

## Дослідження показників ефективності функціонування та перспектив розвитку систем IP-телефонії

Олег Батрак<sup>1</sup>, Тетяна Смірнова<sup>2</sup>, Віктор Гнатюк<sup>3</sup>,  
Роман Одарченко<sup>4</sup>, Олексій Смірнов<sup>5</sup>

<sup>1,3,5</sup> Національний авіаційний університет  
просп. Любомира Гузара, 1, Київ, Україна, 03058

<sup>2,4</sup> Центральноукраїнський національний технічний університет  
просп. Університетський, 8, Кропивницький, Україна, 25006

<sup>1</sup> [olegh.batrak@npp.nau.edu.ua](mailto:olegh.batrak@npp.nau.edu.ua), [orcid.org/0000-0002-7983-8118](https://orcid.org/0000-0002-7983-8118)

<sup>2</sup> [sm.tetyana@gmail.com](mailto:sm.tetyana@gmail.com), [orcid.org/0000-0001-6896-0612](https://orcid.org/0000-0001-6896-0612)

<sup>3</sup> [viktor.hnatiuk@npp.nau.edu.ua](mailto:viktor.hnatiuk@npp.nau.edu.ua), [orcid.org/0000-0002-4916-7149](https://orcid.org/0000-0002-4916-7149)

<sup>4</sup> [odarchenko.r.s@ukr.net](mailto:odarchenko.r.s@ukr.net), [orcid.org/0000-0002-7130-1375](https://orcid.org/0000-0002-7130-1375)

<sup>5</sup> [dr.SmirnovOA@gmail.com](mailto:dr.SmirnovOA@gmail.com), [orcid.org/0000-0001-9543-874X](https://orcid.org/0000-0001-9543-874X)

Received 04.09.2023, accepted 01.11.2023

<https://doi.org/10.32347/uwt.2023.13.1203>

**Анотація.** Метою роботи є дослідження показників ефективності функціонування та перспектив розвитку систем IP-телефонії. IP-телефонія – спеціальна область телефонного зв'язку, яка інтегрує методи та засоби цифрової обробки сигналів, передачу мови, даних, відеоінформації та мультимедіа, управління обчислювальними ресурсами на базі високих технологій. Системи IP-телефонії є затребуваними та широко використовуються, особливо в корпоративному секторі. В даній роботі проведено змістовне дослідження принципів функціонування сучасних систем IP-телефонії. Було показано, що дуже важливою є необхідність проводити безперервний моніторинг ефективності функціонування даних систем. Було проведено систематизацію показників, які впливають на інтегральну оцінку ефективності функціонування систем IP-телефонії. При цьому, на перший план виходить якість користувацького досвіду, що наразі має першочергове значення для повноцінної оцінки ефективності будь-якої сучасної системи телекомунікацій, основною метою якої є саме забезпечення задоволеності користувачів. Крім того, в статті також проведено аналіз перспектив розвитку систем IP-телефонії. Зокрема, продемонстровані прогнози зростання ринку та окреслені напрямки подальших удосконалень систем



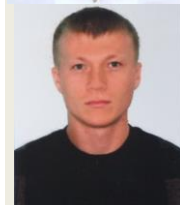
**Олег Батрак**

директор навчально-консульта-  
тивного центру  
підтримки соціальних програм



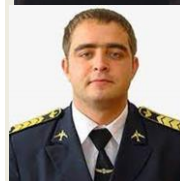
**Тетяна Смірнова**

доцент кафедри кібербезпеки та  
програмного забезпечення  
к.т.н.



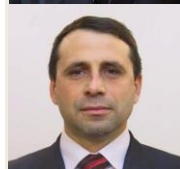
**Віктор Гнатюк**

доцент кафедри телекомуніка-  
ційних та радіоелектронних сис-  
тем  
к.т.н., доцент



**Роман Одарченко**

завідувач кафедри телекомуні-  
каційних та радіоелектронних  
систем  
д.т.н., професор



**Олексій Смірнов**

завідувач кафедри кібербезпеки  
та програмного забезпечення  
д.т.н., професор

IP-телефонії.

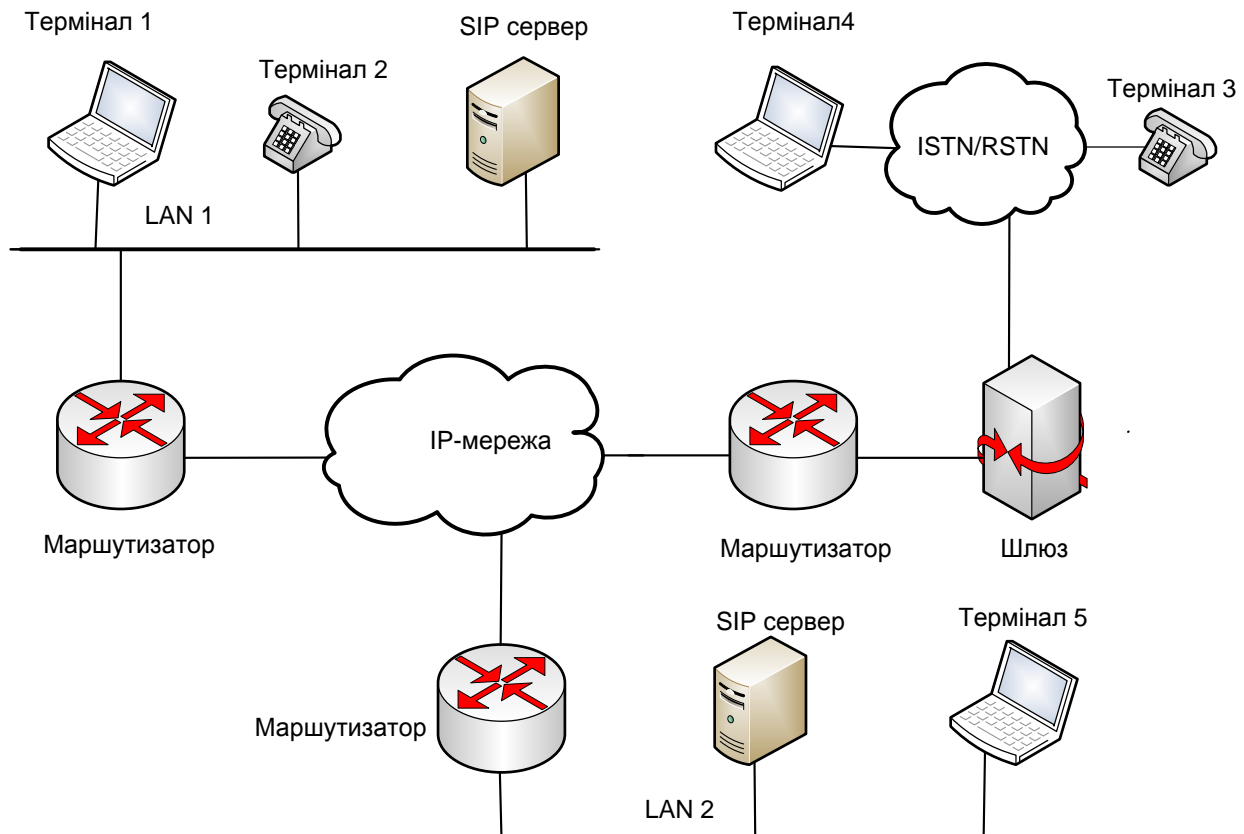
**Ключові слова:** IP-телефонія,  
комп'ютерні мережі, телекомунікації,  
показники ефективності.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

IP-телефонія, спеціальна область телефонного зв'язку, яка інтегрує методи та засоби цифрової обробки сигналів, передачу мови, даних, факсиміле, відеоінформації та мультимедіа, управління обчислювальними ресурсами на базі високих технологій.

IP-телефонія (телефонія Інтернет-протоколу) – це загальний термін для

технологій, продуктів і послуг, які використовують з'єднання з пакетів Інтернет-протоколу для підтримки голосових викликів, голосової пошти, відеодзвінків, відеоконференцій, факсів і миттєвих повідомлень (МП) [1]. На рис.1. наведено приклад можливої побудови мережі IP-телефонії із використанням протоколу SIP [2].



**Рис. 1.** Приклад побудови мережі IP-телефонії із використанням протоколу SIP  
**Fig. 1.** An example of building an IP telephony network using the SIP protocol

IP-телефонія працює шляхом перетворення голосових дзвінків, факсів та іншої інформації в цифрові сигнали. Ці цифрові сигнали передаються через IP-мережі, такі як Інтернет, у вигляді пакетів даних за допомогою IP-з'єднань з комутацією пакетів. Голосові функції в технології IP, голосові дзвінки та голосова пошта, індекуються як голос через IP (Voice over IP, VoIP) [3].

Основою голосового зв'язку в обчислювальних мережах є Internet Protocol (IP). Це протокол мережевого рівня, який забезпечує маршрутизацію пакетів. Крім того, необхідно передавати два типи

інформації: командну та голосову. До командної інформації належать сигнали дзвінка, роз'єднання, а також інші службові повідомлення. Основне завдання IP-телефонії є наближення якості послуг до телефонного сервісу. З точки зору мережевих протоколів це означає необхідність створення транспортних механізмів, що мінімізують час доставки по мережі, як командної, так і мовної інформації.

Передача голосу по IP реалізується з використанням власних протоколів і протоколів, заснованих на відкритих стандартах, таких програмах, як VoIP-

телефони, мобільні програми та веб-комунікації.

Для реалізації зв'язку VoIP потрібні різні функції. Деякі протоколи виконують кілька функцій, у той час як інші виконують лише деякі з них і мають використовуватися спільно.

Ці функції включають наступні підсистеми:

- Мережа та транспорт – створення надійної передачі за ненадійними протоколами, що може включати підтвердження отримання даних та повторну передачу даних, які не були отримані.
- Управління сеансом – створення та керування сеансом (іноді званим просто «викликом»), який є з'єднанням між двома або більше одноранговими вузлами, що забезпечує контекст для подальшого спілкування.
- Сигналізація – виконання реєстрації (оголошення про свою присутність та контактну інформацію) та виявлення (контрагента та отримання його контактної інформації), набір-номера (включаючи звіт про хід виклику), можливості переговорів та керування викликом (наприклад, утримання, відключення звуку, переклад/переадресація, набір-номера) взаємодія з автосекретарем, тощо.
- Опис мультимедіа – визначення типу мультимедіа для надсилання (аудіо, відео, тощо), як його кодувати/декодувати та як відправляти/отримувати (IP-адреси, порти, тощо).
- Медіа – передача фактичних медіа у дзвінках, таких як аудіо, відео, текстові повідомлення, файли, тощо.
- Якість обслуговування – надання позасмугового контенту або відгуків про мультимедіа, таких як синхронізація, статистика, тощо.
- Безпека – реалізація контролю доступу, перевірка особистості інших учасників (комп'ютерів або людей) та шифрування даних для захисту конфіденційності та цілісності мультимедійного вмісту та/або керуючих повідомлень.

## АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження в області застосування систем IP-телефонії почалися досить давно [1-3]. За час свого існування та розвитку мережі IP-телефонії зазнали значного поширення, розширення функціоналу [4,5]. Крім того, з розвитком IP-телефонії та інших систем комунікацій відбувається постійна трансформація підходів, що застосовувались до вимірювання якості обслуговування [6-8]. Наразі, основною метою є вже вимірювання якості задоволеності абонентів, які отримують послуги від провайдерів [8, 9], особливо це стосується відносно нових сервісів, таких як відео дзвінки [10]. Проте в зазначених роботах не достатня увага приділена саме систематизації показників якості обслуговування та користувальницького досвіду в мережах IP-телефонії.

**Постановка задач дослідження.** Таким чином, метою даної роботи є дослідження показників ефективності функціонування сучасних систем IP-телефонії, визначення перспектив їх подальшого розвитку. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Проаналізувати особливості функціонування систем IP-телефонії.
2. Визначити основні показники для оцінювання ефективності функціонування систем IP-телефонії.
3. Дослідити перспективи та основні напрямки розвитку систем IP-телефонії.

## ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз основних показників якості надання послуг мереж IP-телефонії. Мережі з комутацією пакетів на основі протоколу IP не забезпечують гарантовану пропускну здатність, оскільки не гарантують доставку.

Для додатків, де важливий порядок і інтервал приходу пакетів, час затримок між окремими пакетами немає вирішального значення. IP-телефонія є однією з областей передачі даних, де важливим є порядок приходу пакетів і важлива динаміка передачі сигналу, яка забезпечується сучасними методами кодування та передачі інформації.

Транспортні протоколи стека TCP/IP, що функціонують поверх протоколу IP, не забезпечують високої якості обслуговування трафіку, чутливого до затримок. Протокол TCP хоч і гарантує достовірну доставку інформації, але переносить її з непередбачуваними затримками. Протокол UDP, який, як правило, використовується для перенесення інформації в реальному часі, забезпечує менший у порівнянні з протоколом TCP час затримки, але, як і протокол IP, не містить жодних механізмів забезпечення якості обслуговування.

Водночас необхідно забезпечити механізми, за якими у періоди перевантаження пакети з інформацією, чутливою до затримок (наприклад, мова), не простоюватимуть у чергах або отримують більш високий пріоритет, ніж пакети з інформацією, не чутливою до затримок. Для цієї мети в мережі мають бути реалізовані механізми, що гарантують необхідну якість обслуговування – QoS (Quality of Service) та QoE (Quality of Experience).

Показники якості QoS. Показники якості обслуговування QoS використовують кілька параметрів, у тому числі такі [11]:

- Втрата пакетів. Це відбувається, коли мережеві канали стають перевантаженими, а маршрутизатори та комутатори починають відкидати пакети. Коли пакети втрачаються під час зв'язку в реальному часі, наприклад, під час голосових або відеодзвінків, у цих сеансах можуть виникати тремтіння та розриви в мові. Пакети можуть бути відкинуті, коли черга або лінія пакетів, що очікують на відправлення, переповнюється.
- Джитер. Це результат перевантаження мережі, зсуву синхронізації та зміни маршруту. Дуже сильний джиттер може погіршити якість голосового та відеозв'язку.
- Затримка. Це час, потрібний пакету для переміщення від джерела до місця призначення. Якщо голосовий виклик по IP має велику затримку, користувачі можуть зіткнутися з луною і звуком, що перекривається.
- Пропускна здатність. Це здатність

мережного зв'язку передавати максимальну кількість даних з однієї точки в іншу за заданий проміжок часу. QoS оптимізує продуктивність мережі, керуючи смугою пропускання та надаючи високопріоритетним додаткам із суворішими вимогами до продуктивності більше ресурсів, ніж іншим.

- Середній бал судження MOS (Mean opinion score). Це показник оцінки якості голосу, який використовує п'ятибальну шкалу, де п'ять свідчить про найвищу якість.

У сучасних IP-мережах ці параметри можуть бути оптимізовані за допомогою технологій IntServ, DiffServ і MPLS з використанням протоколу RSVP.

Якість досвіду (QoE). Вимірює загальну продуктивність системи, використовуючи суб'єктивні та об'єктивні показники задоволеності клієнтів. Відрізняється від якості обслуговування (QoS), в якому оцінюється продуктивність послуг апаратного та програмного забезпечення, що надаються постачальником відповідно до умов контракту.

Існує кілька методів, які використовуються для вимірювання якості обслуговування клієнтів, а саме [5]:

- Моніторинг мережі та служб: інструменти моніторингу мережі та служб для збору даних про продуктивність їх мережі та служб, таких як затримка в мережі, втрата пакетів та пропускна спроможність. Ці дані можна використовувати для виявлення проблем, які можуть вплинути на QoE, таких як навантаження мережі або перебої в обслуговуванні.
- Опитування відгуків клієнтів. Проведення опитування відгуків клієнтів про якість послуг та визначення для покращення. Опитування можуть проводитися онлайн, електронною поштою або телефоном і можуть включати питання про різні фактори, такі як якість зв'язку, швидкість інтернету та загальна задоволеність.
- Моніторинг якості дзвінків: використання інструментів моніторингу якості дзвінків для збору даних про якість

голосових дзвінків, таких як чіткість дзвінка та шум фону. Ці дані можна використовувати для виявлення проблем, які можуть впливати на QoE, такі як погане покриття мережі або несправне обладнання.

- Моніторинг якості відео: інструменти моніторингу якості відео для збору даних про якість сервісів потокового відео, таких як роздільна здатність відео, буферизація та частота кадрів. Ці дані можна використовувати для виявлення проблем, які можуть вплинути на QoE, таких як навантаження мережі або перебої в обслуговуванні.
- А/В-тестування (A/B testing, Split testing): використання моделі А/В-тестування для порівняння продуктивності різних версій їх сервісів та визначення того, які версії забезпечують кращу якість обслуговування для своїх клієнтів.
- Моніторинг соціальних мереж: інструменти моніторингу соціальних мереж для збору відгуків про їхні послуги та продукти від клієнтів на різних платформах.

Вкрай важливо використовувати найкраще поєднання різних методів для вимірювання QoE, щоб отримати всебічне уявлення про досвід клієнта та визначити області для покращення.

Якість взаємодії – це відносно нова область, яка, як очікується, у майбутньому стане дедалі важливішим фактором для телекомунікаційної галузі, оскільки клієнти продовжують вимагати високоякісної та безперебійної взаємодії з цифровими послугами та пристроями. Деякі з ключових тенденцій та розробок, які, ймовірно, будуть визначати еволюцію QoE у найближчі роки.

– Штучний інтелект та машинне навчання – технології, які, як очікується, відіграватимуть вирішальну роль у покращенні якості обслуговування за рахунок автоматизації процесів оптимізації мережі та управління якістю обслуговування клієнтів, а також надання в режимі реального часу інформації про продуктивність мережі та поведінці клієнтів.

Цілком ймовірно, що майбутнє QoE у

сфері телекомунікаційної галузі характеризується постійними інноваціями, інвестиціями та оптимізацією, оскільки оператори прагнуть задовольнити зростаючі потреби та очікування своїх клієнтів та забезпечити максимально можливу якість обслуговування.

Перспективи використання систем ІР-телефонії. Ідеальна архітектура ІР-телефонії для підтримки об'єднаних комунікацій не обмежується розрізненими джерелами голосу та даних, пропонуючи високу надійність та масштабованість за дуже розумної загальної вартості володіння.

ІР-мережі мають цілу низку особливостей, які значно розширюють послуги телефонії. При збереженні всього спектру традиційних телефонних послуг з'являються суттєво нові можливості, характерні для мережевих сервісів ІР, які дозволяють використовувати одне високошвидкісне інтернет-з'єднання для всіх голосових і відео з'єднань, а також для передачі даних. Ця можливість є конвергенцією та одним із основних факторів корпоративного інтересу до технології.

Перевага конвергенції є досить очевидною-використовуючи єдину мережу передачі для всіх комунікацій, можна знизити загальні витрати обслуговування і розгортання.

Перевага як для домашніх, так і для корпоративних клієнтів полягає в тому, що тепер вони мають можливість набагато більшого вибору постачальників послуг для надання голосового та відеозв'язку.

Оскільки постачальник послуг VoIP може знаходитись практично в будь-якій точці світу, людина з доступом до Інтернету більше не обмежена географічно у виборі постачальників послуг і, безумовно, не прив'язана до свого провайдера доступу до Інтернету.

Послуги VoIP можуть змінюватись від можливості телеконференцій, функції автосекретаря, голосової пошти до розшифровки електронної пошти, багатосайтового підключення через мережу передачі даних, уніфікованої скриньки обміну повідомленнями, очікування



виклику та ідентифікатора абонента, що викликає, і тощо.

Велика кількість кінцевих користувачів, особливо корпоративних клієнтів, в даний час використовують VoIP як основний телефонний сервіс. Крім того, в даний час дуже великий відсоток міжнародних телефонних дзвінків здійснюється через VoIP.

VoIP в даний час використовується більше третини всіх підприємств у всьому світі. Його практично експоненційне зростання можна пояснити ключовими перевагами, що легко відчуються незалежно від сектора економіки.

Компанії у всьому світі користуються підвищенням ефективності мережі завдяки сучасній IP-телефонії. У міру розвитку цієї технології все більше уваги приділяється перевагам конвергентних додатків наступного покоління, таких як уніфіковані комунікації (UC), термін, який відноситься до «інтеграції корпоративних комунікаційних послуг у режимі реального часу, яка забезпечує узгоджений уніфікований інтерфейс користувача, що представляє можливість працювати на різних пристроях та типах носіїв».

Згідно з дослідницькими даними Grand View Research [12], глобальний ринок VoIP-послуг очікується, що досягне сукупного річного зростання близько 9% у період з 2021 по 2028 рік.

У сфері бізнесу очікується значне зростання IP-телефонії. Відповідно до звіту MarketsandMarkets [13], глобальний ринок корпоративних VoIP-послуг прогнозується з річною ставкою зростання близько 14% у період з 2021 по 2026 рік.

Передбачається, що хмарні послуги у сфері IP-телефонії продовжуватимуть зростати. Звіт від Statista [14] прогнозує, що обсяг ринку хмарних VoIP-послуг матиме річну ставку зростання близько 14% до 2025 року.

Мобільна IP-телефонія очікується, що продовжить зростати. Згідно зі звітом Zion Market Research [15], річна ставка зростання мобільної VoIP-технології очікується скласти близько 9,2% у період з 2021 по 2028 рік.

Таким чином можливо зробити висновки, що основними драйверами зростання ринку послуг IP-телефонії будуть наступні фактори:

- Ріст використання хмарних рішень: загальні IP телефонні системи пропонують зручність і гнучкість використання, оскільки все обладнання та програмне забезпечення зберігаються і підтримуються у хмарі. Завдяки цьому вони можуть бути легко масштабованими та доступними з будь-якої точки світу. Очікується, що використання хмарних рішень для IP-телефонії буде продовжувати розвиватися, забезпечуючи користувачам більшу гнучкість і зручність.
- Покращення якості зв'язку: з розвитком мереж і збільшенням пропускної здатності інтернету можна очікувати поліпшення якості голосового зв'язку в IP-телефонії. Технології, такі як широкополосне аудіо (HD Voice), зменшення затримки та підвищення надійності з'єднань, будуть грати ключову роль у підвищенні якості зв'язку.
- Інтеграція з іншими сервісами: IP-телефонія буде інтегрована з іншими цифровими сервісами, такими як відеоконференції, миттєві повідомлення, обмін файлами та інші. Це дозволить користувачам взаємодіяти більш ефективно та зручно, об'єднуючи різні форми комунікації на одній платформі.
- Розширення функціональності: очікується, що послуги IP-телефонії будуть розширювати функціональні можливості, включаючи можливості мобільної інтеграції, віртуальних помічників та багато іншого.

IP-телефонія стає все більш популярною технологією і має значний потенціал для зростання на ринку зв'язку.

## ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В даній роботі проведено змістовне дослідження принципів функціонування сучасних систем IP-телефонії. Було показано, що дуже важливою є необхідність проводити безперервний моніторинг

ефективності функціонування даних систем.

Було проведено систематизацію показників, які впливають на інтегральну оцінку ефективності функціонування систем IP-телефонії.

При цьому, на перший план виходить якість користувальницького досвіду, що наразі має першочергове значення для повноцінної оцінки ефективності будь-якої сучасної системи телекомунікацій, основною метою якої є саме забезпечення задоволеності користувачів.

Крім того, в статті також проведено аналіз перспектив розвитку систем IP-телефонії. Зокрема, продемонстровані прогнози зростання ринку та окреслені напрямки подальших удосконалень систем IP-телефонії.

### ЛІТЕРАТУРА

1. IP-telephony. Technology review. Available at: <https://www.linkedin.com/pulse/lets-review-basics-ip-telephony-josh-hatch/>.
2. SIP : Session Initiation Protocol", March 1999, 132 pages , <http://tools.ietf.org/rfc/rfc2543.txt>.
3. **Raj Jain, 1998.** Voice over IP: Nortel, Canada, August 14, 1998. 42 slides, <http://www.cse.wustl.edu/~jain/talks/voip.htm>.
4. **Soares, V.N., Neves, P.A., Rodrigues, J.J., 2008.** Past, present and future of IP telephony. In 2008 International Conference on Communication Theory, Reliability, and Quality of Service. 19-24.
5. **Mazurczyk, W., Szaga, P., Szczypiorski, K. 2014.** Using transcoding for hidden communication in IP telephony. Multimedia Tools and Applications, 70, 2139-2165.
6. **Werner, H. 2003.** Quality of Service in IP Telephony: An End to End Perspective. Chalmers tekniska högsk., 74.
7. **Vetter, M., & Willrich, R. 2014.** System of Quality monitoring for IP Telephony Services. In Proceedings of the 20th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web. 239-246.
8. **Cai, Z., Kitawaki, N., Yamada, T., & Makino, S. 2010.** Comparison of MOS evaluation characteristics for Chinese, Japanese, and English in IP telephony. In 2010 4th International Universal Communication Symposium. 112-115.
9. **Keary T. 2023.** The Best VoIP Monitoring Tools & Software for 2023. <https://www.comparitech.com/net-admin/best-voip-monitoring-tools/>.
10. **Pornpongtechanich, P., Daengsi, T. 2019.** Video telephony-quality of experience: a simple QoE model to assess video calls using subjective approach. Multimedia Tools and Applications, 78, 31987-32006.
11. **Lutkevich B., Finnell K., 2023.** Quality of Service (QoS). [https://www.techtarget.com/searchunifiedcommunications/definition/QoS-Quality-of-Service#:~:text=Quality%20of%20service%20\(QoS\)%20refers,of%20data%20on%20the%20network](https://www.techtarget.com/searchunifiedcommunications/definition/QoS-Quality-of-Service#:~:text=Quality%20of%20service%20(QoS)%20refers,of%20data%20on%20the%20network).
12. Grand View Research. <https://www.grandviewresearch.com/>.
13. ASDReports Premium Market Research Reports, Intelligence & Industry Analysis <https://www.asdreports.com/market-research-marketsandmarkets>.
14. Statista <https://www.statista.com/>.
15. Zion Market Research <https://www.zionmarketresearch.com/>.

**Study of performance indicators and prospects for the development of IP telephony systems**

*Oleh Batrak, Tetiana Smirnova, Viktor Gnatyuk,  
Roman Odarchenko, Oleksii Smirnov*

**Abstract.** The purpose of the work is to study performance indicators and prospects for the development of IP telephony systems. IP-telephony is a special field of telephone communication that integrates methods and means of digital signal processing, transmission of speech, data, video information and multimedia, management of computing resources based on high technologies. IP telephony systems are in demand and widely used, especially in the corporate sector. In this work, a meaningful study of the principles of functioning of modern IP telephony systems is carried out. It was shown that it is very important to continuously monitor the effectiveness of the functioning of these systems. A systematization of indicators that affect the integrated assessment of the effectiveness of IP telephony systems was carried out. At the same time, the quality of the user experience comes to the fore, which is currently of primary importance for a full assessment of the effectiveness of any modern telecommunications system, the main goal of which is to ensure user satisfaction. In addition, the article also analyzes the prospects for the development of IP telephony systems. In particular, market growth forecasts are demonstrated and directions for further improvements of IP telephony systems are outlined.

**Keywords:** IP telephony, computer networks, telecommunications, performance indicators.