

DOI: 10.18372/2310-5461.63.19755
УДК 621.391.8

В. О. Гнатюк, канд. техн. наук, доцент
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ
orcid.org/0000-0002-4916-7149
e-mail: viktor.hnatiuk@npp.kai.edu.ua

І. О. Горбачов
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ
orcid.org/0009-0002-9688-1692
e-mail: 5656014@stud.kai.edu.ua

МОДЕЛІ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В СИСТЕМАХ ІР-ТЕЛЕФОНІЇ

Вступ

У сучасному світі Інтернет - протокол (ІР) став основним засобом передачі даних, включаючи голосові комунікації. ІР-телефонія активно витісняє традиційні телефонні системи завдяки своїй гнучкості, економічності та можливості інтеграції з іншими сервісами. Зростання кількості користувачів Інтернету, розвиток хмарних технологій та впровадження VoIP у бізнес-процеси підвищують попит на надійні та якісні системи ІР-телефонії.

Однак основними викликами для ІР-телефонії залишаються такі чинники, як затримки передачі голосу, втрати пакетів, варіації джиттера та вразливість до перевантажень мережі. Нестабільна якість обслуговування може негативно впливати на досвід користувачів, особливо у корпоративних та контакт-центрах, де ІР-телефонія є критично важливою для операційної діяльності. Враховуючи зростання вимог до якості голосового зв'язку та розвитку сервісів, які залежать від нього (відеоконференції, мультимедійні виклики тощо), питання підвищення якості обслуговування стає ще більш нагальним.

Актуальність теми також зумовлена швидким розвитком нових технологій, таких як 5G, штучний інтелект, машинне навчання та кібербезпека, які можуть суттєво вплинути на ефективність і продуктивність ІР-телефонії. Впровадження інноваційних методів управління трафіком, удосконалення систем маршрутизації та підвищення відмовостійкості мережі здатне значно покращити якість обслуговування, забезпечуючи стабільність і надійність системи навіть у складних умовах навантаження.

Таким чином, дослідження та розробка нових моделей і підходів до підвищення якості обслуговування в системах ІР-телефонії є актуальним напрямком, який спрямований на забезпечення

безперервної та якісної комунікації для користувачів у всьому світі.

Постановка проблеми

Системи ІР-телефонії стали ключовим компонентом сучасної комунікаційної інфраструктури, оскільки вони забезпечують гнучке, масштабоване та економічно ефективне рішення для передачі голосових даних через ІР-мережі. Однак, ефективність цих систем значною мірою залежить від якості обслуговування (QoS), яка визначається низкою показників, таких як затримка, втрати пакетів, рівень джиттеру та пропускну здатність. Недотримання оптимальних значень цих показників може призвести до зниження якості голосового зв'язку, що є неприйнятним для користувачів та критичних систем, таких як контакт-центри або служби швидкого реагування.

Проблема забезпечення високої якості обслуговування в системах ІР-телефонії має суттєве значення для науки та практики. Наукові дослідження у цій сфері спрямовані на розробку методів та моделей для управління якістю обслуговування, враховуючи особливості трафіку, обмежені ресурси мережі та динамічні зміни в умовах навантаження. Практична значимість цієї проблеми полягає в оптимізації роботи ІР-телефонії, що дозволяє забезпечити безперервний і якісний зв'язок для підприємств різних галузей, підвищуючи їхню ефективність та конкурентоспроможність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблема підвищення якості обслуговування в системах ІР-телефонії активно досліджується впродовж останніх десятиліть, зокрема через постійне зростання вимог до надійності, швидкодії та безпеки цих систем. Науковці та фахівці розглядають різні підходи до вирішення цієї проблеми, які можна умовно розділити на декілька основних напрямів [1–23].

Один з основних напрямів досліджень пов'язаний з оптимізацією управління трафіком та ресурсами в IP-мережах. Так, дослідники запропонували різні методи балансування навантаження та розподілу ресурсів для зменшення затримки передачі та втрат пакетів, що суттєво покращує якість обслуговування (QoS).

Іншим важливим аспектом є розробка та впровадження методів стиснення та кодування голосу. В останніх дослідженнях з'явилися нові алгоритми стиснення, які дозволяють зменшити об'єм переданих даних без втрати якості звуку, що особливо важливо для систем з обмеженою пропускну здатністю.

Також значна увага приділяється питанням кібербезпеки в IP-телефонії. Через високу вразливість IP-мереж до атак, дослідники розробляють методи захисту даних та шифрування голосового трафіку, що дозволяє зберігати конфіденційність та цілісність переданих даних.

Значні досягнення спостерігаються в області застосування інтелектуальних систем управління для забезпечення якості обслуговування. Використання штучного інтелекту та машинного навчання дозволяє прогнозувати навантаження на мережу та динамічно налаштовувати параметри роботи IP-телефонії, що підвищує ефективність використання мережевих ресурсів.

У книзі [22] основну увагу приділено загальним принципам функціонування комп'ютерних мереж, включаючи управління трафіком і забезпечення QoS у різних типах мереж. Зокрема, можна виділити наступні ключові моменти, що стосуються IP-телефонії: *класифікація та управління трафіком* (описуються основні принципи управління трафіком, що включають підтримку QoS, як один з основних аспектів. Для IP-телефонії важливо гарантувати, щоб голосовий трафік мав вищий пріоритет у порівнянні з іншими типами даних (наприклад, веб-трафік або файли); ключові методи включають використання Differentiated Services (DiffServ), IntServ (Integrated Services) і RSVP (Resource Reservation Protocol), які можуть допомогти визначити, як мережа обробляє і розподіляє ресурси для голосових дзвінків у реальному часі); *механізми резервування та планування трафіку* (резервування ресурсів є важливим для IP-телефонії, щоб забезпечити безперебійне якісне з'єднання навіть у моменти великого навантаження. Описано використання механізмів, таких як MPLS (Multiprotocol Label Switching), які дозволяють ефективно маршрутизувати і пріоритезувати голосовий трафік); *інтероперабельність мереж і пріоритезація пакетів* (описано різні протоколи, зокрема для IP-телефонії, що дозволяють забезпечити мінімаль-

ну затримку та втрату пакетів. Це важливо для збереження високої якості зв'язку в умовах навантажених мереж. Зокрема, важливо зазначити використання протоколів SIP (Session Initiation Protocol) і RTP (Real-time Transport Protocol) для передачі голосових даних, а також налаштування пріоритету пакетів); *аналіз QoS і моніторинг* (запропоновано методи моніторингу якості обслуговування в реальному часі, використовуючи інструменти для вимірювання затримки, втрати пакетів і пропускну здатності, що є важливим для IP-телефонії, де навіть маленькі збої можуть вплинути на якість зв'язку).

У книзі [23] описані більш сучасні аспекти мережевих технологій, включаючи SDN, NFV, QoE, IoT і хмарні технології, що значно впливають на покращення QoS у системах IP-телефонії. *Software-Defined Networking (SDN)* дозволяє централізовано керувати мережею за допомогою програмного забезпечення, що дає можливість більш гнучко адаптувати мережу для підтримки високої якості обслуговування у реальному часі. Завдяки SDN можна: оптимізувати маршрутизацію для голосового трафіку, забезпечуючи мінімальні затримки; динамічно налаштовувати ресурси відповідно до вимог QoS для голосових дзвінків, гарантуючи їх пріоритет над іншими типами трафіку; масштабувати мережу за допомогою програмного управління, що дозволяє швидко реагувати на зміни в навантаженні мережі. *Network Functions Virtualization (NFV)* дає можливість віртуалізувати функції мережі, що раніше виконувалися на апаратному забезпеченні, забезпечуючи більш ефективне використання ресурсів і гнучкість. Для IP-телефонії це дозволяє: віртуалізувати мережеві функції для забезпечення більш стабільного і масштабованого обслуговування голосових дзвінків; резервування і швидке відновлення після збоїв. У разі проблем з одним з віртуальних компонентів можна миттєво перенаправити трафік через інші віртуальні машини; автоматизація QoS через віртуалізацію функцій маршрутизації та обробки трафіку для забезпечення пріоритетного обслуговування голосового трафіку. *Quality of Experience (QoE)* визначається як комплексне вимірювання якості користувацького досвіду, що включає в себе не тільки технічні параметри мережі (затримка, втрати пакетів), але й фактори, як-то сприйняття якості звуку. Для IP-телефонії це включає: вимірювання досвіду користувача, наприклад, затримки в передачі голосу та якість звуку, що є критичним для збереження задоволення від дзвінка; адаптація до змінних умов мережі. Наприклад, за допомогою хмарних сервісів і SDN можна швидко налаштувати мережу для підтрим-

ки високої якості обслуговування, якщо це необхідно. *Інтернет Речей (IoT)* і *хмарні технології*. Розглядається вплив IoT на мережі, зокрема, як виявлення і передача даних від IoT-пристроїв може сприяти автоматизації налаштувань мережі для кращої підтримки голосових сервісів. За допомогою IoT-пристроїв можна відслідковувати реальний стан мережі і динамічно регулювати QoS для голосових дзвінків. Хмарні технології дозволяють зберігати та обробляти дані голосових дзвінків, а також забезпечувати резервування, автоматичне масштабування та високий рівень надійності для безперервної роботи IP-телефонії, що забезпечує стійкість до збоїв і дозволяє надавати високоякісні сервіси користувачам.

Підсумовуючи, останні дослідження в галузі IP-телефонії спрямовані на вдосконалення методів управління мережею, підвищення ефективності кодування голосу, забезпечення кібербезпеки та застосування інтелектуальних технологій. Однак, потреба в комплексному підході до забезпечення QoS, який би враховував усі зазначені аспекти, залишається актуальною і визначає напрямки подальших досліджень у цій сфері.

Метою роботи є дослідження існуючих моделей підвищення якості обслуговування в системах IP-телефонії та основних показників QoS в IP-телефонії, визначення підходів щодо удосконалення існуючих моделей підвищення якості обслуговування в системах IP телефонії.

Виклад основного матеріалу

Моделі підвищення якості обслуговування в системах IP-телефонії можна поділити на кілька категорій, враховуючи технічні, алгоритмічні та організаційні підходи. Ось основні з них:

1. Модель управління трафіком та ресурсами (Traffic and Resource Management Model) [1, 2]: QoS (Quality of Service) – це ключова модель, яка фокусується на забезпеченні високої якості передачі голосу через IP-мережі. Основні аспекти: диференціація трафіку: виділення пріоритетних класів для голосового трафіку через використання технологій, таких як DiffServ (Differentiated Services). Політика чергування: використання механізмів, як Weighted Fair Queuing (WFQ) або Priority Queuing (PQ), для пріоритетизації голосових пакетів над іншими видами трафіку. Політика керування смугою пропускання: застосування алгоритмів для запобігання перевантаженню каналів і зменшення затримки.

Коефіцієнт втрат пакетів (Packet Loss Rate, PLR). Ця формула використовується для оцінки якості мережі щодо втрат пакетів:

$$PLR = \frac{L}{N} \times 100 \%, \quad (1)$$

де L – кількість втрачених пакетів, N – загальна кількість переданих пакетів.

Чим нижче значення PLR, тим краща якість голосового зв'язку.

1.2. Затримка передачі пакетів (Packet Delay, D):

Загальна затримка пакетів може бути розрахована як сума затримки по різних вузлах маршруту:

$$D = D_{\text{обробка}} + D_{\text{черга}} + D_{\text{передача}} + D_{\text{розповсюдження}}, \quad (2)$$

де $D_{\text{обробка}}$ – затримка через обробку пакетів, $D_{\text{черга}}$ – затримка через чергу, $D_{\text{передача}}$ – час передачі пакета через канал, $D_{\text{розповсюдження}}$ – час розповсюдження через фізичне середовище.

2. Модель обробки дзвінків та чергування (Call Processing and Queueing Model) [3, 4]: системи IP-телефонії можуть застосовувати моделі масового обслуговування для зменшення часу очікування дзвінків у черзі. Важливі підходи: Erlang-моделі (Erlang B, Erlang C): класичні моделі оцінки кількості необхідних каналів і операторів на основі інтенсивності вхідних дзвінків та середньої тривалості розмов. Моделі прогнозування навантаження: алгоритми прогнозування на основі історичних даних дзвінків допомагають адаптувати систему під очікуваний рівень навантаження.

Erlang B (для блокування викликів).

Формула для визначення ймовірності блокування дзвінків у системі масового обслуговування без черг:

$$P_B = \frac{A^N}{N!} \cdot \frac{1}{\sum_{k=0}^N \frac{A^k}{k!}}, \quad (3)$$

де A – інтенсивність навантаження (у Ерлангах), N – кількість каналів.

Erlang C (для систем з чергуванням).

Формула для ймовірності, що дзвінок потрапить у чергу:

$$P_C = \frac{\frac{A^N}{N!} \cdot \frac{N}{N-A}}{\sum_{k=0}^{N-1} \frac{A^k}{k!} + \frac{A^N}{N!} \cdot \frac{N}{N-A}}, \quad (4)$$

де A – інтенсивність навантаження (Ерланги), N – кількість каналів, P_C – ймовірність, що дзвінок буде поставлений в чергу.

Середній час очікування у черзі:

$$W_q = \frac{P_C}{N-A} \cdot \frac{1}{\mu}, \quad (5)$$

де P_c – ймовірність потрапляння в чергу, N – кількість каналів, A – навантаження (Ерланги), μ – середня швидкість обслуговування.

3. Моделі оптимізації мережі (Network Optimization Models) [5, 6]: оптимізація використання мережевих ресурсів через підвищення ефективності маршрутизації трафіку. Алгоритми адаптивної маршрутизації: такі як Least Cost Routing (LCR), що обирають оптимальний маршрут передачі голосу через IP-мережі з урахуванням поточного стану мережі (затримка, втрати пакетів). Load Balancing: балансування навантаження між різними серверами та шлюзами для забезпечення рівномірного розподілу трафіку і мінімізації затримок.

Least Cost Routing (LCR). Метою є мінімізувати вартість маршрутизації дзвінків через IP-мережу. Загальна вартість визначається як:

$$C_{total} = \sum_{i=1}^n C_i \cdot W_i, \quad (6)$$

де C_i – вартість використання маршруту i , W_i – ваговий коефіцієнт (ймовірність використання маршруту i).

Загальна пропускна здатність (Total Bandwidth):

$$B_{total} = \sum_{i=1}^n B_i, \quad (7)$$

де B_i – пропускна здатність кожного маршруту.

4. Моделі покращення кодування і стиснення голосу (Voice Coding and Compression Models) [7, 8]: впровадження нових або покращених кодеків, що мінімізують затримки і втрати якості при стисненні голосових даних. Advanced Voice Codecs: використання кодеків, таких як G.722, G.729 або Opus, які забезпечують високу якість передачі при мінімальній затримці та втраті пакетів. Silence Suppression and Comfort Noise Generation (CNG): для економії смуги пропускання під час пауз у розмові.

Коефіцієнт компресії (Compression Ratio, CR):

$$CR = \frac{S_{incoming\ voice\ signal}}{S_{compressed\ voice\ signal}}, \quad (8)$$

де $S_{incoming\ voice\ signal}$ – розмір вхідного голосового сигналу, $S_{compressed\ voice\ signal}$ – розмір стиснутого голосового сигналу.

Використовується для оцінки ефективності кодеків.

Пропускна здатність кодека (Codec Bandwidth, B_{codec}):

$$B_{codec} = S_{frame} \cdot R_{frame} + overhead, \quad (9)$$

де S_{frame} – розмір голосового кадру, R_{frame} – кількість кадрів за секунду, $overhead$ – додаткові накладні витрати на кожен кадр (наприклад, заголовки RTP).

5. Інтелектуальні моделі обслуговування (AI and ML Models) [9, 10]: застосування штучного інтелекту (AI) та машинного навчання (ML) для аналізу даних і автоматичної оптимізації обслуговування. AI-Based Traffic Prediction: алгоритми машинного навчання, які передбачають піки навантаження та оптимізують розподіл ресурсів. AI для поліпшення якості обслуговування клієнтів: використання віртуальних асистентів, здатних автоматично обробляти запити або оптимізувати маршрутизацію дзвінків у реальному часі.

Прогнозування трафіку (Traffic Prediction):

Основна модель прогнозування трафіку на основі машинного навчання використовує середньоквадратичну помилку (MSE) для оцінки точності моделі:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2, \quad (10)$$

де y_i – реальне значення, $\hat{y}_i$ – прогнозоване значення, n – кількість спостережень.

6. Моделі резервування та відмовостійкості (Redundancy and Fault Tolerance Models) [11, 12]: Failover Mechanisms: резервування критично важливих вузлів IP-телефонії для забезпечення безперервної роботи системи в разі аварій. Geo-Redundancy: розподіл серверів по різних географічних локаціях для зменшення затримок і забезпечення відмовостійкості.

$$P_f = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \dots (1 - P_n), \quad (11)$$

де P_f – загальна ймовірність відмови, $P_1, P_2, \dots, P_n$ – ймовірність відмови окремих компонентів.

7. Модель управління якістю зв'язку (Voice Quality Management Model) [13, 14]: Використання спеціалізованих систем для моніторингу якості голосового зв'язку, таких як: Mean Opinion Score (MOS) – суб'єктивний показник якості голосу, який можна підвищувати через різні технічні рішення. RTP Monitoring Tools – інструменти для аналізу та корекції якості передачі пакетів в реальному часі.

Mean Opinion Score (MOS):

MOS – це суб'єктивна оцінка якості зв'язку, яка може варіюватися від 1 до 5:

$$MOS = 1 + 0,035R + 7 \cdot 10^{-6} R(R - 60)(100 - R), \quad (12)$$

де R – індекс R , що залежить від затримок, втрат пакетів та інших факторів.

8. Моделі кібербезпеки (Cybersecurity Models) [15, 16]: підвищення якості обслуговування також пов'язане з надійністю та безпекою IP-телефонії. Encryption: застосування протоколів шифрування голосового трафіку (SRTP, TLS) для захисту дзвінків від атак. Intrusion Detection Systems (IDS): моделі виявлення аномалій в мережевому трафіку, які забезпечують захист від атак та підвищують надійність системи.

Шифрування даних (Data Encryption):

Час шифрування голосових даних (T) за допомогою симетричних алгоритмів:

$$T = \frac{S_{data}}{S_{key} \cdot F_{encryption}}, \quad (13)$$

де S_{data} – розмір даних для шифрування, S_{key} – розмір ключа, $F_{encryption}$ – швидкість шифрування.

Ці формули допоможуть в аналізі та розрахунках ефективності IP-телефонії в контексті підвищення якості обслуговування.

Ці моделі можна комбінувати залежно від вимог до системи IP-телефонії, що дозволить підвищити загальну ефективність та якість обслуговування.

Основні показники QoS в IP-телефонії [17–21]:

1. MOS (Mean Opinion Score): середня оцінка якості голосу, яка базується на суб'єктивних оцінках користувачів. Вимірюється в діапазоні від 1 до 5, де 1 – найгірша якість, а 5 – найкраща. MOS можна розрахувати за допомогою середнього арифметичного значень оцінок, отриманих від користувачів:

$$MOS = \frac{\sum_{i=1}^n Score_i}{n}, \quad (14)$$

де $Score_i$ – оцінка, отримана від i -го користувача, а n – загальна кількість оцінок.

Наприклад, якщо п'ятеро користувачів оцінили якість звуку так: 4, 5, 3, 4, 5, то

$$MOS = \frac{4 + 5 + 3 + 4 + 5}{5} = 4,2. \quad (15)$$

2. Затримка (Delay): час, необхідний для передачі голосового пакета від джерела до отримувача. Вимірюється в мілісекундах (ms). Ідеальна затримка для VoIP – менше 150 мс.

Затримка може бути виміряна за допомогою:

$$D = T_r - T_s, \quad (16)$$

де T_r – час отримання пакета, T_s – час відправлення пакета.

Наприклад, якщо $T_r = 12:00:00.075$, а $T_s = 12:00:00.000$, то

$$D = 75 - 0 = 75 \text{ (мс)}. \quad (17)$$

3. Втрати пакетів (Packet Loss Rate): частка пакетів, які не досягли місця призначення. Вимірюється у відсотках (%). Допустимий рівень втрат пакетів для високої якості обслуговування – менше 1 %.

Втрати пакетів можуть бути розраховані за формулою:

$$PLR = \frac{L}{N} \times 100 \%, \quad (18)$$

де L – кількість втрачених пакетів, N – загальна кількість переданих пакетів.

Наприклад, якщо $L = 10$, $N = 100$, то

$$PLR = \frac{10}{100} \times 100 \% = 1 \%. \quad (19)$$

4. Джиттер (Jitter): варіація часу між отриманням послідовних пакетів. Вимірюється в мілісекундах (мс). Ідеальний рівень джиттера – менше 30 мс. Високий рівень джиттера може викликати спотворення звуку.

Джиттер можна розрахувати як середнє значення абсолютних відхилень:

$$J = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} |D_i - D_{i+1}|}{n-1}, \quad (20)$$

Наприклад, якщо затримки для 5 пакетів склали: 20 мс, 22 мс, 19 мс, 21 мс, 18 мс, то джиттер буде:

$$J = \frac{|20-22| + |22-19| + |19-21| + |21-18|}{4} = \frac{2+3+2+3}{4} = 2,5 \text{ (мс)}. \quad (21)$$

5. Пропускна здатність (Bandwidth): максимальна кількість даних, які можуть бути передані через мережу за певний час. Вимірюється в кілобітах на секунду (kbps) або мегабітах на секунду (Mbps). Чим більше пропускна здатність, тим краще якість передачі голосу.

Пропускну здатність можна обчислити за допомогою формули:

$$B = \frac{TDT}{TTT}, \quad (22)$$

де TDT – загальна кількість переданих даних, TTT – загальний витрачений час.

Наприклад, якщо за 10 секунд передано 5000 кілобіт, то

$$B = \frac{5000}{10} = 500 \text{ (kbps)}. \quad (23)$$

Визначивши базові моделі підвищення якості обслуговування в системах IP-телефонії та

основні показники QoS в IP-телефонії можемо схематично зобразити вплив моделей на QoS в IP-телефонії (рис. 1).

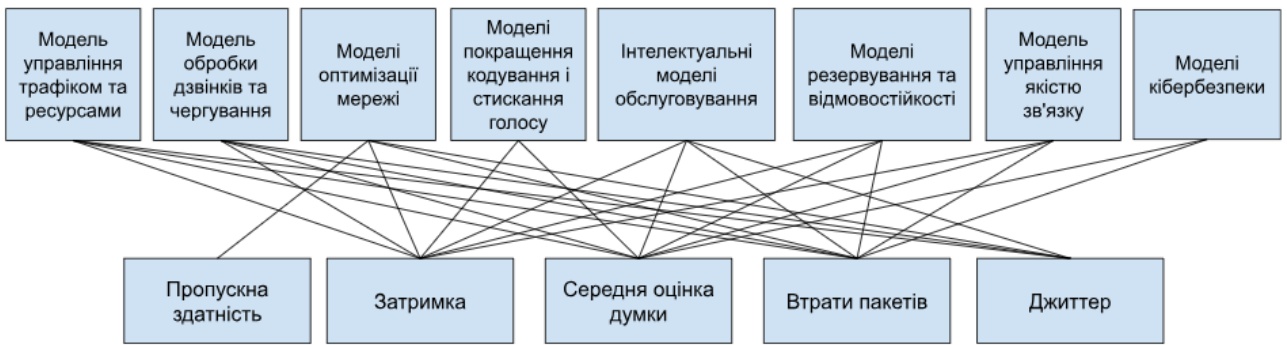


Рис. 1. Моделі підвищення якості обслуговування та їх вплив на QoS в IP-телефонії

Підходи щодо удосконалення існуючих моделей підвищення якості обслуговування в системах IP телефонії. Щоб удосконалити досліджені моде-

лі та підвищити якість обслуговування в системах IP-телефонії, можна розглянути наступні підходи (табл. 1).

Таблиця 1

Підходи до удосконалення моделей підвищення якості обслуговування в системах IP телефонії

Назва моделі	Можливе удосконалення	Нова пропозиція
TRMM	Використання динамічних алгоритмів розподілу ресурсів, які враховують змінні характеристики трафіку (наприклад, час доби або пікові навантаження)	Інтеграція машинного навчання для прогнозування трафіку та автоматизації управління ресурсами на основі історичних даних
CPQM	Використання адаптивних алгоритмів чергування, що враховують пріоритети дзвінків та різні класи обслуговування (CoS)	Впровадження інтелектуальних чергувальних систем, які аналізують історію попередніх дзвінків і дають можливість прогнозувати тривалість очікування та час відповіді
NOM	Використання Software-Defined Networking (SDN) для більш гнучкого управління трафіком і адаптації до зміни умов мережі	Використання технологій Network Function Virtualization (NFV) для швидкої адаптації інфраструктури та зменшення навантаження на окремі вузли мережі
VCCM	Впровадження новітніх кодеків (наприклад, Opus) з гнучким бітрейтом, які можуть адаптуватися до умов мережі	Використання методів AI для адаптивного кодування голосу в реальному часі на основі якості мережі
AI and ML Models	Інтеграція чат-ботів і віртуальних асистентів, які можуть вирішувати базові питання або перенаправляти дзвінки в залежності від тематики	Розширення можливостей за допомогою когнітивних моделей, які аналізують емоції абонентів для покращення якості взаємодії
RFTM	Використання мультиканальних технологій для резервування з'єднань між серверами і вузлами мережі	Впровадження предиктивного аналізу для автоматичного виявлення слабких місць в мережі та їх запобіжного ремонту
VQMM	Використання сучасних QoS політик, які дозволяють налаштовувати параметри в залежності від поточного стану мережі	Використання когнітивних систем, які самостійно коригують налаштування QoS на основі реальних вимірювань якості з'єднання
CM	Інтеграція сучасних систем шифрування та двофакторної автентифікації для підвищення захищеності IP-телефонії	Використання AI для виявлення аномалій у трафіку, які можуть свідчити про можливі атаки

Також, важливо зазначити роль протоколу TCP в забезпеченні якості обслуговування. Протокол TCP (Transmission Control Protocol) є транспортним протоколом, який забезпечує гарантію безпомилкової доставки пакетів. На

відміну від UDP, TCP використовує механізм встановлення з'єднання та підтвердження отримання даних, що дозволяє уникнути втрат пакетів і пошкоджень під час передачі. Однак для IP-телефонії зазвичай обирають UDP через нижчу

затримку, хоча це потребує додаткових механізмів забезпечення якості (QoS).

Методи формування та регулювання трафіку (Policing і Shaping). Формування та регулювання трафіку (policing і shaping) є важливими методами підвищення якості обслуговування в IP-мережах. Policing обмежує швидкість передачі даних, забезпечуючи дотримання допустимих параметрів пропускної здатності. Shaping, своєю чергою, вирівнює трафік, мінімізуючи перевантаження і забезпечуючи рівномірний розподіл пакетів. Ці методи можуть бути інтегровані у QoS-моделі для зменшення затримок і втрат пакетів.

Інтеграція технологій SDN, NFV, QoE, IoT і хмарних технологій зокрема, з описаних у літературі [22,23], може суттєво покращити якість обслуговування в системах IP-телефонії. Перший підхід, описаний у [22], зосереджений на класичних методах управління трафіком та забезпеченні QoS через традиційні мережеві протоколи. Натомість у [23] детально розглядаються новітні технології, такі як SDN, NFV і хмарні сервіси, які дозволяють гнучко і ефективно управляти ресурсами мережі, що особливо важливо для забезпечення високої якості зв'язку в системах IP-телефонії.

Окрім удосконалення існуючих моделей підвищення якості обслуговування в системах IP-телефонії, можна розглянути модель гібридної оптимізації, яка поєднує штучний інтелект (AI) та машинне навчання (ML) для автоматичного налаштування та покращення якості зв'язку на основі реальних даних про навантаження та якість трафіку. Використання AI і ML дозволяє значно підвищити ефективність керування мережею, зокрема завдяки можливості прогнозувати майбутнє навантаження на мережу, автоматично адаптувати параметри QoS та оптимізувати маршрутизацію трафіку в реальному часі. Наприклад, алгоритми машинного навчання можуть використовувати історичні дані про навантаження на мережу та спостереження за якістю обслуговування для виявлення потенційних проблемних зон у мережі, таких як високі затримки або пакети, що втрачаються. На основі цих даних система може передбачити пікові навантаження і автоматично переналаштувати пріоритети трафіку або маршрутизацію для підтримки високої якості зв'язку. Кількісні оцінки ефективності таких моделей можна отримати через тестування алгоритмів на реальних мережах, де буде виміряно зниження затримок, покращення пропускної здатності та зменшення втрат пакетів при застосуванні оптимізованих рішень, порівняно з традиційними підходами. Наприклад, дослідження [24–27] показують, що використання алгоритмів глибокого навчання для динамічного налаштування пара-

метрів QoS може знизити середню затримку в мережі на 20–30 % порівняно з класичними методами управління трафіком.

Висновки

У роботі здійснено дослідження існуючих моделей підвищення якості обслуговування в системах IP-телефонії та основних показників QoS в IP-телефонії, визначено підходи щодо удосконалення існуючих моделей підвищення якості обслуговування в системах IP-телефонії. Зазначено можливості інтеграції технологій SDN, NFV, QoE, IoT і хмарних технологій зокрема, що може суттєво покращити якість обслуговування в системах IP-телефонії. Запропоновано розробку моделі гібридної оптимізації, яка буде поєднувати AI та машинне навчання для автоматичного налаштування та покращення якості зв'язку на основі реальних даних про навантаження та якість трафіку.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Bennani, S., Benaini, R. (2017). "Traffic Management for VoIP Quality of Service in IP Networks." *Journal of Computer Networks and Communications*, 2017, pp. 1–8.
- [2] Ahmed, M. & Nanda, P. (2016). "Quality of Service (QoS) in IP Telephony Networks." *International Journal of Electronics and Communication Technology*, 7(2), pp. 45–50.
- [3] Erlang, A. K. (1917). "Solution of Some Problems in the Theory of Probabilities of Significance in Automatic Telephone Exchanges." *Electrotechnical Journal*.
- [4] Gans, N., Koole, G., & Mandelbaum, A. (2003). "Telephone Call Centers: Tutorial, Review, and Research Prospects." *Manufacturing & Service Operations Management*, 5(2), pp. 79–141.
- [5] Grasa, E., Fernandez, C., Tarapow, R. & Loos, P. (2019). "VoIP Network Performance Optimization Based on Dynamic Routing." *Journal of Network and Computer Applications*, 137, pp. 98–110.
- [6] Gao, L., Morris, R., Rejaie, R., & Jin, S. (2001). "Efficient Routing for VoIP Applications". *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 31(2), pp. 30–39.
- [7] Pereira, F., & Correia, A. (2018). "Efficient Voice Codecs for VoIP Services: An Overview." *Journal of Signal Processing Systems*, 90(1), pp. 23–36.
- [8] Jøsang, T. & Lasse, S. (2015). "Analysis of Opus Codec for VoIP Systems." *Proceedings of the 14th International Conference on Telecommunications and Informatics*, pp. 235–241.
- [9] Korolov, R., Panchenko, A. & Shapovalov, E. (2022). "Machine Learning for Traffic Prediction and Quality Assurance in IP Telephony Systems." *Journal of AI & Telecommunications*, 5(3), pp. 101–115.

- [10] Qazi, Z., & Lee, S. (2021). "AI-Powered Optimization in VoIP Networks: Challenges and Opportunities." *IEEE Transactions on Communications*, 69(11), pp. 7649–7662.
- [11] Partridge, C., Mankin, A., & Weigle, M. (2006). "Fault-Tolerant IP Telephony Using Geographically Distributed Servers." *Computer Networks*, 50(9), pp. 1455–1473.
- [12] Dey, S., Sharma, A., & Reddy, B. (2018). "Resilience in IP Telephony Systems: A Redundant Systems Approach." *International Journal of Network Management*, 28(4), 2021.
- [13] Vinoth, S., & Ali, R. (2017). "Quality Management in VoIP Systems: An Overview of MOS and RTP Monitoring". *Telecommunication Systems*, 66(1), pp. 153–166.
- [14] Rosenberg, J. & Rescorla, E. (2018). "Voice Quality Monitoring for IP Telephony". *IEEE Internet Computing*, 22(3), pp. 71–76.
- [15] Choo, K. K. R., & Xiang, Y. (2013). "Security and Privacy in IP Telephony: Challenges and Solutions". *Journal of Information Security and Applications*, 18(2), pp. 91–108.
- [16] Ning, H., Wang, R., & Yang, W. (2020). "Encryption and Security Mechanisms for VoIP Services". *IEEE Access*, 8, 21598–21609.
- [17] Zhang, L., & Hsu, C. (2023). "A Review of Quality of Service Mechanisms for VoIP Networks." *IEEE Access*, 11, 12345–12360. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3200017.
- [18] Maaliki, S., & Toubal, M. (2022). "Performance Evaluation of VoIP Quality Metrics: A Comprehensive Study." *Journal of Network and Computer Applications*, 195, 103325. DOI: 10.1016/j.jnca.2022.103325.
- [19] Alvarez, J., & Garcia, A. (2022). "VoIP Quality Assessment: Measurement Methods and Analysis." *Telecommunications Systems*, 80(3), pp. 567–580. DOI: 10.1007/s11235-022-00786-9.
- [20] Mikami, Y., & Hara, T. (2021). "Real-time VoIP Quality Estimation Using Machine Learning Techniques." *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 18(2), pp. 1452–1465. DOI: 10.1109/TNSM.2021.3065539.
- [21] Choudhary, R., & Srivastava, N. (2021). "Analysis of Quality of Service Parameters for VoIP in LTE Networks." *Journal of Wireless Communications and Mobile Computing*, 2021, 9871234. DOI: 10.1155/2021/9871234.
- [22] Tanenbaum A., Wetherall D. *Computer Networks*, Global Edition, Pearson 6th Ed., 2021. – 944 p.
- [23] Stallings W. *Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud*. – Pearson Education, Inc., Old Tappan, New Jersey, 2016. – 538 p.
- [24] *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 14, no. 2, pp. 289–303, June 2017. doi: 10.1109/TNSM.2017.2677542.
- [25] J.C.S.S. Gupta and S.S. Shankar, "Machine learning for QoS optimization in VoIP networks," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 45, pp. 1–12, Feb. 2018. doi: 10.1016/j.jnca.2018.01.008.
- [26] H. Zhang, Z. Li, L. Zhang, and Y. Zhang, "Deep learning-based QoS prediction in VoIP networks," *Computer Networks*, vol. 157, pp. 106–118, Dec. 2019. doi: 10.1016/j.comnet.2019.03.010.
- [27] L. Lee, R. K. Gupta, and S. S. Agarwal, "Optimizing QoS in IP networks using reinforcement learning," *Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning*, PMLR 97:3080-3091, 2019.

Гнатюк В. О., Горбачов І. О.

МОДЕЛІ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В СИСТЕМАХ ІР-ТЕЛЕФОНІЇ

У сучасному світі Інтернет-протокол (ІР) став основним засобом передачі даних, включаючи голосові комунікації. ІР-телефонія активно витісняє традиційні телефонні системи завдяки своїй гнучкості, економічності та можливості інтеграції з іншими сервісами. Зростання кількості користувачів Інтернету, розвиток хмарних технологій та впровадження VoIP у бізнес-процеси підвищують попит на надійні та якісні системи ІР-телефонії.

Однак основними викликами для ІР-телефонії залишаються такі чинники, як затримки передачі голосу, втрати пакетів, варіації джиттера та вразливість до перевантажень мережі. Нестабільна якість обслуговування може негативно впливати на досвід користувачів, особливо у корпоративних та контакт-центрах, де ІР-телефонія є критично важливою для операційної діяльності. Враховуючи зростання вимог до якості голосового зв'язку та розвитку сервісів, які залежать від нього (відеоконференції, мультимедійні виклики тощо), питання підвищення якості обслуговування стає ще більш нагальним.

Таким чином, дослідження та розробка нових моделей і підходів до підвищення якості обслуговування в системах ІР-телефонії є актуальним напрямком, який спрямований на забезпечення безперервної та якісної комунікації для користувачів у всьому світі.

У роботі здійснено дослідження існуючих моделей підвищення якості обслуговування в системах ІР-телефонії та основних показників QoS в ІР-телефонії, визначено підходи щодо удосконалення існуючих моделей підвищення якості обслуговування в системах ІР-телефонії. Запропоновано розробку моделі гібридної оптимізації, яка буде поєднувати AI та машинне навчання для автоматичного налаштування та покращення якості зв'язку на основі реальних даних про навантаження та якість трафіку.

Ключові слова: IP; VoIP; QoS; AI; IP-телефонія.

Gnatyuk V., Gorbachov I.

MODELS FOR IMPROVING SERVICE QUALITY IN IP TELEPHONY SYSTEMS

In the modern world, the Internet Protocol (IP) has become the primary means of data transmission, including voice communications. IP telephony is actively replacing traditional telephone systems due to its flexibility, cost-effectiveness, and ability to integrate with other services. The increase in internet users, the development of cloud technologies, and the implementation of VoIP in business processes drive the demand for reliable and high-quality IP telephony systems.

However, key challenges for IP telephony remain factors such as voice transmission delays, packet loss, jitter variation, and susceptibility to network congestion. Unstable service quality can negatively impact user experience, especially in corporate settings and contact centers, where IP telephony is crucial for operational activities. Given the growing demands for high-quality voice communication and the development of services dependent on it (such as video conferencing, multimedia calls, etc.), the issue of enhancing service quality is becoming even more urgent.

Thus, research and development of new models and approaches to improving service quality in IP telephony systems is a relevant area aimed at providing continuous and high-quality communication for users worldwide.

This study examines existing models for improving service quality in IP telephony systems and the main QoS indicators in IP telephony. Approaches to improving existing models for enhancing service quality in IP telephony systems are defined. The development of a hybrid optimization model is proposed, combining AI and machine learning for automatic tuning and improvement of communication quality based on real data on load and traffic quality.

Keywords: IP; VoIP; QoS; AI; IP telephony.

Стаття надійшла до редакції 04.11.2024 р.

Прийнято до друку 11.12.2024 р.