

УДК 621.391.63

[0000-0002-0989-7112] **А. М. Чорній¹**, к.т.н., доцент,
e-mail: chorniy134@gmail.com

[0000-0002-7225-5606] **Д. А. Журбинський²**, к.т.н., доцент,
[0000-0001-5013-9869] **І. О. Євтушенко²**, магістрант

¹Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

²Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
вул. Онопрієнка, 8, м. Черкаси, 18034, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ МЕРЕЖІ НА ЯКІСТЬ ПЕРЕДАВАННЯ VoIP

Поява нових технологій та протоколів передачі даних у телекомунікаційних мережах зумовлює появу нових підходів до якісного та ефективного передавання інформації. Одним із найпоширеніших типів даних, що передаються, є передача голосових повідомлень (мови). У класичних аналогових системах передача мови здійснювалася за допомогою комутації каналів, але з появою підходу, який передбачає комутації пакетів, з'явилася і нова ідеологія до передачі голосових повідомлень. Однією з найефективніших, з точки зору використання наявної смуги пропускання каналу зв'язку та адаптивних параметрів якості, є IP-телефонія, за допомогою якої можна розгорнути телефонні корпоративні мережі. На сьогодні є значна кількість протоколів для побудови IP-мереж або її сегментів, але непростою задачею є вибір «правильного» протоколу під конкретні умови мережі.

У статті авторами розглядається задача визначення допустимого рівня завантаженості телекомунікаційної мережі для оптимальної роботи голосового зв'язку за технологією VoIP. Запропоновано модель телекомунікаційної мережі, в якій наявне навантаження голосового зв'язку та відеоконференції, порівняння характеристик голосового трафіку для голосових кодеків, порівняльний аналіз характеристик при різній завантаженості. Визначено оптимальний тип з'єднання мережі та критерій завантаженості.

Проведено моделювання сегмента телекомунікаційної мережі для моделювання та аналізу характеристик найпоширеніших кодеків, що використовуються в IP-мережах. Також введено показники якості голосу за MOS-фактором для усіх розглянутих сценаріїв завантаженості мережі. На основі проведених досліджень здійснено рекомендації щодо використання різних кодеків для різної завантаженості мережі з метою забезпечення заданих параметрів MOS-фактора.

Ключові слова: завантаженість мережі, якість обслуговування, технологія VoIP, кодек, джитер, MOS-фактор.

Вступ. VoIP – технологія передачі мультимедіа-даних у реальному часі за допомогою сімейства протоколів TCP/IP. IP-телефонія – система зв'язку, в якій аналоговий звуковий сигнал абонента дискретизується (кодується в цифрову форму), компресується й пересилається цифровими каналами зв'язку до іншого абонента, де проводиться зворотна операція – декомпресія, декодування й відтворення аналогового сигналу.

Основними особливостями IP-телефонії є зручність, відносна надійність та невисока вартість порівняно з аналоговим зв'язком. Однак IP-телефонія має можливість об'єднувати абонентів різних протоколів з абонентами аналогової телефонії чи телефонної мережі загального користування (ТМЗК).

Розвиток голосової передачі на базі протоколу IP стрімко розвивається. На сьогодні

цей зв'язок інтегрується з програмними додатками, що спрощує сферу та засоби використання IP-телефонії.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для дослідження якісних характеристик голосової інформації використовується порівняння зміни характеристик ряду кодеків [1, 2, 8]. У деяких випадках порівнюється вся група взятих кодеків або виділяють кодек, що є більш стійким до змін середовища мережі передачі даних [3].

В основному для дослідження частини голосової інформації в мережу вводиться навантаження сторонніх сервісів, наприклад перегляд веб-сторінок, передача даних між сервером FTP тощо, оскільки при додатковій завантаженості можна спостерігати зміну якісних характеристик кодека. Якщо через локальну

мережу здійснюється передача даних з використанням протоколів передачі голосових даних, то зміни якісних характеристик параметрів голосового зв'язку є недоцільними.

Для дослідження якісних змін голосової інформації розглядаються зміни в затримці голосової інформації, оцінка якості голосової інформації за критерієм MOS, зміна затримки джитера, обсяг переданої інформації в мережу та обсяг отриманої інформації пристроями в мережі.

Мета роботи полягає у вивченні зміни якості голосової інформації та її характеристик при певному рівні завантаженості мережі. Метою статті є дослідження впливу завантаженості телекомунікаційної мережі зв'язку на якість передавання VoIP, вибір оптимального протоколу для конкретних умов передачі, таких як задані параметри якості (QoS) та швидкості передачі.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження виконується побудова телекомунікаційної мережі в програмному середовищі OPNET [4]. Мережа передає голосову інформацію та інформацію відеоконференції. Виконано побудову мережі, в якій використовуються два сервери – для обслуговування голосового зв'язку та відеоконференції, 12 робочих станцій: із них 6 – клієнти голосового зв'язку та ще 6 – клієнти відеоконференції. Ці пристрої з'єднуються за допомогою «витої пари» та комутатора. Створено окремі сценарії, де використовуються окремо голосові кодеки: G.711, G.723.1, G.726, G.728 та G.729 A. Також створено сценарій для цього ж ряду кодеків, але зі з'єднанням у мережі зі швидкостями 100 Мбіт/с та 10 Мбіт/с для дослідження поведінки зміни якості передачі даних для кожного кодека [9].

В моделі зібрано наступні параметри для порівняння характеристик голосового зв'язку:

- **Затримка голосових пакетів.** Затримка – кількість часу, що затрачає пакет при передачі з одного кінця мережі в інший. Порівняно з іншими даними, дані голосу не допускають великої затримки в мережі. Допустима затримка даних голосу повинна бути 100 мс або менше. Затримки, що перевищують значення в 150 мс, спричиняють дискомфорт у сприйнятті голосової інформації. Неможливість голосового зв'язку починається із затримкою до 500 мс. У таблиці 1 наведено шкалу оцінювання, за якою Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ) визначає стандарти затримки для голосової інформації [5, 7, 10].

- **Якість голосу.** Для кількісної оцінки якості VoIP було введено шкалу MOS (Mean Opinion Score) – усереднену оцінку розбірливості мови. MOS включає показник сприйняттої якості звуку за шкалою від 1 до 5. Показник MOS є суб'єктивним, тому не варто приймати рішення по VoIP системі, спираючись лише на цей показник. Необхідна оцінка інших вимірювальних параметрів [6]. У таблиці 2 наведено MOS шкалу оцінювання якості звукової інформації.

- **Джитер.** Кожний пакет голосової інформації має різницю в кількості часу при проходженні з одного кінця в інший. Ця різниця називається джитером. Для оптимального забезпечення якості зв'язку за технологією VoIP значення джитера не повинно перевищувати 20-50 мс.

- **Смуга пропускання.** Важливим фактором для тестування продуктивності кодека є необхідна смуга пропускання для передачі голосових даних.

Таблиця 1 – Рекомендовані стандарти МСЕ для затримки

Затримка в мілісекундах	Опис
0–150	Прийнятна для більшості користувацьких програм
150–400	Прийнятна за умови, що адміністратори усвідомлюють час передачі та його вплив на якість передачі користувацьких програм
Більше 400	Неприйнятна для загального планування мережі

Таблиця 2 – Оцінка якості голосового зв'язку за шкалою MOS

Оцінка користувачів	MOS
Дуже задовільно	4,3–5,0
Задовільно	4,0–4,3
Допустимо задовільно	3,6–4,0
Більшість користувачів незадоволені	3,1–3,6
Практично всі користувачі незадоволені	2,6–3,1
Робота не рекомендується	1,0–2,6

На рисунку 1 представлено модель мережі для дослідження. Для половини робочих станцій задано підтримку програми голосового зв'язку, решта підтримує програму відеоконференції. Один сервер організовує голосовий зв'язок, другий – відеоконференцію. Параметри підтримуваних програм зображено на рисунках 2 та 3.

Для кожного сценарію моделювання змінювалася схема кодування голосового сигналу для програми голосового зв'язку.

Параметри для програми відеоконференції для решти сценаріїв залишаються без змін.

Результати моделювання та аналіз результатів. У цій частині матеріалу наведено результати моделювання створених сценаріїв для дослідження та порівняння характеристик голосового зв'язку.

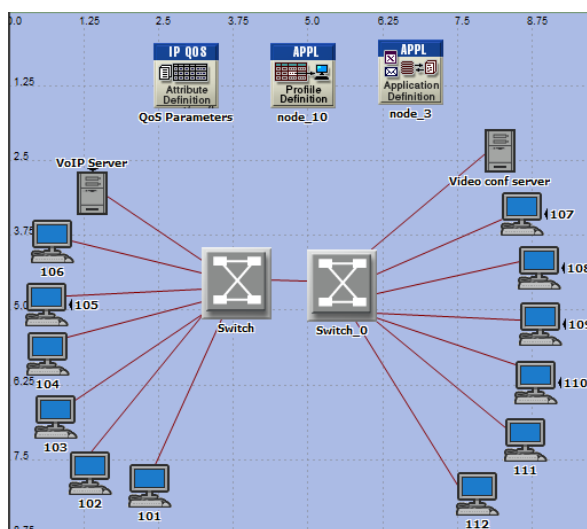


Рисунок 1 – Модель мережі зв'язку

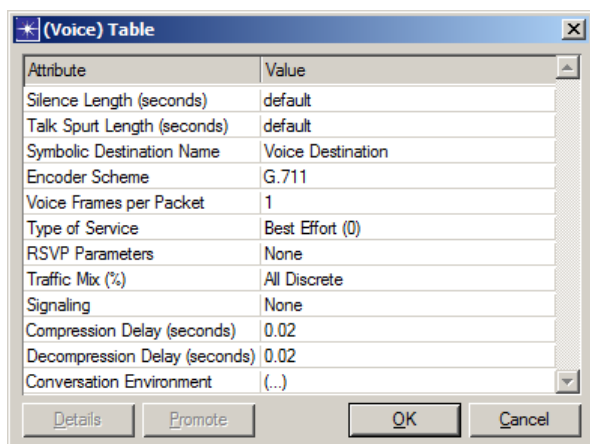


Рисунок 2 – Налаштування для програми голосового зв'язку

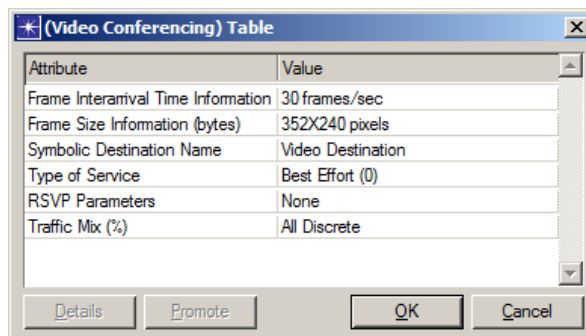


Рисунок 3 – Налаштування для програми відеоконференції

Результати для мережі 100 BaseT

1. Затримка голосових пакетів

Із графіка, зображеного на рисунку 4, видно, що максимальна затримка, що становить 100 мс, спостерігається для голосового кодека G.723.1. Найменші рівні голосових затримок, які становлять 60 мс, спостерігаються для решти кодеків. Відповідно до рекомендації МСЕ затримки голосових даних знаходяться в межах допустимих значень.

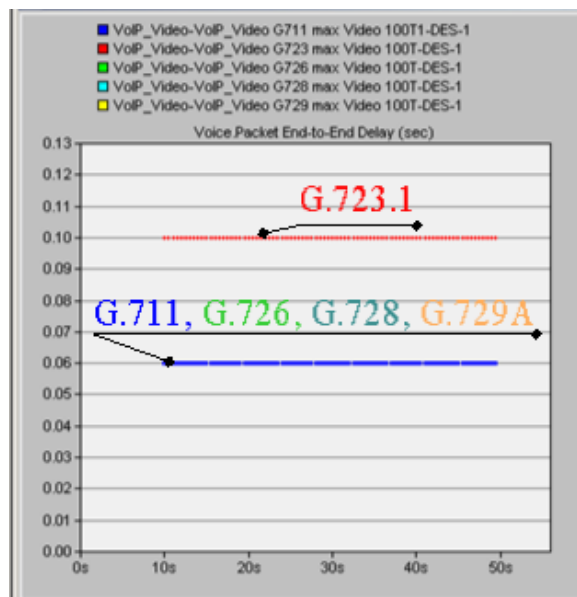


Рисунок 4 – Графік затримки голосових пакетів

2. Якість голосу

Із графіка, зображеного на рисунку 5, видно, що оцінка в 4,36 спостерігається для кодека G.711; G.726 має оцінку 3,69; для кодеків G.728 та G.729 A оцінка становить 3,08. Найнижчий показник, що становить 2,57, спостерігається у кодека G.723.1.

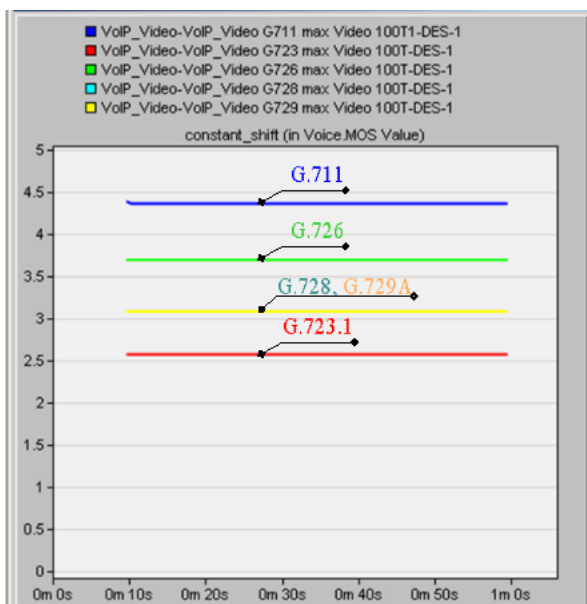


Рисунок 5 – Графік порівняння оцінки за MOS фактором

3. Джитер

Із графіка, зображеного на рисунку 6, видно, що максимальне значення джитера досягається для кодека G.723.1 та становить 0,3 мкс. Тобто значення затримок залишаються в межах норми і суттєвих розбіжностей не виявлено.

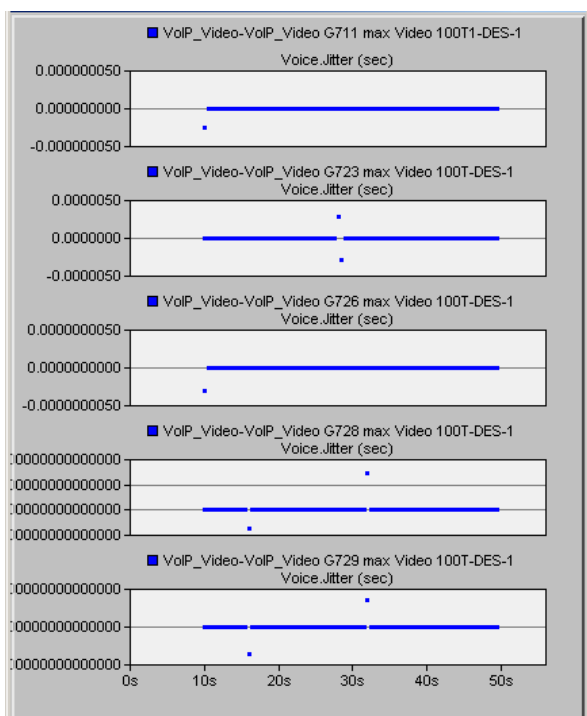


Рисунок 6 – Графіки порівняння оцінки джитерів

4. Смуга пропускання

Із зображеного на рисунку 7 графіка видно, що кодек G.711 має найбільшу смугу пропускання в 56 кБ/с. Найнижчу смугу пропускання, що становить 5,6 кБ/с, має кодек G.723.1.

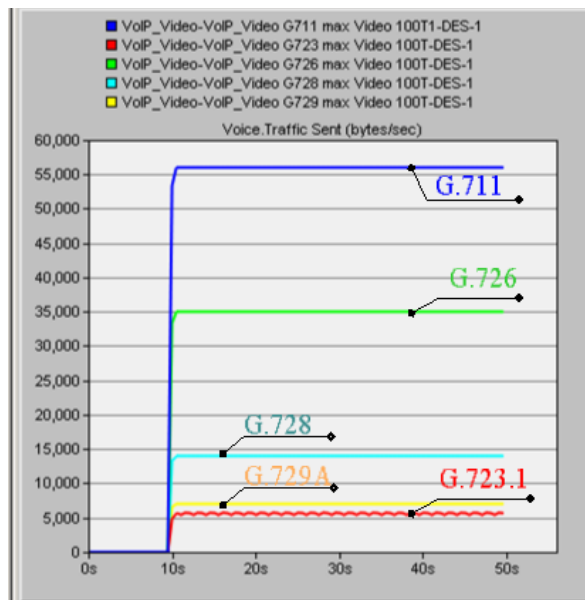


Рисунок 7 – Графік порівняння смуги пропускання голосового зв'язку

Результати для мережі 10 BaseT

1. Затримка голосових пакетів

Дані, отримані для смуги пропускання 10 МБіт/с, показують, що затримка голосових пакетів для кодека G.711 становить 100 мс порівняно з даними при смузі пропускання в 100 МБіт/с. Графік отриманих результатів зображено на рисунку 8.

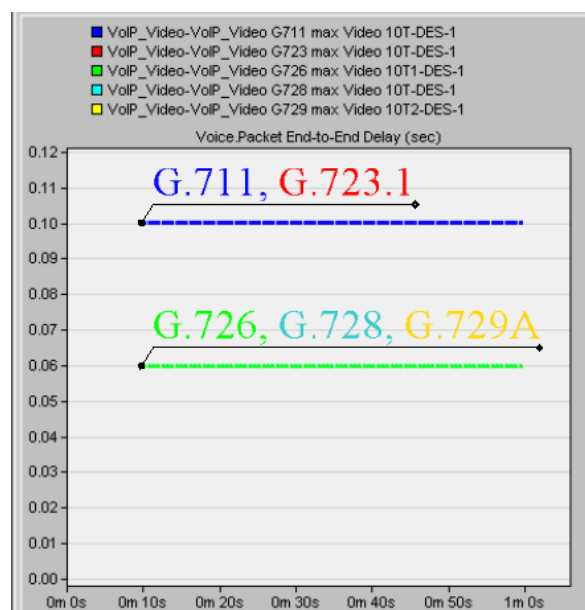


Рисунок 8 – Графік затримки голосових пакетів

2. Якість голосу

На графіку, зображеному на рисунку 9, видно, що однакова оцінка 2,57 спостерігається для кодеків G.711 та G.723.1. Найвища оцінка, що становить 3,69, спостерігається для кодеків G.726 та G.728.

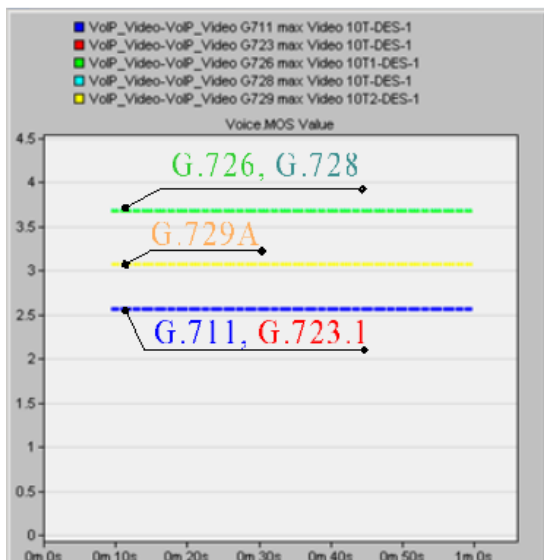


Рисунок 9 – Графіки порівняння оцінки за MOS фактором

3. Джитер

З графіка, зображеного на рисунку 10, видно, що максимальне значення джитера, яке становить 1,4 мкс, досягається для кодеків G.711 та G.723.1, низький показник спостерігається у кодера G.729 A. Ці відхилення мають значний розрив з рештою кодеків, де значення джитера сягає 0,7 мкс. Тобто маємо незначні відхилення в цій смузі пропускання, але в межах допустимих значень.

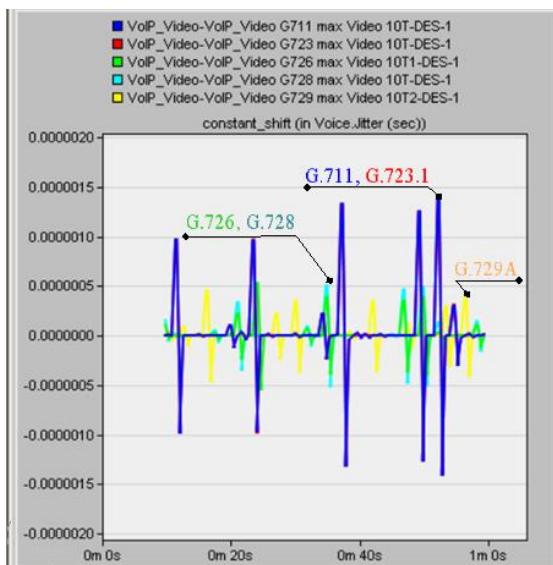


Рисунок 10 – Графік порівняння оцінки джитерів

4. Смуга пропускання

Із зображеного на рисунку 11 графіка видно, що кодек G.726 має найбільшу смугу пропускання. Найнижчу смугу пропускання мають кодеки G.711 та G.723.1.

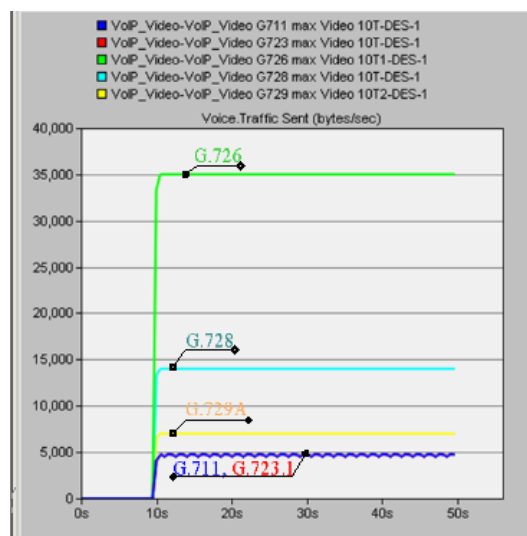


Рисунок 11 – Графік порівняння голосового трафіку

Висновки. На основі проведеного моделювання та аналізу характеристик можна зробити висновки, що кожний кодек здатен адаптуватися до завантаженості мережі. Тобто, чим вища завантаженість мережі, тим більшими будуть втрати якості голосової інформації, і чим менша завантаженість мережі, тим вища якість голосу. Використання кодера G.711 є оптимальним для мережі 100 Мбіт/с і більше, оскільки цей кодек найкраще з досліджених здатний зберегти якість переданої інформації. Використання кодеків G.726, G.728 і G.729 A виявилось найбільш доцільним з точки зору адаптації параметрів кодування до змін завантаженості мережі, оскільки в середовищі мережі з більшою інформацією вони зберігають якість голосової інформації.

Показники якості голосу за MOS-фактором для обох сценаріїв завантаженості мережі знижуються для кодера G.711 при максимальній завантаженості мережі. Показники джитера для досліджуваної групи кодеків при максимальній та мінімальній завантаженості мережі знаходяться в межах допустимих значень. Смуга пропускання для кодера G.711 знижується при максимальній завантаженості мережі. Для оптимального рівня якості звукової інформації буде доречно використовувати групу кодеків, відповідно виставивши їх за пріоритетом.

Список літератури

- [1] Alias Mohd, and Ong Lee Loon, "Performance of Voice over IP (VoIP) over a Wireless LAN (WLAN) for different Audio/Voice codecs", *Jurnal Teknologi*, vol. 47 (D) Dis., pp. 39-60, 2007.
- [2] Abdul-Bary Raouf Suleiman, and Abdulhameed Hameed, "Simulation of SIP-based VoIP for Mosul University Communication Network", *International Journal of Computing and Digital Systems*, vol. 2, no. 2, pp. 89-94, 2013.
- [3] Bassam M. AL-Mahadeen, and Ameen Al-Msedn, "Improving the QoS of VoIP over WiMAX networks using OPNET Modeler", *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, vol. 17, no. 8, pp. 132-142, August 2017.
- [4] OPNET Modeler: MIL3, 1996. [Online]. Available: <https://www.riverbed.com/gb/products/steelcentral/opnet.html>
- [5] Recommendation ITU-T Y.1541, Network performance objectives for IP-based services. [Online]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1541/en>
- [6] Recommendation ITU-T P.800.1, Mean opinion score (MOS) terminology. [Online]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-P.800.1/en>
- [7] Рекомендация МСЭ-Т G.114, Время односторонней передачи. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.114/en>
- [8] A. Asaduzzaman, and I. Mahgoub, ns2 – Network Simulator Version 2, Department of Computer Science and Engineering, Florida Atalantic University Mobile Computing, pp. 2-3, 2003.
- [9] The IEEE 802 LMSC Executive Committee, [Online]. Available: <http://www.ieee802.org/3/OMEGA>
- [10] QoS and QoE management in UMTS cellular systems, Edited by David Soldani, Man Li and Renaud Cuny, John Wiley & Sons, Ltd. pp. 1-7, 2006.

References

- [1] Alias Mohd, and Ong Lee Loon, "Performance of Voice over IP (VoIP) over a Wireless LAN (WLAN) for different Audio/Voice codecs", *Jurnal Teknologi*, vol. 47 (D) Dis., pp. 39-60, 2007.
- [2] Abdul-Bary Raouf Suleiman, and Abdulhameed Hameed, "Simulation of SIP-based VoIP for Mosul University Communication Network", *International Journal of Computing and Digital Systems*, vol. 2, no. 2, pp. 89-94, 2013.
- [3] Bassam M. AL-Mahadeen, and Ameen Al-Msedn, "Improving the QoS of VoIP over WiMAX networks using OPNET Modeler", *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, vol. 17, no. 8, pp. 132-142, August 2017.
- [4] OPNET Modeler: MIL3, 1996. [Online]. Available: <https://www.riverbed.com/gb/products/steelcentral/opnet.html>
- [5] Recommendation ITU-T Y.1541, Network performance objectives for IP-based services. [Online]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1541/en>
- [6] Recommendation ITU-T P.800.1, Mean opinion score (MOS) terminology. [Online]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-P.800.1/en>
- [7] Recommendation ITU-T G.114, One-way transmission time. [Online]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.114/en>
- [8] A. Asaduzzaman, and I. Mahgoub, ns2 – Network Simulator Version 2, Department of Computer Science and Engineering, Florida Atalantic University Mobile Computing, pp. 2-3, 2003.
- [9] The IEEE 802 LMSC Executive Committee, [Online]. Available: <http://www.ieee802.org/3/OMEGA>
- [10] QoS and QoE management in UMTS cellular systems, Edited by David Soldani, Man Li and Renaud Cuny, John Wiley & Sons, Ltd. pp. 1-7, 2006.

A. M. Chorniy¹, *Ph.D., associate professor,*
e-mail: chorniy134gmail.com

D. A. Zhurbynskiy², *Ph.D., associate professor,*

I. O. Yevtushenko², *magistrant*

¹Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

²Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes
Onoprienko str., 8, Cherkasy, 18034, Ukraine

INVESTIGATION OF THE IMPACT OF NETWORK LOAD ON VoIP TRANSMISSION QUALITY

The emergence of new technologies and protocols for data transmission in telecommunications networks leads to the emergence of new approaches to qualitative and efficient information transmission. The transmission of voice messages is one of the most common types of data being transmitted. In classical analogue systems, speech was transmitted by channel switching. But with the emergence of a packet switching approach, a new ideology for voice messaging has emerged. IP telephony, with which you can deploy telephone corporate networks, is among the most effective ones, in terms of utilizing the available bandwidth and adaptive quality settings. Today, there is a large number of protocols for building IP networks, or its segments, but it is not a simple task to choose the "right" protocol under specific network conditions.

The purpose of the article is to investigate the effect of telecommunication network congestion on VoIP transmission quality, to choose the optimal protocol for specific transmission conditions, such as preset quality parameters (QoS) and transmission speed.

The article discusses the problem of determining the admissible level of telecommunication network congestion for the optimal operation of VoIP communication. A model of a telecommunication network, in which there is a load of voice and videoconferencing, a comparison of characteristics of voice traffic for voice codecs, comparative analysis of characteristics at different load, is proposed. The optimum network connection type and usage criterion are determined.

The article deals with the simulation of telecommunication network segment in order to model and analyze the characteristics of the most common codecs used in IP networks. MOS voice quality metrics have been also introduced for all network congestion scenarios considered.

Based on the research, recommendations regarding the use of different codecs for different network congestion to provide the set parameters of MOS factor have been made.

Keywords: *network load, quality of service, VoIP technology, codec, jitter, MOS factor.*

Стаття надійшла 12.11.2019

Прийнято 02.12.2019