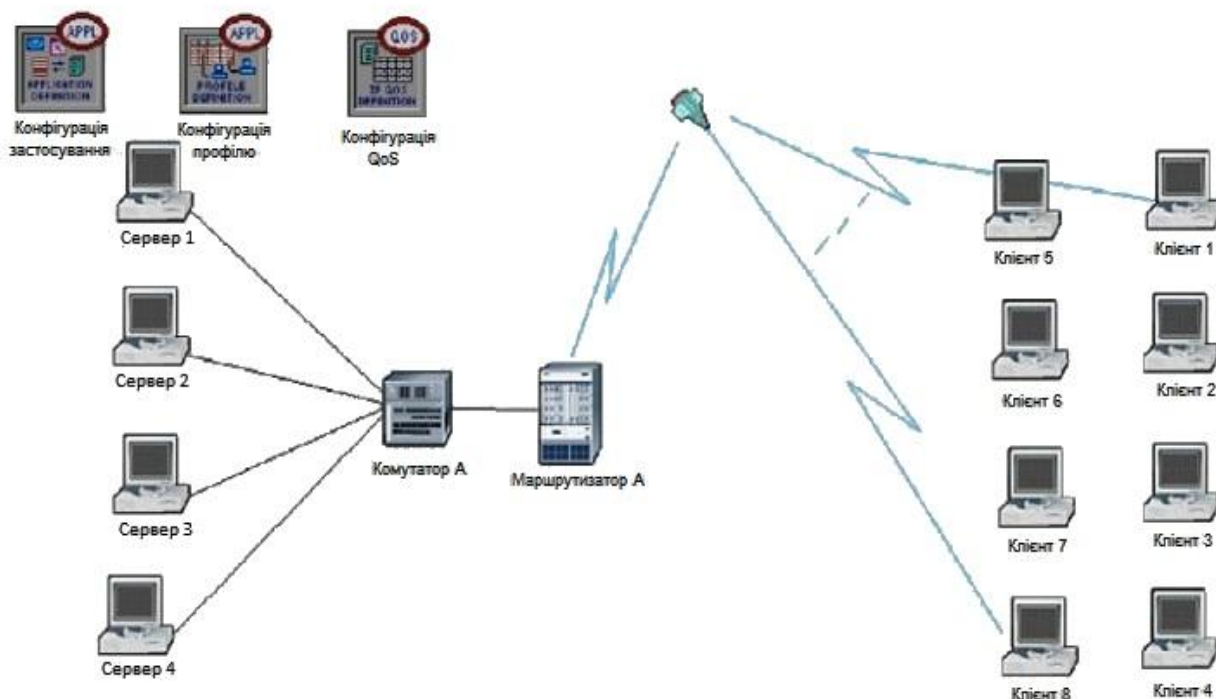


Рисунок 3 – Схема моделювання для гібридної супутникової мережі в середовищі OPNET

Усі параметри для моделювання були обрані згідно із рекомендацією MCE – R S [9].

Під час моделювання отримана наскрізна затримка трафіку різного типу зворотного напрямку від клієнтів 1-4 на серверах 1-4. Демонструється більш тривала затримка і висока мінливість трафіку, яка проходить черги нижчих пріоритетів. Отримані криві (рис.4) показують розподіл затримок для чотирьох пріоритетів трафіку. Трафік з найнижчим пріоритетом відчуває набагато більшу затримку, ніж трафік з найвищим пріоритетом.

При моделюванні отримано сукупний відправлений трафік відеоконференц-зв'язку та наскрізна затримка, результати проведеного моделювання представлені на рис. 5.

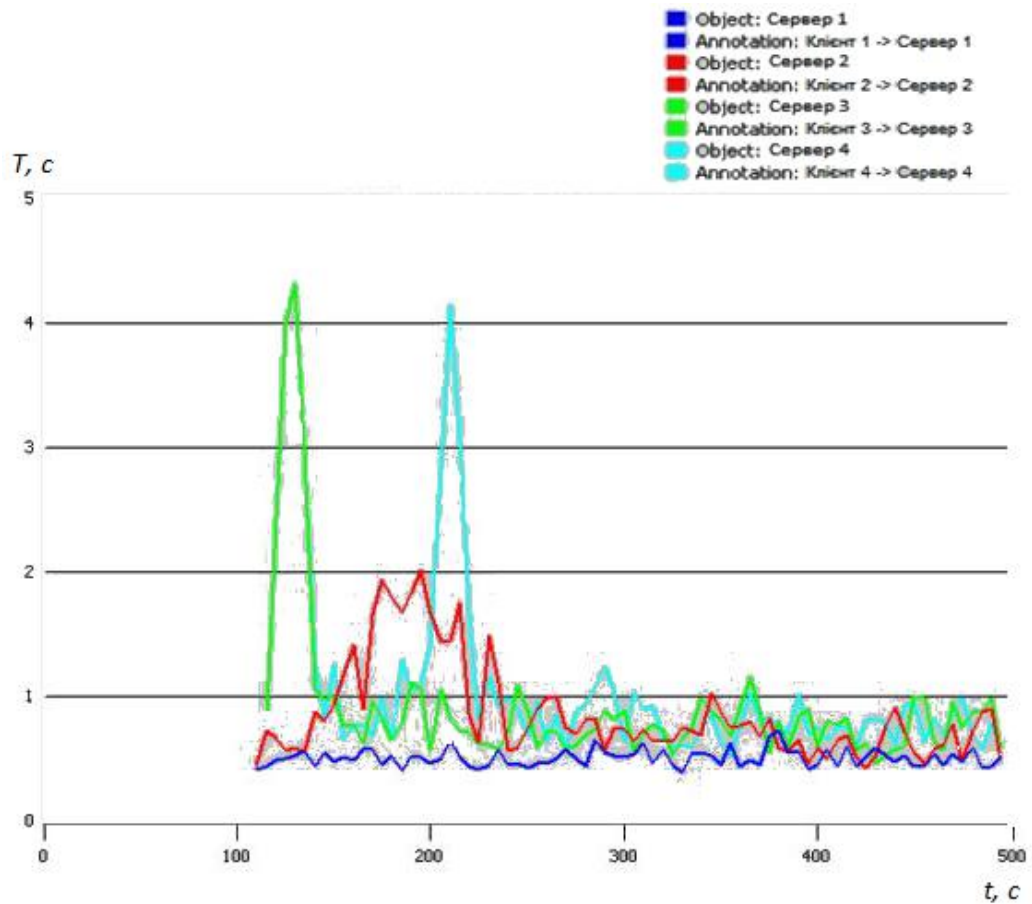


Рисунок 4 – Наскрізна затримка для трафіку різного типу від клієнтів 1-4 на серверах 1-4

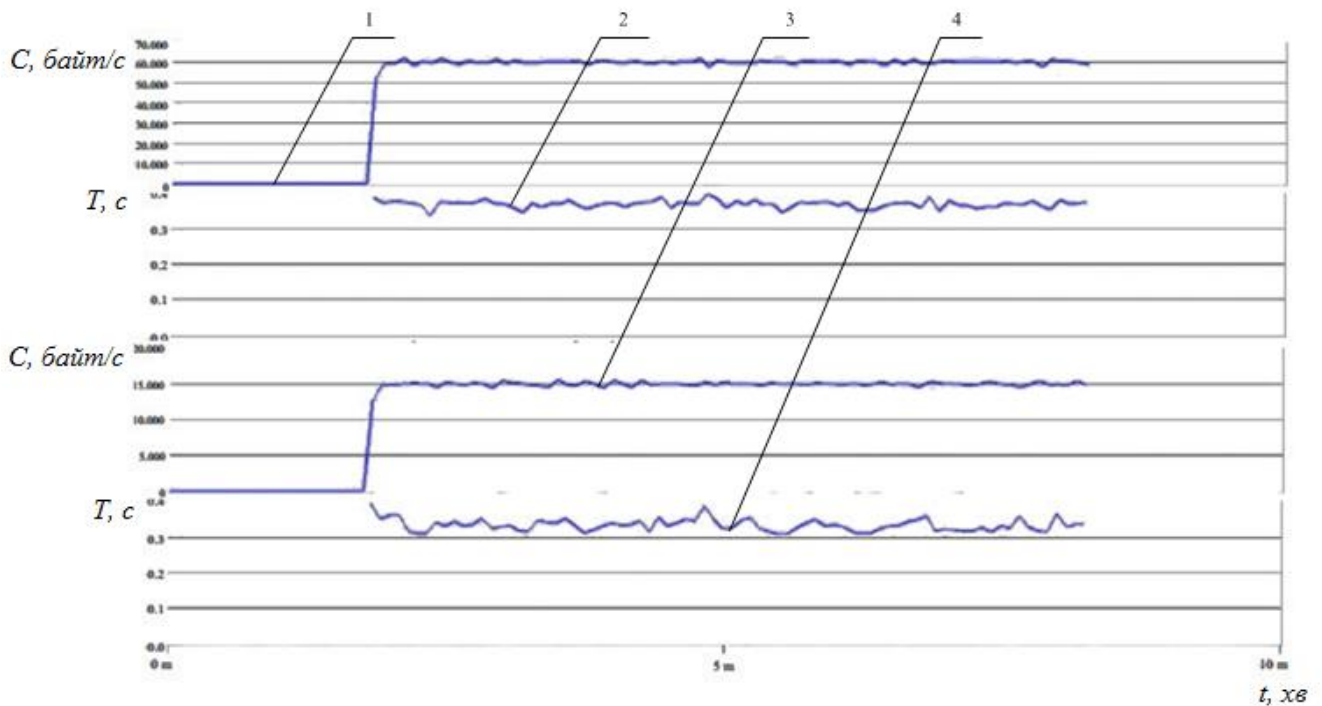


Рисунок 5 – Результати моделювання для трафіку відеоконференц-зв'язку: 1 – сукупний отриманий трафік, 2 – сукупна наскрізна затримка, 3 – отриманий трафік від клієнта до сервера, 4 – наскрізна затримка від клієнта до сервера

З рис. 5 видно, що сукупна пікова затримка не перевищила значення 0,4 с і залишалася постійною приблизно 0,38 с, що цілком відповідає встановленим показникам QoS при передачі відео-трафіку [9].

На рис. 6 приведені результати моделювання для голосового трафіку на сервері 1. З рис. 6 видно, що максимальна наскрізна затримка мовних пакетів становила 1,5 с, а середнє значення залишалось наближеним до 0,5 с. Пікове значення варіації затримки пакету було близько до 0,08 с², а потім зменшилася до 0,025 с² до кінця моделювання. Тремтіння мало пікове значення приблизно 0,0045 с під час завмирання в дощі, а в інший час воно варіювалося від 0,0025 с до 0,002 с, що не перевищує вимоги параметрів QoS для передачі голосу, оскільки час поширення сигналу по супутниковому каналу зв'язку становить 250 мс, різниця в часі між репліками абонентів не може бути менше 500 мс [9].

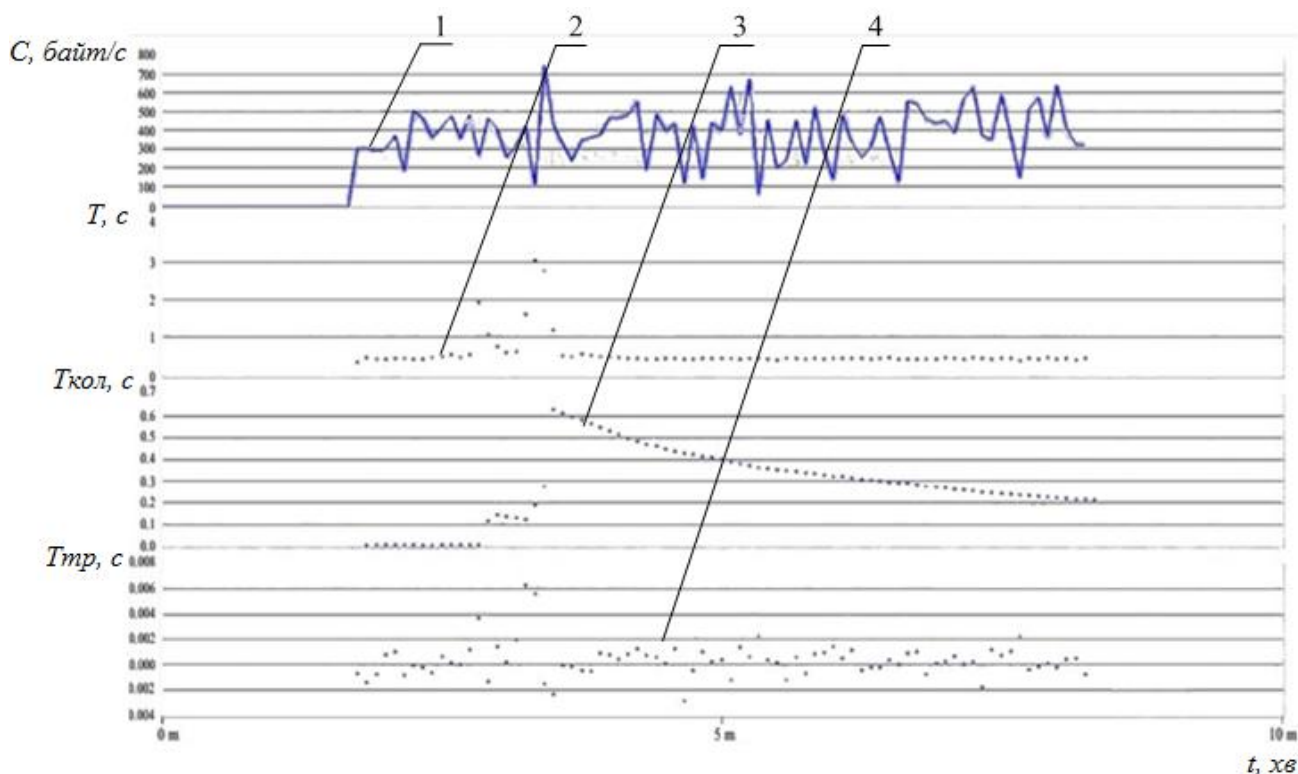


Рисунок 6 – Результати моделювання для трафіку VoIP:

1 – сукупний отриманий трафік, 2 – сукупна наскрізна затримка пакетів,
3 – коливання постпакетної затримки, 4 – тремтіння

На рис. 7 приведені результати моделювання для Інтернет-трафіку (НТТР). З результатів моделювання, що наведено на рис. 7 можна зробити висновок, що час відгуку сторінок (НТТР) варіювався від 2 с до приблизно 6 с. Час відгуку об'єкта – від приблизно 1 с до 4 с. Отримані результати не перевищують вимоги параметрів QoS при використанні супутникової мережі для доступу в Інтернет, оскільки значення параметру затримки практично не буває менше 300 мс, для симетричного супутникового доступу типова затримка варіюється від 600 мс до декількох секунд [9].

Результати моделювання значення сукупної затримки для відео, голосу і НТТР в прямому та зворотному напрямках показані в табл. 1. Всі результати приведені в секундах.

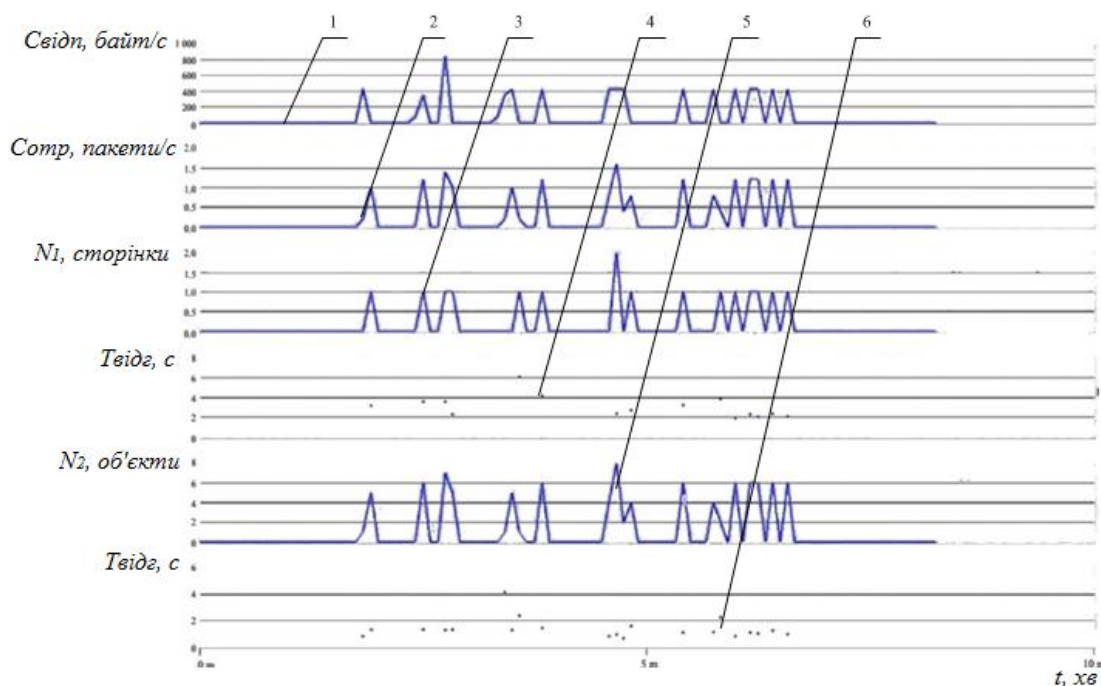


Рисунок 7 – Результати моделювання для трафіку HTTP: 1 – сукупний відправлений трафік, 2 – сукупний отриманий трафік, 3 – завантажені сторінки, 4 – час відгуку сторінки, 5 – завантажені об'єкти, 6 – час відгуку об'єкта

Таблиця 1 – Значення сукупної затримки для різних типів трафіку в прямому (до серверів) та зворотному (від серверів) напрямках

Сервер	Відеоконференц-зв'язок		VoIP		HTTP	
	До серверу	Від серверу	До серверу	Від серверу	До серверу	Від серверу
4	0,4702	0,4574	0,5041	0,4322	3,911	1,385
3	0,4098	0,3822	0,5012	0,4398	3,298	1,341
2	0,4021	0,3687	0,4402	0,4271	2,981	1,268
1	0,3785	0,2898	0,4078	0,3471	–	–

Таким чином, результати, що представлені в табл.1 показують, що трафік, відправлений з найвищою позначкою – пріоритет 1, відчуває на собі менший вплив завмирання з найнижчою затримкою. Трафік з найнижчим пріоритетом відчуває значну затримку і відбувається відкидання пакетів. Цей пріоритет, ймовірно, не підходить для застосувань, що вимагають великої смуги пропускання, які використовують TCP [10].

Висновки.

1. Розроблено модель передачі інформації по гетерогенній телекомунікаційній мережі на прикладі ГССЗ в середовищі імітаційного моделювання OPNET.

2. Результати моделювання роботи ГССЗ показали вплив характеристик атмосфери та налаштувань обладнання мережі на параметри QoS, такі як розподіл смуги пропускання, затримка і варіації затримки при використанні відеоконференц-зв'язку, VoIP, HTTP.

3. Для відеоконференц-зв'язку сукупна пікова затримка не перевищила значення 0,4 с і залишалася постійною приблизно 0,38 с. Пікове значення варіації затримки голосового пакету було близько до $0,08 \text{ с}^2$, а потім зменшилася до $0,025 \text{ с}^2$ до кінця моделювання, тремтіння мало пікове значення приблизно $0,0045 \text{ с}$ під час завмирання в дощі, а в інший час воно варіювалося від $0,0025 \text{ с}$ до $0,002 \text{ с}$, що не перевищує вимоги до параметрів QoS.

4. Шляхом проведення моделювання отримані результати, які показали, що правильно підібрані сегменти і технології мережі можуть вирішити проблеми, що виникають при вико-

ристанні стандартних моделей передачі трафіку, а розроблена імітаційна модель може бути використана для оптимального проектування та налаштування реальних гетерогенних супутникових систем зв'язку.

Перелік використаної літератури

1. Вишне夫斯基, В.К. Оценке надежности гибридной системы передачи мультимедийной информации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elib.bsu.by/bitstream/123456789/35971/1/%D0%B2%D0%B8%D1%88%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20192-204.pdf> – Дата доступа: квітень 2017. – Назва з титул. екрана.
2. Жуковская, Д.А. Анализ гибридных телекоммуникационных сетей / Д.А. Жуковская. // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, часть I. – 2014. – С. 74–77.
3. Семенов, Е.С. Моделирование гибридной сети связи следующего поколения на основе конвергенции технологий беспроводного доступа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://elib.psuti.ru/ifte09_to7_no1/Semenov_Bartashevich_Chernih.pdf – Дата доступа: квітень 2017. – Назва з титул. екрана.
4. Воропаева, В.Я. Оцінка впливу алгоритмів обробки черг на показники QoS / В.Я. Воропаева, Д.О. Жуковська // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – 2014. – №1. – С. 111–118.
5. Воропаева, В.Я. Теорія телетрафіку: навч. посіб. / В.Я. Воропаева, В.І. Бессараб, В.В. Турпалов та ін. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. – 202 с.
6. Пономарев Д.Ю. Моделирование процесса обслуживания очередей в IP маршрутизаторе [Электронный ресурс]: ИММОД – Режим доступа: <http://immod.gpsr.ru/files/2011/124.pdf> – Дата доступа: квітень 2017. – Назва з титул. екрана.
7. Кириллов А. В. Характеристики систем спутникового доступа к интернету в стандарте DVB /P/ MPEG-2 в условиях самоподобия трафика / А.В. Кириллов, К.Ю. Окулов. // Научный журнал «Вестник ассоциации ВУЗов туризма и сервиса». – 2009. – №1. – С. 29–44.
8. Демидов, А.С. Анализ динамики загрузки корневых маршрутизаторов информационных систем при внедрении мультимедийных услуг / А.С. Демидов, А.В. Косиор, В.Я. Воропаева // Збірник тез IV Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій» м. Київ, 20 – 23 квітня 2010 р. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – С. 141.
9. Рекомендация МСЭ-R S.1897 (01/2012). Межуровневое обеспечение QoS в гибридных спутниково- наземных сетях, базирующихся на протоколе Интернет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-rec/s/R-REC-S.1897-0-201201-I!!PDF-R.pdf – Дата доступа: квітень 2017. – Назва з титул. екрана.
10. Корячко, В.П. Корпоративные сети: технологии, протоколы, алгоритмы / В.П. Корячко, Д.А. Перепелкин. – М.: Горячая линия-Телеком, 2011. – 216 с.

References

1. Vishnevskij, V.K. (2013), “To assess the reliability of the hybrid multimedia transmission system”, available at: <http://elib.bsu.by/bitstream/123456789/35971/1/%D0%B2%D0%B8%D1%88%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20192-204.pdf> (Accessed April 2017).
2. Zhukovska, D.O (2014), “Analysis of hybrid telecommunications networks”, *Trudy Severo-Kavkazskogo filiala Moskovskogo tehničeskogo universiteta svjazi i informatiki* [Proceedings of the North Caucasian Branch of the Moscow Technical University of Communications and Informatics], SKF MTUSI [NCB MTUCI], Rostov-on-Don, Russia, 2014, pp 74-77.

3. Semenov, E.S. (2009), "Modeling of the next-generation hybrid communication network based on the convergence of wireless access technologies", available at: http://elib.psuti.ru/ifte09_to7_no1/Semenov_Bartashevich_Chernih.pdf (Accessed April 2017).
4. Voropaeva, V.Ya. and Zhukovska, D.O. (2014), "Assessing the impact of processing algorithms queues indicators QoS", *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tehnicnogo universitetu. Seriya: Obchislyvalna tehnika ta avtomatizatsiya*, no. 1(26), pp. 111-118.
5. Voropayeva, V.Y. (2011), Teoriya teletrafiku: navch. posib., [Teletraffic theory: a tutorial], № 1/11-7538, in Voropayeva, V.Y., Bessarab, V.I., Turupalov, V.V., Chervyns'kyu, V.V. (ed.), DVNZ "DonNTU", Donetsk, Ukraine.
6. Ponomarev, D.Ju. (2011), "Modeling the queue maintenance process in the IP router", available at: <http://immod.gpss.ru/files/2011/124.pdf/> (Accessed April 2017).
7. Kirillov, A.V. and Okulov, K.Ju. (2009), "Characteristics of satellite Internet access systems in the DVB/IP/MPEG-2 standard under self-similar traffic conditions", *Vestnik asociacii VUZov turizma i servisa*, vol. 1, pp. 29-44.
8. Demidov, A.S., Kosior, A.V. and Voropaeva, V.Y. (2010), "Analysis of the dynamics of core routers utilization of information systems in the implementation of multimedia services", *Zbirnik tez. K.: NTUU "KPI" [Abstracts. K.: NTU "KPI"], IV mizhnarodna naukovo-tehnicna konferencija "Problemi telekomunikacij" [IV International Scientific Conference "Problems of Telecommunications"]*, Kiev, Ukraine, 2010, p. 141.
9. Rekomendatsiia MSE-R S.1897 (01/2012). Mezhhurovnevoe obespechenie QoS v gibridnykh sputnikovonazemnykh setiakh, baziruiushchikhsia na protokole Internet [Recommendations of MCT-R S. 1897 (01/2012). Cross-level maintenance of QoS in hybrid satellite and land networks based on the Internet protocol], available at: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/s/R-REC-S.1897-0-20-1201-I!!PDF-R.pdf (Accessed: 27.04.2017).
10. Korjachko, V.P. and Perepelkin, D.A. (2011), Korporativnye seti: tehnologii, protokoly, algoritmy [Corporate networks: technology, protocols, algorithms], Gorjachaja linija-Telekom, Moscow, Russia.

Надійшла до редакції:
12.05.2017

Рецензент:
д-р.техн. наук, доц. Вовна О.В.

В.Я. Воропаева, Д.А. Жуковская

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

Исследование параметров QoS на имитационной модели гибридной системы спутниковой связи. Разработанная имитационная модель передачи информации по гетерогенной телекоммуникационной сети на примере гибридной системы спутниковой связи. Проведено моделирование мультисервисной сети с использованием программного обеспечения, которое обеспечивает управление производительностью для компьютерных сетей и приложений – OpNet. Результаты моделирования работы гибридной системы спутниковой связи показали влияние характеристик атмосферы и настроек оборудования сети на параметры QoS, такие как распределение полосы пропускания, задержка и вариации задержки при использовании видеоконференц-связи, VoIP, HTTP. На основе полученных результатов моделирования для видеоконференц-связи совокупная пиковая задержка не превысила значение 0,4 с и оставалась постоянной примерно 0,38 с, пиковое значение вариации задержки голосового пакета было близко к 0,08 с², а затем уменьшилась до 0,025 с², дрожания имело пиковое значение примерно 0,0045 с при замирания в дожде, что не превышает требования к параметрам QoS.

Ключевые слова: спутниковая сеть, DVB, приоритет, задержка, параметры QoS, OpNet.

V. Voropaeva, D. Zhukovska

Donetsk National Technical University

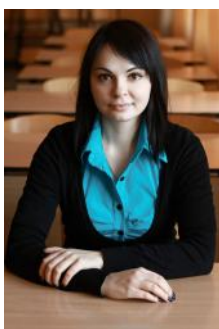
The study of QoS parameters on the simulation model of a hybrid satellite communication system. Investigation of QoS parameters on the simulation model of a hybrid satellite communication system was made. In connection with the need to constantly search for optimal architectural designs, determine the characteristics and settings of modern heterogeneous telecommunications networks, designers are faced with the task of investigating the features of these networks through simulation. In this paper, an imitation model for the transmission of information on a heterogeneous telecommunications network is developed using the example of a hybrid satellite communication system. A multi-service network was simulated using software that provides performance management for computer networks and applications - OPNET. To implement the simulation model for transmitting information over a heterogeneous satellite communication system, the algorithm "weighted fair queue" is used, because when configuring the parameters of the router it allows reducing the loss of data with a high priority sensitive to delays. The chosen technology of DVB, in connection with the fact that it is based on one of the most popular methods of satellite access to the global Internet, which combines traffic data and video traffic into a common digital stream. The simulation results showed that traffic sent with the highest mark-priority 1, experiences a lesser effect of fading with a low delay. A longer delay and high variability of traffic passing through lower priority queues are demonstrated. In addition, with overload, traffic with a lower priority is experiencing more pressure than traffic with a higher priority. Traffic with the lowest priority experiences a significant delay and packets are discarded. As a result, for the videoconferencing, the cumulative peak delay did not exceed 0.4 s and remained constant about 0.38 s. The peak value of the delay variation of the voice packet was close to 0.08 s, and then decreased to 0.025 s until the end of the simulation, the peak jitter value was approximately 0.0045 s with rain fade, and the rest of the time it varied from 0.0025 s to 0.002 s, which does not exceed the requirements for QoS parameters. By performing the simulation, results were obtained that showed that properly selected segments and network technologies can solve the problems that arise when using standard traffic transmission models, and the developed simulation model can be used for optimal design and tuning of real heterogeneous satellite communication systems.

Keywords: satellite network, DVB, priority, delay, QoS parameters, OPNET.



Воропаєва Вікторія Яківна, Україна, закінчила Донецький національний технічний університет, к.т.н., доцент, проректор з науково-педагогічної роботи ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м Покровськ, Донецька обл., 85300, Україна).

Основний напрямок наукової діяльності – сучасна теорія телетрафіка, оптимізація телекомунікаційних та інформаційно-комунікаційних систем і мереж.



Жуковська Дар'я Олександрівна, Україна, закінчила Донецький національний технічний університет, аспірант кафедри автоматики і телекомунікацій. ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, Донецька обл., 85300, Україна).

Основне Основний напрямок наукової діяльності – оптимальне управління трафіком в гетерогенних телекомунікаційних мережах.