

УДК 004.77:004.94

^[0000-0003-1903-6022] **В. В. Палагін**¹, *д.т.н., професор,*^[0000-0002-0989-7112] **А. М. Чорній**², *к.т.н., доцент,*^[0000-0002-6716-1939] **О. В. Івченко**³, *к.т.н., доцент,*^[0000-0001-5013-9869] **І. О. Євтушенко**⁴, *аспірант*e-mail: ¹palahin@ukr.net, ²chorniy134@gmail.com, ³sania_ivchenko@ukr.net,⁴terald.armstrong@gmail.com

Черкаський державний технологічний університет,

б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ РОБОТИ ВНУТРІШНЬОЇ ТЕЛЕФОННОЇ МЕРЕЖІ НА БАЗІ IP-СТАНЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОТОКОЛУ SIP

Розвиток Інтернет технологій характеризується широкими можливостями впровадження різноманітних телекомунікаційних послуг, зокрема IP-телефонії, що надає користувачам нову технологію передачі мультимедійного трафіку з використанням Інтернет мереж. Для застосування цієї технології активно проваджуються спеціальні протоколи передачі даних – SIP та H.323, що надає можливість організувати приватні та корпоративні мережі передачі даних. У статті проведений аналіз застосування даних протоколів на базі IP-станції Panasonic KX-NS500, що дало змогу надати рекомендації щодо підвищення ефективності функціонування внутрішньої телефонної мережі для передачі голосового трафіку при різних типах кодеків.

Авторами розглядається задача підвищення ефективності функціонування мережі голосового зв'язку на базі IP-станції із застосуванням протоколів SIP та H.323. Запропоновано модель зв'язку, у якій використовуються три аналогові телефонні апарати та три IP-телефони, обслуговуванням яких займається IP-станція. Телефонна лінія використовує протокол SIP. Для дослідження характеристик роботи запропонованої моделі мережі використовується програмне середовище OPNET Modeler. Визначено оптимальний тип голосового кодеку для протоколу SIP та можливості використання застосовуваного протоколу в організації внутрішньої телефонної мережі з використанням IP-станції.

Проведено моделювання сегменту телекомунікаційної мережі із застосуванням протоколу SIP та проведено аналіз характеристик двох кодеків зв'язку, що найчастіше використовуються у технології VoIP. На основі проведеного моделювання здійснено оцінку якості мовного сигналу за рейтингом MOS, діапазону затримки мовного сигналу та вибір кодеку для відтворення голосового сигналу для запропонованої моделі мережі.

Ключові слова: IP-телефонія, VoIP, протоколи SIP та H.323, моделювання навантажень.

Вступ. IP-телефонія вже давно користується великим попитом при організації телефонних розмов та передачі даних з використанням мережі Інтернет [1, 2]. Під IP-телефонією розуміють технологію, котра дозволяє використовувати будь-яку мережу з пакетною комутацією на базі протоколу IP (наприклад мережа Інтернет) в якості засобу організації і ведення міжнародних, міжміських і місцевих телефонних розмов і передачі факсів в режимі реального часу. Впровадження IP-телефонії дозволяє ефективно управляти системою зв'язку, швидко інтегрувати нові додатки, в короткі терміни розширювати можливості

системи в залежності від потреб, не вкладаючи значних фінансових витрат.

Основним стримуючим фактором для широкомасштабного впровадження IP-телефонії є відсутність на сьогоднішній день механізмів забезпечення гарантованої якості послуг, що робить її не достатньо надійним транспортом для передачі голосового трафіку [5]. З впровадженням нових Інтернет технологій намагаються вирішити дані проблеми завдяки розробці нових протоколів, що спонукає виробників телекомунікаційного обладнання дотримуватися стандартів та сумісності [6, 8].

Якість функціонування IP-телефонії залежить від середовища її розгортання і навантаження, що потребує додаткових досліджень і аналізу при застосуванні конкретного апаратного забезпечення, наприклад, при розгортанні корпоративних мереж [3, 4].

Разом з тим слід зазначити, що якість передачі голосового трафіку в мережах з комутацією пакетів за останні роки було значно покращено за рахунок створення ефективних кодеків, які забезпечують високу розбірливість мовного сигналу та швидкість передачі даних [10]. Разом з тим, для обрання найефективнішого кодеку необхідно провести аналіз та моделювання телефонної мережі з використанням протоколів IP, що надасть можливість дослідити отримані результати та надати рекомендації щодо побудови сучасних та якісних телефонних мереж на базі IP-станцій.

Метою роботи є підвищення ефективності функціонування внутрішньої телефонної мережі на базі IP-станції при застосуванні протоколів SIP та H.323 для передачі голосового трафіку при різних видах навантажень.

Виклад основного матеріалу. Однією з позитивних властивостей IP-телефонії є наявність загальних протоколів: SIP, H.323, MGCP [6], завдяки яким забезпечується реєстрація клієнтського пристрою (шлюз, термінал або IP-телефон) на сервері або так званому «воротарю» провайдера. Основними складовими якості IP-телефонії є якість мови, розбірливість, чистота і тональність мови, відлуння, рівень гучності мови, якість сигналізації, час встановлення виклику, час завершення. З точки зору дослідження характеристик мовних кодеків слід зазначити, що на сьогоднішній день існує досить великий набір ефективних кодеків з різними характеристиками (табл. 1-3) [7, 8, 9].

Таблиця 1 – Характеристики кодеків, що відповідають стандартам МСЕ-T

Кодек	Тип кодека	Швидкість кодування	Затримка при кодуванні
G.711	ІКМ	64 кбіт/с	0,75 мс
G.726	АДІКМ	32 кбіт/с	1 мс
G.728	LD – CELP	16 кбіт/с	від 3 до 5 мс
G.729	CS – ACELP	8 кбіт/с	10 мс
G.726 a	CS – ACELP	8 кбіт/с	10 мс
G.723.1	MP – MLQ	6,3 кбіт/с	30 мс
G.723.1	ACELP	5,3 кбіт/с	30 мс

Таблиця 2 – Рейтинг вимірів MOS

MOS	Якість	Рівень сприйняття мовної інформації
5	Відмінно	Мова сприймається повністю і без зусиль
4	Добре	Мова сприймається вільно, без відчутних зусиль
3	Задовільно	Мова сприймається з помірними зусиллями, наявні дефекти
2	Погано	Мова сприймається зусиллями та увагою
1	Дуже погано	Мова не сприймається повністю або частково

Таблиця 3 – Рекомендації стандарту МСЕ для затримок

Діапазон, мс	Опис
0 - 150	Прийнятно для більшості користувацьких додатків
150 - 400	Прийнятно за умови, що адміністратори знають про час передачі та його вплив на якість передачі призначеної для користувача додатків
Вище 400	Непринятно для планування мережі

Історично перший тип кодека, відомий як G.711 (версії G.711a і G.711u, швидкість вихідного сигналу 64 кбіт/с), перетворює аналоговий сигнал в цифровий з високою якістю без застосування операції стиснення. Проте, для його нормальної роботи необхідно забезпечити значну пропускну здатність каналу зв'язку в порівнянні з кодеками, в яких здійснюється стиснення інформації.

Існує кілька конфігурацій IP-телефонії, під кожною з яких існує спеціалізоване програмне або апаратне рішення. Для проведення дослідження було використано універсальну змішану структурну схему зв'язку на основі функціонування IP-станції Panasonic KX-NS500 (рис. 1). Аналогові телефони, які використовувалися в системі, під'єднані витою парою до IP-станції. Виклик йде зі звичайного телефонного апарату до станції, на один з виходів якої підключений шлюз IP-телефонії. Шлюз перетворює мову в цифрову форму і упаковує її в пакети для передачі по IP.

Комутатор забезпечує фізичне з'єднання в локальній мережі IP-станції з телефонами. Завдяки комутатору IP-телефони мають можливість підключатися до IP-станції по мережі Wi-Fi. Також одною з головних деталей є те, що IP-станція роздає IP-адреси. В якості IP-телефонів можуть бути як звичайні SIP-телефони, так і SIP-телефони з підтримкою відеозв'язку.

Завдяки такій схемі зв'язку є можливість організувати внутрішню

корпоративну мережу на певному підприємстві або в певній організації. Це дозволить відмовитися від під'єднання кожного абонентського пристрою (телефонного апарату, модему, факсу) організації до телефонної мережі загального користування. Слід також зазначити, що при певній зміні підключення і налаштування з'являється можливість виходу на загальну телефонну мережу.

Протокол ініціювання сеансів – SIP (Session Initiation Protocol) є одним з основних протоколів IP-телефонії, він описує процес встановлення і завершення мультимедійних сеансів зв'язку. Під мультимедійними сеансами зв'язку розуміються сеанси зв'язку, які дозволяють абонентам обмінюватися між собою аудіо-, відео- та текстовою інформацією, і встановлювати режим конференції. Протокол описує, яким чином клієнтська програма може запросити початок з'єднання в іншого, можливо, фізично віддаленого клієнта, що знаходиться в тій же мережі, використовуючи його унікальне ім'я. Протокол визначає спосіб узгодження між клієнтами про відкриття каналів обміну на основі інших протоколів, які можуть використовуватися для безпосередньої передачі інформації. Допускається додавання або видалення таких каналів протягом встановленого сеансу, а також підключення та відключення додаткових клієнтів. Протокол також визначає порядок завершення сеансу.

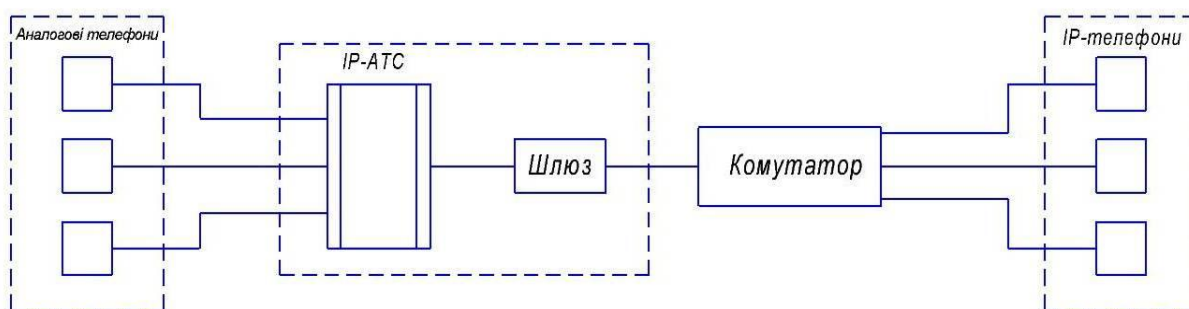


Рисунок 1 – Змішана структурна схема зв'язку «телефон–IP-станція–телефон»

В основу протоколу закладені такі принципи, як *мобільність*, *масштабованість*, *розширюваність*. Приклад побудови мережі SIP представлений на рис. 2.

Протокол SIP має клієнт-серверну архітектуру. Клієнт видає запити із зазначенням того, що він хоче отримати від

сервера. Сервер приймає і обробляє запити, видає відповіді, які містять повідомлення про успішність виконання запиту, повідомлення про помилку або інформацію, яку запитував клієнт. Обслуговування виклику розподілено між різними елементами мережі SIP.

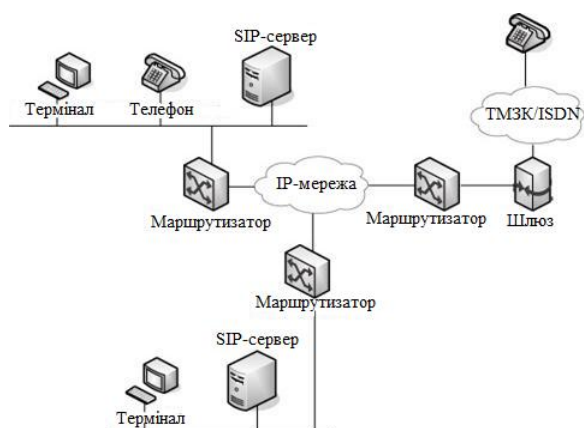


Рисунок 2 – Приклад побудови SIP-мережі

Стандартними елементами в SIP-мережі є:

- User Agent (термінал);
- Проксі-сервер;
- Сервер визначення місця розташування або сервер реєстрації (Register);
- Сервер переадресації.

В терміналі за протоколом SIP встановлюються з'єднання «клієнт-сервер» (рис. 3).

Проксі-сервери в SIP-мережі також можуть вносити зміни до повідомлень, котрі передаються – це дозволяє без перешкод проходити NAT у випадку, якщо проксі-сервер стоїть на NAT-маршрутизаторі.

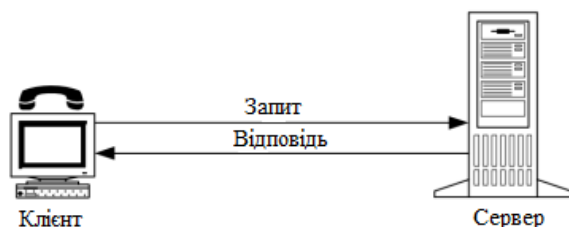


Рисунок 3 – Архітектура «клієнт-сервер»

В роботі проаналізовані протоколи SIP та H.323 для організації телефонної мережі. Визначено, що вони представляють різні підходи до вирішення однакових завдань. Якщо H.323 близький до традиційних систем сигналізації (з комутацією каналів на основі протоколу Q.931 або більш ранніх рекомендацій серії H), то SIP реалізує більш простий підхід на основі HTTP. У порівнянні з H.323 протокол SIP базується на текстовому форматі, більш простий для реалізації і додавання нових функцій. Протокол SIP забезпечує реалізацію важливих для систем Інтернет-телефонії функцій, включаючи шифрування і аутентифікацію. Те, що SIP

базується на архітектурі клієнт-сервер, дозволяє забезпечити управління викликами на рівні сервера. В даний час запропоновані специфікації, які розширюють протокол SIP засобами управління безпекою виклику, запиту якості обслуговування, сигналізації зміни стану мережі.

В цілому SIP і H.323 не розглядають як конкуруючі технології, тому що вони є різними підходами, призначеними для різних сегментів ринку.

Результати моделювання. Для дослідження інформаційних мереж всіх рівнів широко використовуються комп'ютерні технології, що дає можливість провести імітаційне моделювання та надати рекомендації щодо підвищення ефективності їх функціонування.

Стало пріоритетом мати мережеві симулятори, які надають потужні інструменти для розробки моделей, моделювання та аналізу даних по мережі. Подібні програми, як правило, поєднують в собі аналітичні методи і засоби імітаційного моделювання, дозволяючи всебічно розглянути і проаналізувати об'єкт дослідження. Створенням таких програм займається безліч компаній, лідерами серед яких була і OPNET Inc. (Riverbed Technology) [6].

OPNET Modeler призначений для моделювання мереж і окремих пристроїв з подальшим аналізом їх функціонування. Потік повідомлень даних, втрачених пакетів, управління пакетом повідомлень, зв'язку - ось кілька прикладів, що дозволяє вивчати цей симулятор.

Для дослідження голосового трафіку при різних характеристиках побудовано модель мережі з використанням протоколу SIP. Побудова моделі відбувалася в оновленому середовищі моделювання Riverbed Modeler (OPNET Modeler). На рис. 4 показано зовнішній вигляд моделі мережі з IP-станцією та 6-ма клієнтами. В якості IP-станції виступає сервер, який підключений до мережевого концентратора, за допомогою якого йде з'єднання клієнтів, атрибутом голосового зв'язку вибрано протокол SIP. Підключення відбувається за допомогою витої пари, порт LAN – 100Base-T.

При моделюванні було обрано для порівняння кодеки G.711 та G.729A. Перший модулює мовні сигнали в каналах з швидкістю передачі даних 64 кбіт/с, а другий

(відмінно). Потім бали підраховують і отримують усереднену оцінку розбірливості мови.

Окрім того, перевірка MOS використовується для оцінки якості роботи кодека при змінюваних параметрах прийому сигналу, включаючи різні рівні фоновому шуму, багаторазове кодування, декодування і т.д.

Графік даної характеристики показано на рис. 7. Як бачимо, при кодеку G.711 значення MOS буде рівне 4,36, а при кодеку G.729A – 4,02. Маючи ці значення, за допомогою таблиці 2 зробимо висновок, що якісь розбірливості мови при обох кодеках буде високою, сприйматиметься вільно, без відчутних зусиль, але при кодеку G.711, як видно з графіку, все ж таки якісь краща.

На рис. 8 показано графік так званої наскрізної затримки пакетів. Наскрізна затримка – це час, який потрібен для передачі пакета від передавального на приймаючий пристрій. Затримка складається з постійної і змінної складових. Постійна складова може бути оцінена при проектуванні мережі.

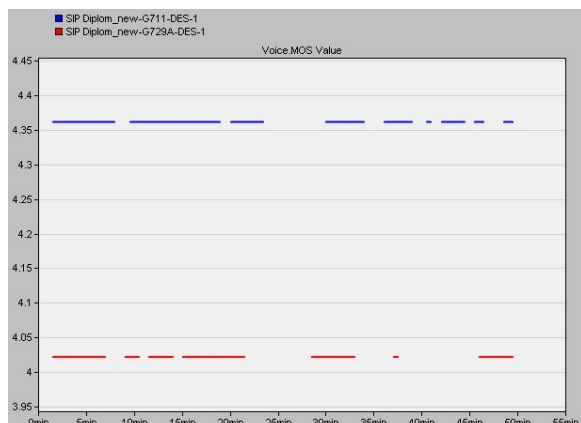


Рисунок 7 – Графік усередненої оцінки розбірливості мови (MOS)

Перевантажені черги на інтерфейсах і час викладання даних на фізичне середовище передачі даних породжують змінні затримки. Час викладання даних на фізичне середовище є функцією від швидкості каналу і розміру пакета – чим більше пакет і менше швидкість каналу, тим більше цей час. Незважаючи на те, що це відношення відоме, час викладання даних на фізичне середовище віднесено до змінних затримок, тому що більший пакет може увійти в чергу на інтерфейсі в будь-який момент перед голосовим пакетом.

На відміну від багатьох додатків передачі даних, передача голосу не можлива з високими рівнями затримок. Голос із якісним рівнем звучання вимагає, щоб звуки займали 100 мс затримки, або менше. Затримки, які перевищують 150 мс, можуть почати дратувати абонентів. Коли затримки наближаються до 500 мс, голосовий зв'язок стає неможливим. З графіка на рис. 9 видно, що найменше значення затримки має кодек G.729A і воно становить 99,7 мс, а максимальне значення затримки було досягнуто для кодеку G.711 і трішки перевищило 100 мс. Голосова затримка в 100 мілісекунд є прийнятною величиною в стандарті МСЕ, як показано в табл. 3.

На рис. 9 зображено графік переданого трафіку. З першого погляду можна побачити, що при кодеку G.711 швидкість передачі трафіку набагато перевищує швидкість передачі при кодеку G.729A. Максимальним значення швидкості передачі трафіку є 48000 байт в секунду, це означає, що трафік по каналу зв'язку передається зі швидкістю 48 кб/с.

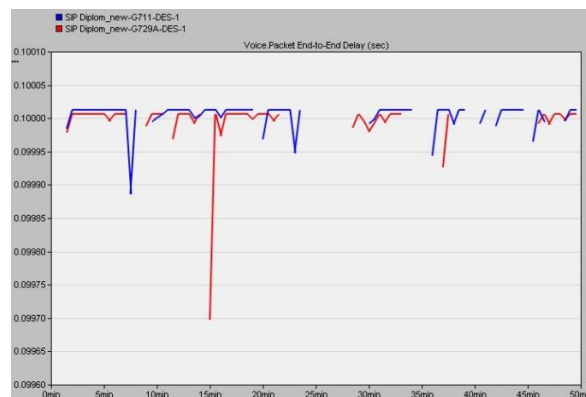


Рисунок 8 – Графік наскрізної затримки пакетів

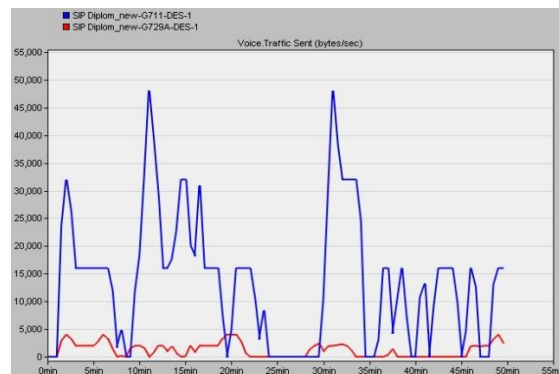


Рисунок 9 – Графік переданого трафіку (байт/с)

Кількість активних викликів можна побачити на рис. 10. На даному рисунку відображено графік активних дзвінків першого клієнта, дзвінки виконуються випадково у будь-який момент часу і не сильно залежать від вибору кодека. При обох типах кодеків перший клієнт мав одночасно по 1-му активному виклику протягом всього часу симуляції моделювання. Єдиною різницею є те, що при кодеку G.711 загальних викликів було на 2 більше.

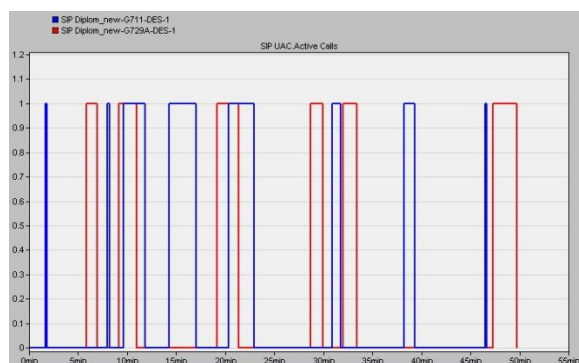


Рисунок 10 – Графік активних викликів першим клієнтом

Таким чином, як видно з графіка (рис. 10), окремі характеристики по протоколу SIP кожного з клієнтів не залежать від вибору кодека, так як вхідні і вихідні виклики відбуваються випадковим чином протягом загального часу симуляції. Тому, підводячи підсумки моделювання мережі з використанням протоколу SIP можна сказати, що вибір типу кодека впливає тільки на якість мови, затримки та швидкість при передачі трафіку.

Розглянувши всі характеристики і графічно дослідивши їх, можна без сумніву сказати, що кодек G.711 має кращу якість і його доцільно використовувати для зв'язку в IP-телефонії, а побудова мережі на базі протоколу SIP забезпечує найкраще рішення при побудові внутрішньої корпоративної телефонної мережі.

Висновки. На основі проведеного аналізу особливостей та переваг IP-телефонії можна зробити висновок, що нові телекомунікаційні технології найближчим часом займуть гідне місце в забезпеченні абонентів мультимедійним трафіком з використанням Інтернет мереж.

Аналіз функціонування протоколу SIP та його функціональних можливостей показав його конкурентоздатність і перевагу над

іншими протоколами при організації внутрішніх корпоративних мереж, що дає можливість забезпечити управління викликами на рівні сервера. Разом з тим доведено, що на основі даного протоколу є доцільним застосування кодеку G.711 для організації якісного зв'язку в IP-телефонії.

На основі запропонованої структури організації системи зв'язку з'являється можливість побудови внутрішньої корпоративної мережі, що дозволяє відмовитися від телефонної мережі загального користування, забезпечити абонентів багатофункціональним сервісом і заощадити кошти.

Список використаних джерел

- [1] А. М. Кенин, *Практическое руководство системного администратора*. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2010.
- [2] Andrew S. Tanenbaum, "Computer networks fifth edition", *Pearson Education, Inc.* Prentice Hall, 2011.
- [3] Jahangir Ahmad, and Muhammad Usman Nasir, "Performance Evolution of QoS in VoIP Using SIP for Ad hoc Routing Protocols", *IJCSIS*, vol. 15, no. 3, pp. 333-337, 2017.
- [4] Tariq M. Imran et al., "Performance analysis of VoIP codecs over BE WiMAX network", *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, vol. 84, no. 5, 2013.
- [5] Mohan Krishna Ranganathan, and Liam Kilmartin, "Performance evaluation and securing Session Initiation Protocol (SIP) based VoIP networks", *Riverbed Support Center*, pp.1-23, 2018. [Online]. Available: <https://community.riverbed.com/helpcenter/s/article/DOC-2366>
- [6] J. Rosenberg et al., "RFC3261: SIP: session initiation protocol", *IETF RFC3261*, 2002.
- [7] OPNET Modeler: MIL3, 1996. [Online]. Available: <https://www.riverbed.com/gb/products/steelcentral/steelcentral-riverbed-modeler.html>
- [8] Рекомендация МСЭ-Т G.114, Время односторонней передачи. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.114/en>
- [9] Recommendation ITU-T P.800.1, Mean opinion score (MOS) terminology. [Online]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-P.800.1/en>

[10] Sureshkumar V. Subramanian, and Rudra Dutta, "Comparative study of secure vs. Non-secure transport protocols on the SIP proxy server performance: An experimental approach", in *International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing*, IEEE, 2010.

References

- [1] A. M. Kenin, "System administrator practice guide". StPeterburg: BHV-Peterburg, 2010 [in Russian].
- [2] Andrew S. Tanenbaum, "Computer networks fifth edition", *Pearson Education, Inc.* Prentice Hall, 2011.
- [3] Jahangir Ahmad, and Muhammad Usman Nasir, "Performance Evolution of QoS in VoIP Using SIP for Ad hoc Routing Protocols", *IJCSIS*, vol. 15, no. 3, pp. 333-337, 2017.
- [4] Tariq M. Imran et al., "Performance analysis of VoIP codecs over BE WiMAX network", *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, vol. 84, no. 5, 2013.
- [5] Mohan Krishna Ranganathan, and Liam Kilmartin, "Performance evaluation and

- securing Session Initiation Protocol (SIP) based VoIP networks", *Riverbed Support Center*, pp.1-23, 2018. [Online]. Available: <https://community.riverbed.com/helpcenter/s/article/DOC-2366>
- [6] J. Rosenberg et al., "RFC3261: SIP: session initiation protocol", *IETF RFC3261*, 2002.
- [7] OPNET Modeler: MIL3, 1996. [Online]. Available: <https://www.riverbed.com/gb/products/steelcentral/steelcentral-riverbed-modeler.html>
- [8] Recommendation ITU-T G.114, One-way transmission time. [Online]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.114/en>
- [9] Recommendation ITU-T P.800.1, Mean opinion score (MOS) terminology. [Online]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-P.800.1/en>
- [10] Sureshkumar V. Subramanian, and Rudra Dutta, "Comparative study of secure vs. Non-secure transport protocols on the SIP proxy server performance: An experimental approach", in *International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing*, IEEE, 2010.

V. V. Palahin, *Dr.Sc., Prof.*

A. M. Chorniy, *Ph.D., Associate Professor*

O. V. Ivchenko, *Ph.D., Associate Professor*

I. O. Yevtushenko, *Ph. D. student*

e-mail: palahin@ukr.net

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

MODELING AND ANALYSIS OF INTERNAL TELEPHONE NETWORK OPERATION ON THE BASIS OF IP STATION USING SIP PROTOCOL

The development of Internet technologies is characterized by wide possibilities for introducing various telecommunication services, in particular IP telephony, which provides users with a new technology for multimedia traffic transmission using Internet networks. Special data transfer protocols (SIP and H.323) are being actively developed to apply this technology, which enables the organization of private and corporate data networks. The paper analyzes the use of these protocols based on the Panasonic KX-NS500 IP station, which has made it possible to give recommendations on improving the operation of internal telephone network for the transmission of voice traffic for various types of codecs.

The article discusses the problem of improving the efficiency of IP based voice communications using SIP and H.323 protocols. A communication model, that uses three analog phones and three IP phones serviced by an IP station, is proposed. The telephone line uses SIP protocol. The OPNET Modeler software environment is used to investigate the performance of the proposed network model. The optimal type of voice codec for SIP protocol and the possibilities of using the protocol in the organization of internal telephone network using the IP station are determined.

The telecommunication network segment using SIP protocol has been simulated and the characteristics of two communication codecs most commonly used in VoIP technology have been analyzed. Based on the simulation, the assessment of the quality of the speech signal by the MOS rating, the range of delay of the speech signal and the choice of a codec to play a voice signal for the proposed network model have been made.

Keywords: *IP-telephony, VoIP, SIP & H.323 SIP protocols, load simulation.*