

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

СОЛОВЙОВ ОЛЕКСАНДР ВІТАЛІЙОВИЧ



УДК 621.395.34

**МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ VOIP МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ
ВИБОРУ МАРШРУТУ ГОЛОСОВОГО ВИКЛИКУ**

05.12.02 «Телекомунікаційні системи та мережі»

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі конструювання електронно-обчислювальної апаратури Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент
Бондаренко Віктор Миколайович,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
доцент кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Хлапонін Юрій Іванович,
Київський національний університет будівництва і архітектури,
завідувач кафедри кібербезпеки та комп'ютерної інженерії;

доктор технічних наук, доцент
Ткаченко Ольга Миколаївна,
Державний університет телекомунікацій,
завідуюча кафедрою комп'ютерної інженерії.

Захист відбудеться 5 листопада 2020 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.19 в Національному авіаційному університеті за адресою: Україна, 03680, м. Київ, пр.-т. Космонавта Комарова, 1.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: Україна, 03680, м. Київ, пр.-т. Космонавта Комарова, 1.

Автореферат розісланий 2 жовтня 2020 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
д.т.н., доцент



Р.С. Одарченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. За останні десять років під впливом зростання широкосмугових мереж і зниження витрат на канали передачі даних телефонія з використанням технології передачі голосу через IP-мережу (VoIP) витісняє послуги телефонних мереж загального користування (ТМЗК) стрімкими темпами.

Сучасні організації, які експлуатують власну VoIP мережу, такі як оператори VoIP телефонії і великі організації, зазвичай підключені до декількох провайдерів телефонії, що надають доступ до одних і тих самих напрямків. Послуги таких провайдерів відрізняються як за вартістю, так і за якістю; відмінності можуть бути зумовлені як різними типами технологій включення в мережу провайдера, так і різними технологіями досягнення кінцевого абонента, а також рівнем реалізації цих технологій.

У багатьох випадках істотне значення для операторів VoIP мереж має гнучкість у виборі маршрутів телефонних викликів, тобто швидка автоматична реакція в реальному часі на зміни в станах та умовах функціонування будь-яких елементів віртуальної корпоративної телефонної мережі шляхом відповідного корегування таблиць маршрутизації софтверу. Завдяки такій гнучкості можна суттєво підвищити надійність і якість телефонного зв'язку порівняно з існуючими технологіями використання софтверу у корпоративних телефонних мережах.

Доступним на сьогодні динамічним протоколом маршрутизації голосових викликів в VoIP мережах є LCR (Least Cost Routing – маршрутизація за критерієм найменшої вартості). Основна ідея протоколу полягає в порівнянні тарифів різних провайдерів перед маршрутизацією виклику. У результаті порівняння обирається найбільш дешевий маршрут, за яким буде здійснено виклик. Якість зв'язку й інші параметри не враховуються. При погіршенні якості зв'язку на одному з каналів наявні технології не здатні автоматично перенаправляти виклики на більш якісний канал. У результаті адміністратор VoIP мережі змушений вручну змінювати маршрутизацію викликів.

Відтак виникає **суперечність** між потребами операторів VoIP мереж у максимально ефективному використанні доступного різноманіття провайдерів VoIP послуг (для забезпечення своїх абонентів якісними послугами з мінімальною вартістю та підвищення рівня стійкості власної мережі до деградації рівня послуг провайдерів) та фактичними можливостями існуючих технологій маршрутизації голосових викликів у VoIP мережах.

Таким чином, проблема, що вирішується в рамках цієї роботи, а саме відсутність достатнього рівня автоматизації маршрутизації голосових VoIP викликів, при якій враховуються не тільки фактори вартості або якості, а й їх співвідношення, та розробка методу оптимізації функціонування VoIP мережі на основі вибору маршруту голосового виклику, є важливим науково-прикладним завданням, спрямованим на вдосконалення якості обслуговування абонентів сучасних VoIP мереж.

Вищесказане й зумовлює актуальність теми дослідження.

Дисертаційна робота зосереджена на забезпеченні заявленого рівня сервісу, що надається операторами. Рішення, пропоновані в роботі, орієнтовані на забезпечення реорганізації опорної IP-мережі та її інтеграцію з існуючою телефонною мережею для впровадження автоматизації вибору провайдера в режимі реального часу за необхідним напрямком шляхом аналізу тарифів і рівня сервісу провайдерів, їх ранжуванням та

вибором найбільш оптимального з них.

Аналіз науково-технічної літератури засвідчує, що дослідженням у галузі вдосконалення функціональності VoIP софтверу, зокрема маршрутизації голосових викликів в VoIP мережах, присвячена невелика кількість праць вітчизняних і зарубіжних учених, таких як P. Chołda, M. Kantor, A. Jajszczyk, K. Sripanidkulchai, Z. Shae, D. Saha, В. М. Бондаренко. Оскільки у цій сфері теорія значно відстає від практики, знайти теоретичні здобутки науковців щодо динамічної маршрутизації голосових викликів, на які можна було б спиратися під час проведення дослідження, неможливо.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження виконано на кафедрі конструювання електронно-обчислювальної апаратури Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Обраний напрям досліджень відповідає тематиці науково-дослідних робіт Науково-дослідного інституту прикладної електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Виконані в дисертації дослідження проводились в рамках НДР «Дослідження факторів і ступеня їх впливу на якість, вартість VoIP зв'язку, безпеку і продуктивність корпоративних IP мереж з підтримкою технології VoIP» (№ державної реєстрації 0113U001495) протягом 2013–2015 рр.

Мета й завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка методу оптимізації функціонування VoIP мережі на основі вибору маршруту голосового виклику шляхом удосконалення існуючих технологій динамічної маршрутизації голосових викликів й удосконалення структурно-функціональної організації опорної IP мережі, що призведе до покращення співвідношення якість/ціна VoIP зв'язку та підвищення рівня автоматизації VoIP мереж.

Для досягнення поставленої мети було визначено й вирішено такі **завдання**:

1. Аналіз існуючих принципів побудови VoIP мереж і технологій маршрутизації голосового та IP-трафіку.
2. Удосконалення структурно-функціональної організації опорної IP-мережі для задоволення вимог продуктивності, безпеки й оптимізації витрат на обслуговування й адміністрування VoIP мереж.
3. Побудова узагальненої моделі роботи VoIP мережі під час вибору провайдера. Обґрунтування вибору існуючих значущих параметрів та розробка нових синтетичних параметрів, які впливають на співвідношення якість/ціна VoIP зв'язку.
4. Удосконалення технології маршрутизації голосових викликів за критерієм найменшої вартості (LCR) шляхом побудови математичної моделі розрахунку метрики для вибору провайдера з урахуванням розроблених вимог і параметрів, її оптимізації та розробки алгоритмічних рішень реалізації вдосконаленої технології.
5. Перевірка ефективності отриманих рішень за допомогою експериментальних досліджень мережі VoIP зв'язку з інтегрованими розробками та без них шляхом імітаційного моделювання.

Об'єктом дослідження є процеси маршрутизації голосових викликів у VoIP мережах та взаємодії VoIP мереж з опорними IP-мережами.

Предметом дослідження є технології маршрутизації голосових викликів в VoIP мережах і структурно-функціональна організація опорної IP-мережі для відповідності вимогам систем IP-телефонії.

Методи дослідження. Отримані результати дослідження базуються на використанні методів і засобів системного аналізу, телеметрії, оптимізації, математичної статистики, математичного й імітаційного моделювання. Для дослідження маршрутизації голосових викликів у якості вхідних даних використовувалися докладні записи про виклики в мережах великих телекомунікаційних операторів та експертні оцінки адміністраторів VoIP мереж. Аналіз вхідних даних виконано за допомогою множинної регресії у зв'язку з необхідністю врахування значної кількості факторів, що впливають на вибір провайдера. Параметри математичної моделі оптимізовані з використанням генетичних алгоритмів, які показали найкращу збіжність.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше запропоновано метод оптимізації функціонування VoIP мережі на основі динамічного вибору маршруту голосового виклику, який, на відміну від існуючих, спирається на математичну модель розрахунку метрики для вибору провайдера за критеріями якості та вартості. Це дало змогу підвищити співвідношення якість/ціна VoIP зв'язку та рівень автоматизації VoIP мережі.

2. Вперше запропоновано узагальнену модель вибору провайдера для системи телефонного зв'язку, що дало змогу за наявності значної кількості параметрів формалізувати роботу мережі VoIP зв'язку під час вибору провайдера для вихідного дзвінка.

3. Вперше розроблено математичну модель розрахунку метрики для вибору провайдера з урахуванням вартості та параметрів якості, зокрема вперше запропонованих синтетичних параметрів, що характеризують якість зв'язку за короткий проміжок часу. Використання запропонованих параметрів якості дало змогу значно зменшити час реагування системи на деградацію рівня сервісу.

4. Розроблено нову імітаційну модель проходження голосового виклику в системі маршрутизації та білінгу VoIP, яка заснована на узагальненій моделі вибору провайдера, що дало змогу проаналізувати запропоновані розробки та оцінити їх вплив на роботу VoIP мережі без втручання в роботу мережі VoIP зв'язку існуючих операторів.

Практичне значення одержаних результатів роботи:

1. Запропоновано рекомендації та методіку побудови або реорганізації опорної IP-мережі шляхом її сегментації на логічному рівні за допомогою VLAN перед розгортанням VoIP мереж з урахуванням вимог продуктивності, безпеки й оптимізації витрат на обслуговування та адміністрування, яка дає змогу з мінімальними фінансовими витратами вирішити проблеми, пов'язані з мережевою інфраструктурою, та є передумовою для розгортання VoIP мережі з використанням запропонованого алгоритму динамічного вибору маршруту голосового виклику.

2. Розроблено удосконалений алгоритм реалізації динамічного вибору маршруту голосового виклику, який дає змогу значно зменшити необхідність втручання адміністратора в роботу VoIP мереж та перетворює статичну систему в динамічну, здатну аналізувати поведінку користувачів і, як наслідок, якість послуг провайдерів та обирати найкращого з них за заданими критеріями. Це дало змогу підвищити співвідношення якість/ціна VoIP зв'язку, а саме підвищити показники якості: ASR на 4,53% та ACD на 38,53% без істотного подорожчання хвилини розмови та втручання адміністратора.

3. Створено діючий програмний макет VoIP мережі у середовищі Matlab, який дав змогу аналізувати поведінку VoIP мережі в моменти аварій та в процесі вибору

провайдера без втручання в роботу оператора VoIP зв'язку, що, у свою чергу, дало змогу виявити й обґрунтувати необхідність використання синтетичних параметрів якості, розрахованих за короткий проміжок часу в математичній моделі розрахунку метрики для вибору провайдера.

Отримані практичні результати можуть бути використані як організаціями, які експлуатують VoIP мережі, так і організаціями, залученими в розробку, впровадження та обслуговування VoIP обладнання.

Практична цінність результатів дослідження підтверджується впровадженням розроблених рішень як в Україні, так і за кордоном. Результати дослідження використані під час виконання плану пошукової НДР (Довідка Науково-дослідного інституту прикладної електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» від 27.12.2016 р.), під час побудови VoIP мережі, а також покладені в основу написання ПЗ маршрутизації голосових викликів для софтверних таких підприємств, як SKD Kutna Hora a.s. (Certificate of the Implementation, SKD Kutna Hora a.s. від 02.03.2017 р.) – Чеська Республіка та ТОВ «Укрспецком» (Довідка ТОВ «Укрспецком» №4 від 17.11.2015 р.) – Україна. Теоретичні положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи використовувались у навчальному процесі Запорізької державної інженерної академії (Довідка Запорізької державної інженерної академії №01-28/1487 від 18.10.2016 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійною науковою працею здобувача. Особистий внесок здобувача полягає в розробці структурно-функціональної організації опорної IP-мережі та апробації методики побудови VoIP мережі; розробці методу оптимізації функціонування VoIP мережі на основі динамічного вибору маршруту голосового виклику, а також побудові й оптимізації математичної моделі розрахунку метрики для вибору провайдера; розробці алгоритму динамічного вибору маршруту голосового виклику; експериментальній перевірці отриманих результатів за допомогою побудованої імітаційної моделі маршрутизації, що використовує реальні дані CDR; практичному впровадженні отриманих результатів у промисловість. Основні ідеї та наукові результати, що виносяться на захист, висновки і рекомендації дисертації сформульовані автором особисто та висвітлені в 12 опублікованих працях.

У працях, опублікованих у співавторстві, внесок здобувача полягає в такому: [1] запропоновано структуру корпоративної системи голосового зв'язку, запропоновано використання Asterisk / SIP як основи мережі; [2] проаналізовано існуючі протоколи і технології маршрутизації голосового та IP-трафіку, сформульовані вимоги до розробки протоколу маршрутизації голосового трафіку в корпоративних IP-мережах; [3] запропонований алгоритм вибору найкращого маршруту виклику в VoIP мережах; [4] проаналізовано роботу математичної моделі вибору провайдера за допомогою імітаційного моделювання; [5] обґрунтовано вибір технології та протоколу зв'язку, описано структуру побудованої системи; [6] запропоновано шляхи вирішення проблем впровадження й експлуатації VoIP мереж за допомогою реорганізації мережі зв'язку; [7] сформульовано вимоги до алгоритму вибору найкращого маршруту, описано основні параметри алгоритму; [8] здійснено оптимізацію вагових коефіцієнтів математичної моделі вибору провайдера; [10] запропоновано підхід до динамічної маршрутизації голосових викликів в IP-мережах; [11] запропоновано програмну реалізацію імітаційної моделі маршрутизації дзвінків у системі VOIP зв'язку, змодельовано роботу існуючих і

нових технологій маршрутизації на основі однакових вихідних даних; [12] запропоновано метод оптимізації функціонування VoIP мережі.

Апробація результатів дисертації. Основні результати наукових досліджень доповідалися та обговорювалися на науково-технічних конференціях: XI Всеукраїнській науковій конференції молодих вчених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі» – 2012 (м. Київ, 2012 р.); V Міжнародній конференції молодих вчених «Електроніка 2012» (м. Київ, 2012 р.); VI Міжнародній науково-технічній конференції «Комп'ютерні системи та мережні технології» (м. Київ, 2012 р.); XII Всеукраїнській науковій конференції молодих вчених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі» (м. Київ, 2013 р.); VII Міжнародній конференції молодих вчених «Електроніка 2014» (м. Київ, 2014 р.); XIII Всеукраїнській науковій конференції молодих вчених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі» (м. Київ, 2014 р.); VIII Міжнародній конференції молодих вчених «Електроніка 2015» (м. Київ, 2015 р.); Міжнародній науково-технічній конференції IEEE «Електротехніка та комп'ютерна інженерія» / «UKRCON 2017» (м. Київ, 2017 р.); Міжнародній науково-практичній конференції IEEE «Проблеми інфокомунікацій. Наука і техніка» / PIC S&T-2018 (м. Харків, 2018 р.).

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 12 наукових праць, з них: 7 статей у наукових фахових технічних виданнях України [1–7], одна з яких – у виданні, що включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus [7], чотири [2, 3, 4, 6] перебувають у бібліографічній базі даних наукових публікацій РІНЦ та Google Scholar; 2 статті – у працях міжнародних наукових конференцій, включених до наукометричної бази IEEE Xplore Digital Library та SCOPUS [8, 12], а також 5 – тези доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях в Україні [8–12].

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків (лістинги ПЗ, акти впровадження). Загальний обсяг роботи становить 149 сторінок, з них основний текст – 107 сторінок. Список використаних джерел включає 43 найменування. Робота містить 27 рисунків і 17 таблиць і 2 додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження; сформульовано мету і завдання дослідження; визначено об'єкт і предмет, методи дослідження; вказано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів; наведено дані про впровадження результатів роботи, її апробацію.

У **першому розділі** – «Дослідження розвитку та засобів реалізації технології IP-телефонії» – проведено аналіз розвитку VoIP телефонії як частини телефонії в цілому. Основний акцент зроблено на технології сигналізації SIP. Розглянуто існуючі підходи до маршрутизації голосових викликів в IP-мережах, проаналізовано їх недоліки.

Проведений аналіз доступних протоколів маршрутизації голосових викликів, а також, як приклад із суміжної сфери, протоколів динамічної маршрутизації IP-трафіку, дав змогу сформулювати вимоги до протоколу динамічної маршрутизації викликів у VoIP. Визначено схожість протоколів маршрутизації у VoIP та IP-мережах.

З'ясовано що для протоколу BGP (Border Gateway Protocol – протокол граничного шлюзу в IP-мережах) немає відповідного рішення у VoIP. У BGP процедура вибору

найкращих маршрутів для кожного напрямку працює, виходячи з правил і критеріїв, встановлених адміністратором. Атрибути маршрутів використовуються для отримання ступеня переваги маршруту або його виключення з процесу відбору.

Для VoIP мережі до цього часу не існує аналогічного протоколу взаємодії мереж і вибору найкращого маршруту. Обґрунтовано необхідність розробки аналогічного до BGP рішення для взаємодії мереж і вибору найкращого маршруту з урахуванням специфіки VoIP зв'язку.

Виходячи з процедури вибору маршруту у BGP, обґрунтовано напрямок вдосконалення існуючих технологій маршрутизації голосових викликів – побудова та впровадження математичної моделі розрахунку метрики для вибору провайдера, що дозволить вдосконалити існуючу технологію маршрутизації голосового трафіку LCR з урахуванням не тільки вартості, але й якості зв'язку. Визначено пріоритетним об'єктом застосування удосконалень центральний елемент багатьох VoIP мереж – VoIP Softswitch (софтсвіч). Розробку нового методу визначено як шлях вирішення знайдених проблем та суперечностей. Запропоновано концепт методу оптимізації функціонування VoIP мережі. Задоволення вищезазначених вимог дасть змогу при збереженні конкурентних переваг IP-телефонії підняти якість обслуговування на вищий рівень.

У другому розділі – «**Модернізація телефонної мережі**» – аргументовано проблему зростання трафіку в корпоративних мережах та запропоновано методику оптимізації й реорганізації структурно-функціональної побудови опорної IP-мережі з урахуванням вимог продуктивності, безпеки та оптимізації витрат на обслуговування й адміністрування. Розглянуто мережі, що мають розподілену національну/міжнародну структуру та водночас – цифровий IP-сегмент і застарілий телефонний аналоговий сегмент з доступом до ТМЗК. Як приклад наведено корпоративну мережу великої української фінансово-промислової групи (ФПГ), яка працює в Україні та за кордоном, має багато офісів і прагне до централізації управління своєю ІТ-інфраструктурою.

З врахуванням зростання трафіку в корпоративних мережах обґрунтовано, що для забезпечення затримки при передачі мови від абонента до абонента в межах 250–300 мс, встановлених стандартом ITU G.114, необхідно використовувати поділ типів трафіку, що, у свою чергу, зумовлює модернізацію структурно-функціональної організації існуючої опорної TCP/IP-мережі для коректної роботи VoIP мережі.

Необхідність модернізації корпоративних телефонних рішень також зумовлена вимогами до безпеки. Розглянуто існуючі підходи до забезпечення безпеки. Обґрунтовано використання комбінації протоколів SRTP та TLS.

Також під час побудови мережі VoIP зв'язку на базі наявної IP-мережі без її реорганізації виникає серйозна проблема захисту від несанкціонованого доступу до VoIP обладнання з одночасним забезпеченням простоти впровадження та зручності адміністрування. Оскільки SIP софтсвіч не вимагає високої продуктивності апаратного забезпечення сервера, на якому працює, то за наявності вільного доступу з корпоративної мережі він може бути виведений з ладу простою DDoS атакою за допомогою внутрішньої ботнет-мережі.

Виходячи з вищесказаного, запропоновано розділити TCP/IP-мережу за допомогою VLAN на різні логічні сегменти. Наведено приклад такої реалізації. Переміщення всієї інфраструктури VoIP в окрему закриту VLAN дасть змогу максимально убезпечити обладнання VoIP і відмовитися від шифрування даних VoIP

там, де це неможливо засобами наявного обладнання. Зв'язок між віртуальними локальними мережами реалізується центральним маршрутизатором.

Для вирішення описаних вище проблем і завдань, пов'язаних з продуктивністю, безпекою VoIP мережі, а також зменшенням її вартості запропоновано методику оптимізації та реорганізації структурно-функціональної організації опорної IP-мережі для задоволення вимог VoIP:

- визначення завдання реорганізації: пріоритетний напрям змін (якість, вартість і т.д.) та наявність існуючих проблем у телекомунікаційній мережі організації;
- аналіз існуючих аналогових і цифрових сегментів телефонної мережі та IP-мережі:
 - аналіз наявного телекомунікаційного обладнання;
 - аналіз ємності та якості існуючих каналів зв'язку і можливості їх розширення;
 - аналіз обсягів існуючого голосового та IP-трафіку між сегментами мережі;
- розробка плану реорганізації мережі й поділу її на сегменти:
 - поділ мережі та об'єднання віддалених її сегментів за допомогою L2 транспорту;
 - організація захисту за допомогою SRTP/TLS при виході трафіку за межі захищеного VLAN/MPLS-сегментів;
 - організація захисту SIP-обладнання від внутрішніх і зовнішніх атак;
 - організація централізованого адміністрування SIP-обладнання;
 - організація гарантованої мінімальної ємності опорної IP-мережі для проходження голосового трафіку;
 - конфігурація центрального софтверу організації та всіх її АТС для маршрутизації дзвінків між підрозділами без виходу на ТМЗК;
- аналіз вартості впровадження запропонованого рішення, адміністрування мережі й економії на внутрішньомережевому трафіку;
- проектування кінцевого рішення;
- впровадження рішення;
- тестування й усунення несправностей.

Виділення віртуальної мережі для VoIP обладнання із загальної локальної мережі на логічному рівні дасть змогу з мінімальними фінансовими витратами вирішити проблеми, пов'язані з мережевою інфраструктурою.

Наявність телекомунікаційної мережі, побудованої відповідно до запропонованої методики, є необхідним мінімумом для використання описаного далі підходу до вибору маршруту голосового виклику, що дає змогу підвищити співвідношення якості/ціна зв'язку.

У третьому розділі – «Вихідні дані та параметри маршрутизації» – наведено узагальнену структуру корпоративної VOIP мережі (рис. 1), показано різні способи підключення внутрішніх абонентів до центрального софтверу, який і виконує вибір маршруту з доступних за цим напрямком провайдерів через зовнішні лінії зв'язку. Видно, що умовного Абонента А можна пов'язати з Абонентом Б декількома різними маршрутами, і ці маршрути можуть бути різними в плані якості та вартості, реалізовані різними технологіями підключення. Запропоновано аналогічно до розглянутих у першому розділі протоколів динамічної маршрутизації IP-трафіку розробити алгоритм

вибору маршруту на базі метрики маршрутизації голосового трафіку в VoIP мережах, яка буде характеризувати маршрут між Абонентом А й Абонентом Б з погляду якості та вартості одночасно. Нова метрика має бути розрахована на основі даних і технологій, доступних для VoIP. Визначено, що за наявності значної кількості параметрів, які враховуються під час реалізації алгоритму, доцільно побудувати узагальнену модель маршрутизації викликів (вибору провайдера), за допомогою якої можна розробити алгоритм та обрати значущі параметри, необхідні для вибору маршруту.

Запропоновано узагальнену модель вибору провайдера (рис. 2), де на вхід системи приходять простий потік викликів

$$\{X_1 \dots X_N\},$$

де N – кількість викликів на інтервалі ΔT .

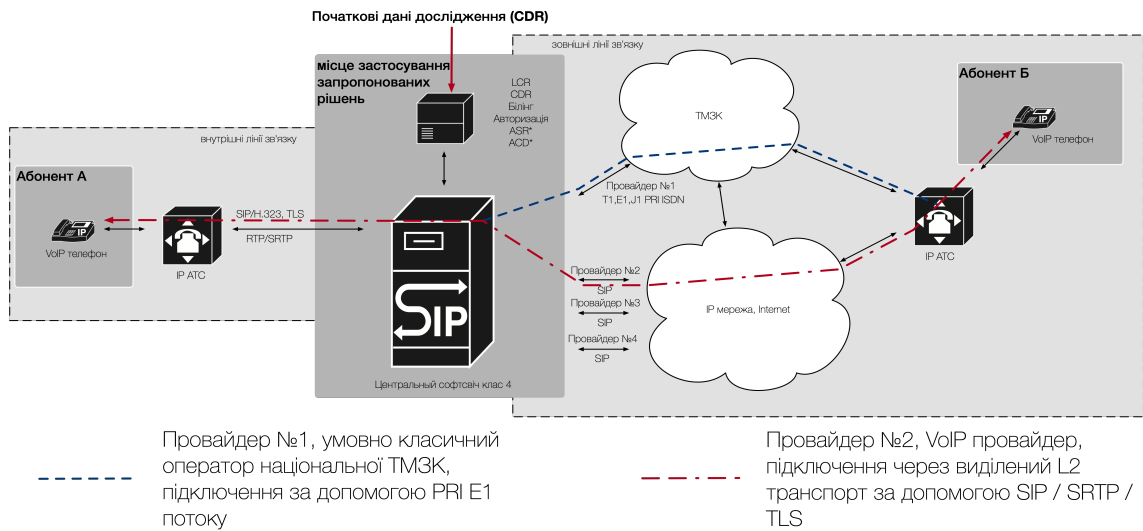


Рис. 1. Корпоративна VoIP мережа

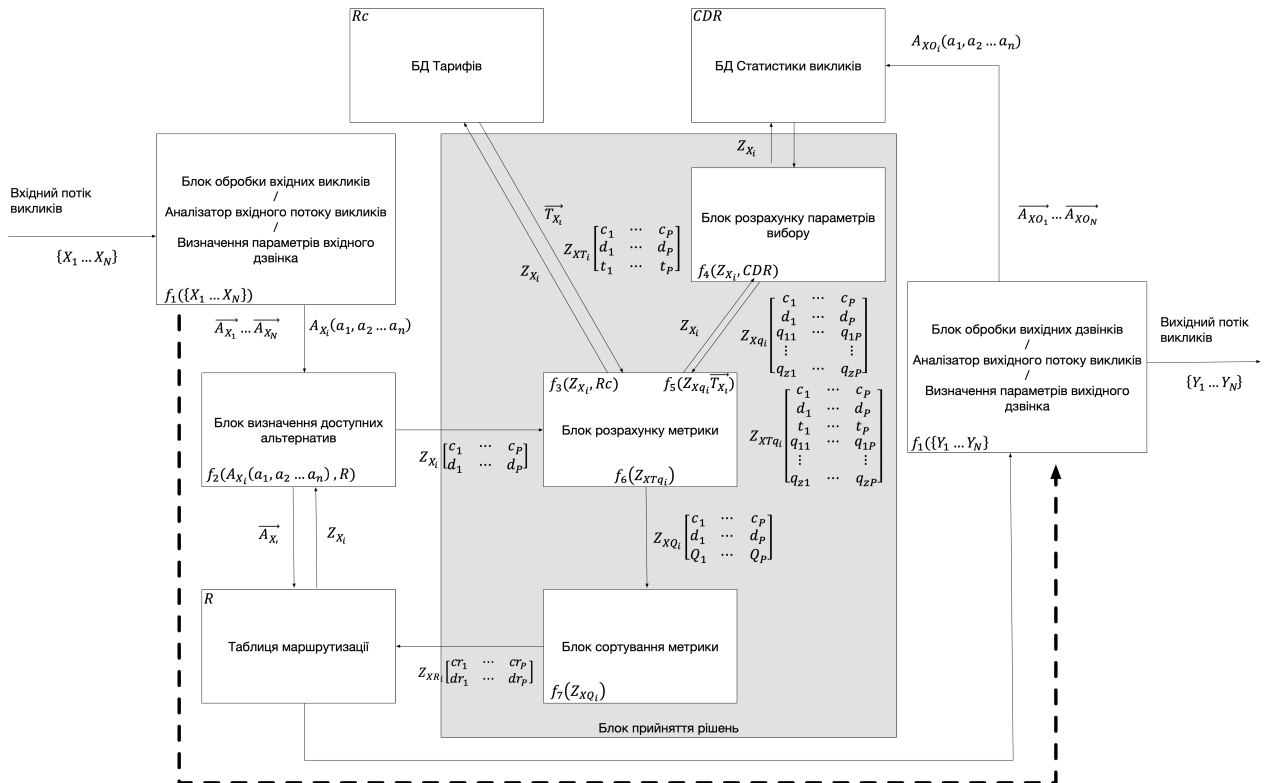


Рис. 2. Узагальнена модель вибору провайдера

Блок обробки вхідних викликів аналізує вхідний потік та формує вектор доступних для обробки параметрів вхідного виклику

$$\overrightarrow{A_{X_i}} = A_{X_i}(a_1, a_2 \dots a_n) = f_1(\{X_1 \dots X_N\}),$$

де $a_1, a_2 \dots a_n$ – параметри виклику X_i .

Блок визначення доступних альтернатив, ґрунтуючись на векторі параметрів виклику, робить вибірку доступних для цього виклику провайдерів та їх напрямків з таблиці маршрутизації, формує матрицю провайдерів і їх напрямків та передає на групу блоків прийняття рішень

$$Z_{X_i} = \begin{bmatrix} c_1 & \dots & c_P \\ d_1 & \dots & d_P \end{bmatrix} = f_2(A_{X_i}(a_1, a_2 \dots a_n), R),$$

де $c_1 \dots c_P$ – провайдери, доступні для цих параметрів виклику X_i ; P – кількість доступних провайдерів; $d_1 \dots d_P$ – напрямки у провайдерів, доступні для цих параметрів виклику X_i ; $R_{[Pa \times Da]}$ – матриця всіх напрямків і провайдерів (таблиця маршрутизації); Da – кількість усіх напрямків; Pa – кількість усіх провайдерів; Z_{X_i} – матриця доступних для виклику X_i провайдерів та їх напрямків.

Блок розрахунку метрики, ґрунтуючись на матриці провайдерів та їх напрямків Z_{X_i} , доступних для виклику X_i , отримує такі дані:

А) з бази даних тарифів Rc ; вектор тарифів $\overrightarrow{T_{X_i}}$, відповідно до матриці доступних для виклику X_i , провайдерів та їх напрямків Z_{X_i} ;

$$\overrightarrow{T_{X_i}} = T_{X_i}(t_1, t_2 \dots t_P) = f_3(Z_{X_i}, Rc),$$

де $t_1 \dots t_P$ – тарифи на напрямки у провайдерів, доступних для зазначених параметрів виклику X_i ; $Rc_{[Pa \times Da]}$ – матриця тарифів всіх напрямків і провайдерів;

Б) з бази даних статистики викликів CDR ; за допомогою блоку розрахунку параметрів вибору формується матриця параметрів, необхідних для порівняння та аналізу напрямку і провайдера перед маршрутизацією дзвінка X_i .

Об'єднавши отримані дані з матрицею Z_{X_i} , формується матриця

$$Z_{Xq_i} = \begin{bmatrix} c_1 & \dots & c_P \\ d_1 & \dots & d_P \\ q_{11} & \dots & q_{1P} \\ \vdots & & \vdots \\ q_{z1} & \dots & q_{zP} \end{bmatrix} = f_4(Z_{X_i}, CDR),$$

де $q_{11} \dots q_{zP}$ – параметри вибору напрямку та провайдера, розраховані з бази даних статистики викликів; P – кількість доступних провайдерів для виклику X_i ; z – кількість параметрів вибору; $CDR_{[Na \times Aa]}$ – матриця статистики всіх викликів; Na – кількість усіх викликів у базі даних статистики викликів; Aa – кількість усіх параметрів виклику, записаних у базі даних статистики викликів;

В) об'єднуючи дані з матриці Z_{Xq_i} з вектором відповідних тарифів $\overrightarrow{T_{X_i}}$; за допомогою блоку розрахунку метрики отримаємо матрицю Z_{XTq_i}

$$Z_{XTq_i} = \begin{bmatrix} c_1 & \dots & c_P \\ d_1 & \dots & d_P \\ t_1 & \dots & t_P \\ q_{11} & \dots & q_{1P} \\ \vdots & & \vdots \\ q_{z1} & \dots & q_{zP} \end{bmatrix} = f_5(Z_{Xq_i}, \overrightarrow{T_{X_i}}),$$

Для кожного напрямку d_i провайдера c_v , ґрунтуючись на отриманих даних, розраховується метрика Q_v та формується матриця доступних для виклику X_i провайдерів, їх напрямків і метрики.

$$Z_{XQ_i} = \begin{bmatrix} c_1 & \dots & c_P \\ d_1 & \dots & d_P \\ Q_1 & \dots & Q_P \end{bmatrix} = f_6(Z_{XTq_i}),$$

де $Q_1 \dots Q_P$ – метрика оцінки провайдера та напрямку, доступних для виклику X_i ;

Отже, метрику Q можна подати як функцію від параметрів $q_{z1} \dots q_{zv}$ та t_v . Оскільки Q – це метрика для порівняння різних провайдерів за показниками якості й вартості, нам необхідно визначити ступінь впливу зміни кожного з параметрів на зміну функції, тобто вагові коефіцієнти параметрів

$$[(\partial Q / \partial q)(\Delta q / q)],$$

де q – параметр, що впливає на вибір провайдера.

Виходячи з того, що ми шукаємо ступінь впливу зміни кожного з параметрів на зміну функції без урахування попарного і вищих порядків впливу зміни параметрів на зміну функції, то Q можна подати у вигляді розкладання в ряд Тейлора першого порядку.

У нашому випадку маємо

$$Q = Q^* + [(\partial Q / \partial t_v)(\Delta t_v / t_v)]t_v + [(\partial Q / \partial q_{z1})(\Delta q_{z1} / q_{z1})]q_{z1} + \dots + [(\partial Q / \partial q_{zv})(\Delta q_{zv} / q_{zv})]q_{zv},$$

де

Q^* – значення функції Q при номінальних значеннях параметрів; v – номер провайдера, для якого розраховується метрика Q , який змінюється від 1 до P .

Для внесення змін до таблиці маршрутизації блок сортування метрики формує матрицю провайдерів і їх напрямків, доступних для виклику X_i , відсортовану згідно з рангами метрики Q_i

$$Z_{XR_i} = \begin{bmatrix} cr_1 & \dots & cr_P \\ dr_1 & \dots & dr_P \end{bmatrix} = f_7(Z_{XQ_i}),$$

де cr_1 та dr_1 – провайдер та, відповідно, напрямок першого вибору, доступний для виклику X_i ; cr_2 та dr_2 – провайдер та, відповідно, напрямок другого вибору, доступний для виклику X_i , і так далі до P (кількість доступних провайдерів).

Таким чином, формується вихідний потік викликів

$$\{Y_1 \dots Y_N\},$$

де N – кількість оброблених викликів на інтервалі ΔT .

Блок обробки вихідних викликів аналізує вихідний потік та формує вектор, доступних для обробки параметрів вихідного виклику, та записує його у базу даних статистики викликів

$$A_{XO_i}(a_1, a_2 \dots a_n) = f_1(\{Y_1 \dots Y_N\}),$$

де $a_1, a_2 \dots a_n$ – параметри виклику X_{O_i} .

Також у розділі наведено вхідні дані для побудови математичної моделі розрахунку метрики для вибору провайдера з метою оптимізації співвідношення якість/ціна зв'язку, шляхи їх отримання й обробки.

Основою для аналізу вхідних даних служить Call Detail Record (CDR, або Call Data Record або Charging Data Records) – сервіс, що забезпечує повне журналювання

(збереження логів, службової та статистичної інформації про виклики) роботи телефонної системи. CDR-запис містить поля, значення в яких повністю описують сеанс передачі даних. У більшості випадків саме CDR використовується для розрахунку кінцевої вартості дзвінка для абонента і на підставі даних з CDR виставляються рахунки абоненту. CDR є основним інструментом для роботи операторського білінгу.

У розділі також розглянуто основні поля, необхідні для розрахунків білінгу, та наведено параметри, необхідні для порівняння й аналізу перед маршрутизацією дзвінка. Як правило, вказані параметри надаються провайдерами IP-телефонії разом з тарифними планами. Спочатку можна використовувати параметри, які надаються провайдером, але в подальшому їх краще розраховувати самостійно за кожним напрямком, виходячи із CDR.

Найбільш важливою складовою третього розділу є обґрунтування вперше запропонованих автором нових параметрів якості, які характеризують короткострокові зміни якості зв'язку.

У ході досліджень з'ясовано, що параметри ASR і ACD характеризують якість зв'язку за більш довгостроковий період часу, ніж тривалість більшості аварій, і повільно змінюються при тимчасовому порушенні якості зв'язку (наприклад, при виході з ладу апаратури провайдера). Для більшої гнучкості системи необхідно враховувати й короткострокові зміни параметрів.

Застосування для аналізу провайдерів перед самою маршрутизацією параметрів ASR, ACD і вартості, розрахованих або отриманих з CDR, дасть змогу використовувати вже існуючі і ті, що широко застосовуються в роботі цифрових VoIP мереж технології; це спростить впровадження та зменшить обчислювальне навантаження на устаткування.

Математичний апарат вибору провайдера має бути простим у реалізації, оскільки розрахунок проводиться для кожного нового дзвінка (або складаються таблиці маршрутизації при зміні параметрів розрахунку) і виконується на обчислювальних машинах обмеженої потужності (наприклад, апаратні маршрутизатори VoIP).

У четвертому розділі – «Математична модель розрахунку метрики для вибору провайдера» – розраховано й оптимізовано коефіцієнти, необхідні для побудови математичної моделі розрахунку метрики для вибору провайдера.

Найбільш простим шляхом вибору провайдера є порівняння показників вартості, як це реалізовано в LCR. Ми можемо вдосконалити маршрутизацію LCR, додавши в порівняння показники якості, наведені в розділах 1 і 3.

Якщо LCR використовує тільки показник вартості, а нам необхідно додати в порівняння показники якості, описані в попередньому розділі, тоді порівнювати необхідно гібридний коефіцієнт, метрику Q, що враховує всі необхідні параметри; її можна подати у вигляді розкладання в ряд Тейлора першого порядку, оскільки ми шукаємо ступінь впливу зміни кожного з параметрів на зміну функції, без урахування попарного й більш високих порядків впливу зміни параметрів на зміну функції.

Отже, Q матиме вигляд:

$$Q = Q^* + [(\partial Q/\partial \text{price})(\Delta \text{price}/\text{price})]\text{price} + [(\partial Q/\partial \text{ASR})(\Delta \text{ASR}/\text{ASR})]\text{ASR} + [(\partial Q/\partial \text{ASR}^*)(\Delta \text{ASR}^*/\text{ASR}^*)]\text{ASR}^* + [(\partial Q/\partial \text{ACD})(\Delta \text{ACD}/\text{ACD})]\text{ACD} + [(\partial Q/\partial \text{ACD}^*)(\Delta \text{ACD}^*/\text{ACD}^*)]\text{ACD}^*,$$

де Q^* – значення функції Q при номінальних значеннях параметрів, а значення перед параметрами, їх вагові коефіцієнти, показують ступінь відхилення функції при відносній зміні параметра.

Подамо вагові коефіцієнти параметрів у вигляді a, b, c, d , тоді Q буде мати вигляд:
 $Q = a * price + b * ASR + c * ASR * + d * ACD + e * ACD *$,
де a, b, c, d, e – вагові коефіцієнти параметрів.

Для знаходження цих вагових коефіцієнтів використовуємо регресійний аналіз. Оскільки значення Q залежить одразу від п'яти змінних, то для отримання коефіцієнтів цих змінних, скористаємося моделюванням з використанням множинної регресії.

Моделюється поведінка системи за участю адміністратора під час вибору маршруту голосового виклику, а метою моделювання є автоматизація вибору провайдера. Для регресійного аналізу експериментальні дані – це показники спостереження за об'єктом моделювання, у нашому випадку – системою голосового зв'язку. Для отримання експериментальних даних можна скористатися експертною оцінкою провайдера, здійсненою адміністратором.

Показники якості й вартості розраховані або взяті з CDR українського оператора VoIP телефонії. Значення Q середнє є вектором залежної змінної Y , а показники якості (вартість, ASR, ASR*, ACD і ACD*) є параметрами, що впливають на вибір адміністраторів, тобто матрицею змінних X .

Для оптимізації отриманих під час регресійного аналізу вагових коефіцієнтів функції розрахунку Q змодельовано вибір провайдера за різних умов. У всіх випадках результат вибору за допомогою ранжування розрахованого Q і логічного вибору адміністратора має збігатися, у такому випадку ми зможемо з упевненістю стверджувати, що вагові коефіцієнти відображають вплив описаних параметрів на вибір адміністратора правильно.

Показники якості та вартості засновані на реальних даних з CDR українського оператора VoIP телефонії, в окремих випадках дані штучно модифіковані для моделювання ситуацій погіршення або поліпшення якості на різних напрямках.

Цільовою функцією оптимізації вагових коефіцієнтів є сума абсолютних значень різниці між експертними і розрахованими значеннями рангу:

$$F(a, b, c, d, e) = \sum_{i=1}^N |Q_i - q_i|, \quad \{Q_i, q_i \in Z\}$$

де a, b, c, d, e – вагові коефіцієнти при параметрах у формулі розрахунку метрики; N – кількість доступних провайдерів за запитуваним напрямком; Q_i – ранг від 1 до P провайдера з вибірки доступних провайдерів за необхідним напрямком, визначений групою адміністраторів; q_i – ранг від 1 до N провайдера з вибірки доступних провайдерів за необхідним напрямком, розрахований за формулою.

Необхідно знайти такі значення вагових коефіцієнтів, при яких значення цільової функції буде 0 або мінімальним.

$$F \rightarrow 0$$

Змінюваними параметрами є значення вагових коефіцієнтів у формулі розрахунку Q .

Найбільш результативний, з перевірених на цій задачі, метод оптимізації – еволюційний метод, який використовує генетичні алгоритми. Значення цільової функції дорівнює нулю при таких значеннях вагових коефіцієнтів у формулі розрахунку Q :

$$Q = -50,38432924 * Price + 6,369977219 * ASR + 8,452990907 * ASR * + 0,009819983 * ACD + 0,059696346 * ACD *.$$

Отримані коефіцієнти в моделі розрахунку метрики для вибору провайдера дали змогу запропонувати алгоритм вибору маршруту, в основу якого було покладено цю модель. Принцип вибору провайдера та його порівняння з LCR зображені на рис. 3.

Однак розраховані параметри вагових коефіцієнтів дійсні тільки для описаних вище випадків та для адміністраторів, що беруть участь в експерименті, тому для підтвердження роботи моделі з цими коефіцієнтами необхідно промоделювати роботу телефонної системи та проаналізувати результат використання запропонованих рішень на практиці.

У п'ятому розділі – «Перевірка запропонованих рішень» – розроблено імітаційну модель для перевірки отриманих у четвертому розділі результатів. Запропоновано метод оптимізації функціонування VoIP мережі на основі вибору маршруту голосового виклику.

Використання імітаційної моделі, для порівняння роботи системи з використанням запропонованого алгоритму і без нього, обумовлене необхідністю забезпечити однакову вибірку запитуваних абонентом з'єднань, тобто однакові вхідні дані для роботи нашого алгоритму.

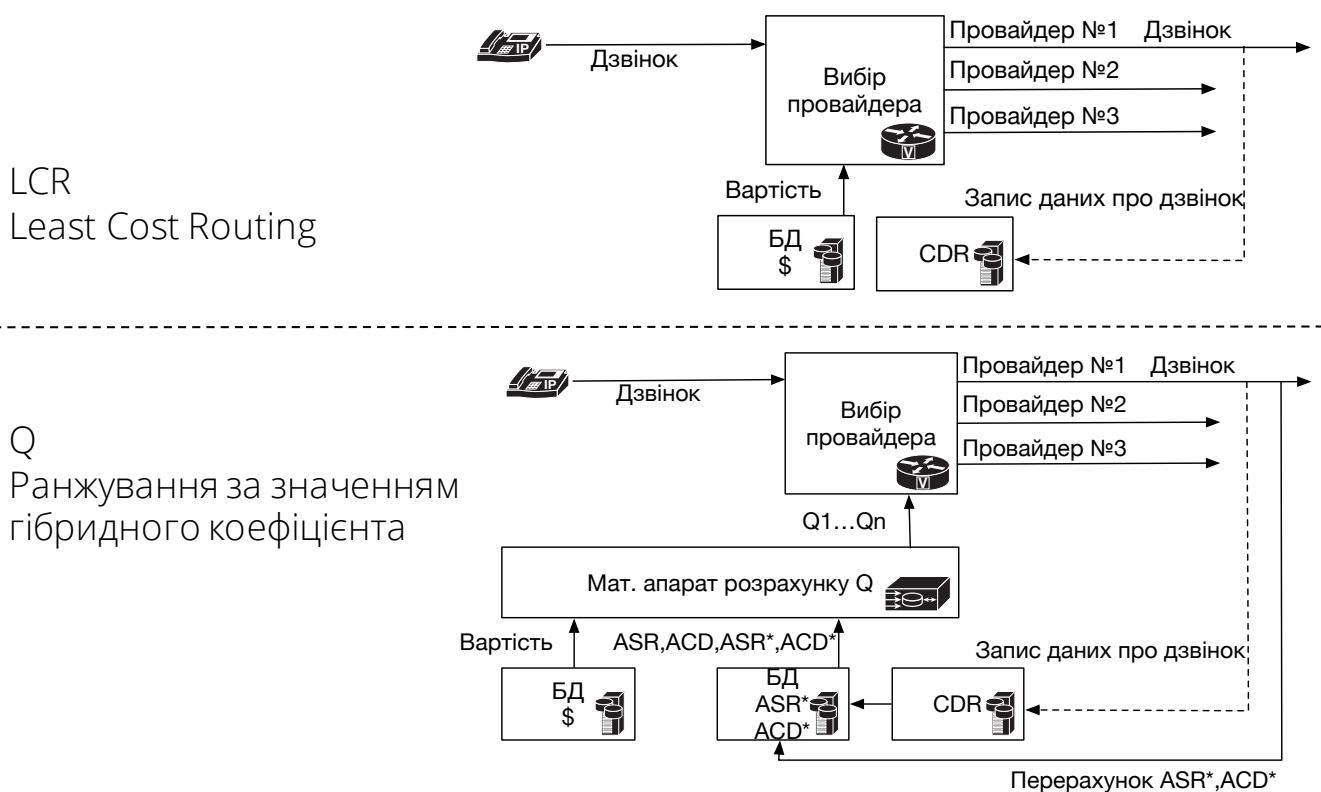


Рис. 3. Порівняння маршрутизації дзвінків за LCR і за допомогою ранжування

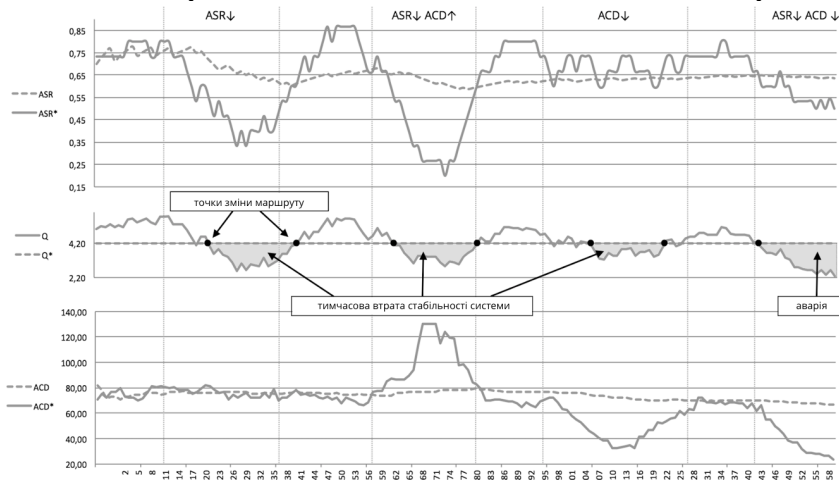
Для дослідження запропонованого алгоритму у середовищі Matlab розроблено імітаційну модель, що відображає роботу мережі VoIP зв'язку у межах компонентів білінгу та маршрутизації голосового трафіку. Вибір цього середовища зумовлений необхідністю роботи з великими матрицями.

Як вихідні дані для дослідження використовуються записи CDR по роботі з трьома найбільшими провайдерами голосового зв'язку України за один і той самий період часу, на один і той самий напрямок.

Поведінка функції Q при різних сценаріях поведінки параметрів якості проілюстрована на рис. 4; показано, як функція Q «відстежує» втрату якості (стабільності) зв'язку синхронно з падінням показників якості ASR^* , ACD^* . При цьому в результаті перерахунку рангів провайдерів стає можливою автоматична зміна маршруту без участі адміністратора. Поведінка функції Q на рис. 4 підтверджує адекватність

розробленої імітаційної моделі, точки зміни маршруту знаходяться поряд з точками значного зниження або підвищення параметрів якості.

Розроблене програмне забезпечення дало змогу змодельовати роботу системи маршрутизації та білінгу оператора телефонії як з використанням LCR, так і з використанням запропонованого алгоритму. За умови використання однакових вихідних даних результатом роботи програми є доступні для порівняння отримані після обробки тестової вибірки дзвінків значення ASR , ACD і середньої вартості хвилини дзвінка.



Як приклад роботи імітаційної моделі розглянуто VoIP мережу, що працює з трьома провайдерами, яких умовно можна позначити як дорогий, середній і дешевий. Теоретично запропонований алгоритм має обрати кращого з трьох провайдерів, незначно збільшивши витрати. Далі наведено порівняльні результати за кожним з параметрів.

Рис. 4. Робота імітаційної моделі: поведінка функції Q

Порівняння значень ASR . У результативному CDR, отриманому після моделювання роботи системи із застосуванням запропонованого алгоритму, значення ASR вище за мінімальне значення ASR на 7,82% та вище ніж змодельоване з використанням LCR на 4,53%. Значення ASR результативне нижче, ніж значення ASR максимальне (у найдорожчого провайдера) на 1,47%. Порівняння значень ASR зображено на рис. 5.

Порівняння значень ACD . Значення ACD при використанні запропонованого алгоритму перевищує як початкові значення, які отримані під час використання LCR, так і максимальні. Саме на цьому прикладі можна перекопатися в коректності роботи алгоритму, зокрема з використанням ASR^* та ACD^* . Без урахування короткострокової зміни показників якості ACD не міг би перевищити максимальне значення ACD (у найдорожчого провайдера). Порівняння значень ACD зображено на рис. 6.

Порівняння вартості хвилини розмови. Вартість хвилини трафіку в результативному CDR становить \$0,056 за хвилину розмови. Отримана вартість є вищою, ніж під час використання LCR, але значно нижчою, ніж у найдорожчого провайдера (на 13,16%), при тому, що показники якості результативного CDR є порівнянними з найдорожчим провайдером або вище(рис. 7).

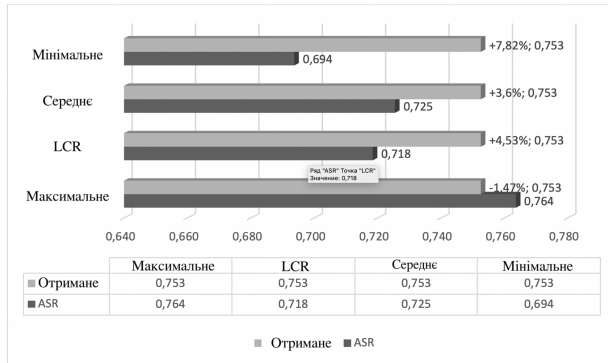


Рис. 5. Порівняння початкових і підсумкових значень ASR

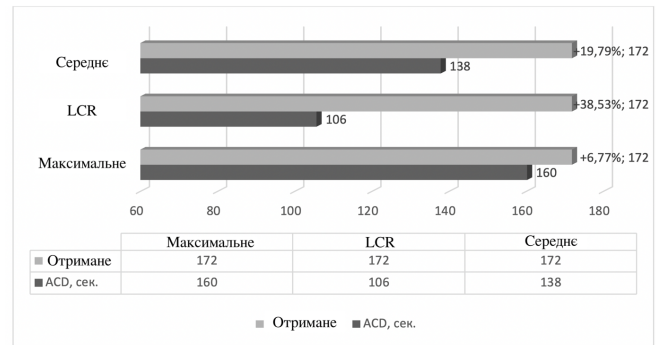


Рис. 6. Порівняння початкових і підсумкових значень ACD

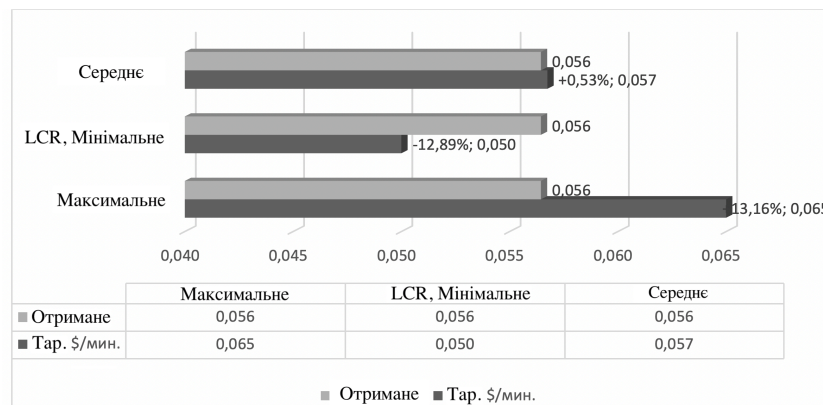


Рис. 7. Порівняння початкових і підсумкових значень вартості

Грунтуючись на отриманих у розділах 1–5 результатах, відповідно до розроблених моделей, запропоновано метод оптимізації функціонування VoIP мережі (рис. 8). Запропонований метод включає такі основні етапи та процедури: 1) перевірка вимог опорної IP-мережі; 2) визначення завдань оптимізації; 3) аналіз існуючих аналогових і цифрових сегментів телефонної мережі та IP мережі; 4) реорганізація мережі; 5) впровадження Softswitch; 6) впровадження журналювання викликів у вигляді БД CDR; 7) аналіз вихідних даних, розрахунок необхідних параметрів; первинне налаштування математичної моделі розрахунку метрики для вибору провайдера; 8) визначення коефіцієнтів перед параметрами моделі за допомогою регресійного аналізу експертних оцінок; 9) перевірка адекватності моделі, оптимізація за допомогою генетичних алгоритмів; 10) розробка алгоритму вибору провайдера; 11) аналіз отриманих результатів за допомогою математичного й програмного моделювання; 12) впровадження отриманого алгоритму.

Таким чином маємо підтвердження працездатності запропонованих моделі, методу й алгоритму вибору провайдера, який є результатом використання запропонованого методу. Його використання дає середнє зростання показників якості на 11% при вартості хвилини розмови, порівнянної з середньою. Слід відзначити, що зростання показників якості безпосередньо впливає на прибуток оператора зв'язку. Зростання показника ASR передбачає, що кількість успішних викликів стала більшою, відповідно, втраченого прибутку менше. ACD показує середню тарифіковану тривалість дзвінка, відповідно, значення в полі billsec в CDR буде більшим, і на кількість необхідних користувачеві дзвінків припадатиме більша кількість тарифікованих секунд. При

зростанні ACD на 20%, зростанні ASR на 3,6% і зростанні вартості на 0,53%, як у нашому випадку, зростання виручки оператора буде становити 18%.

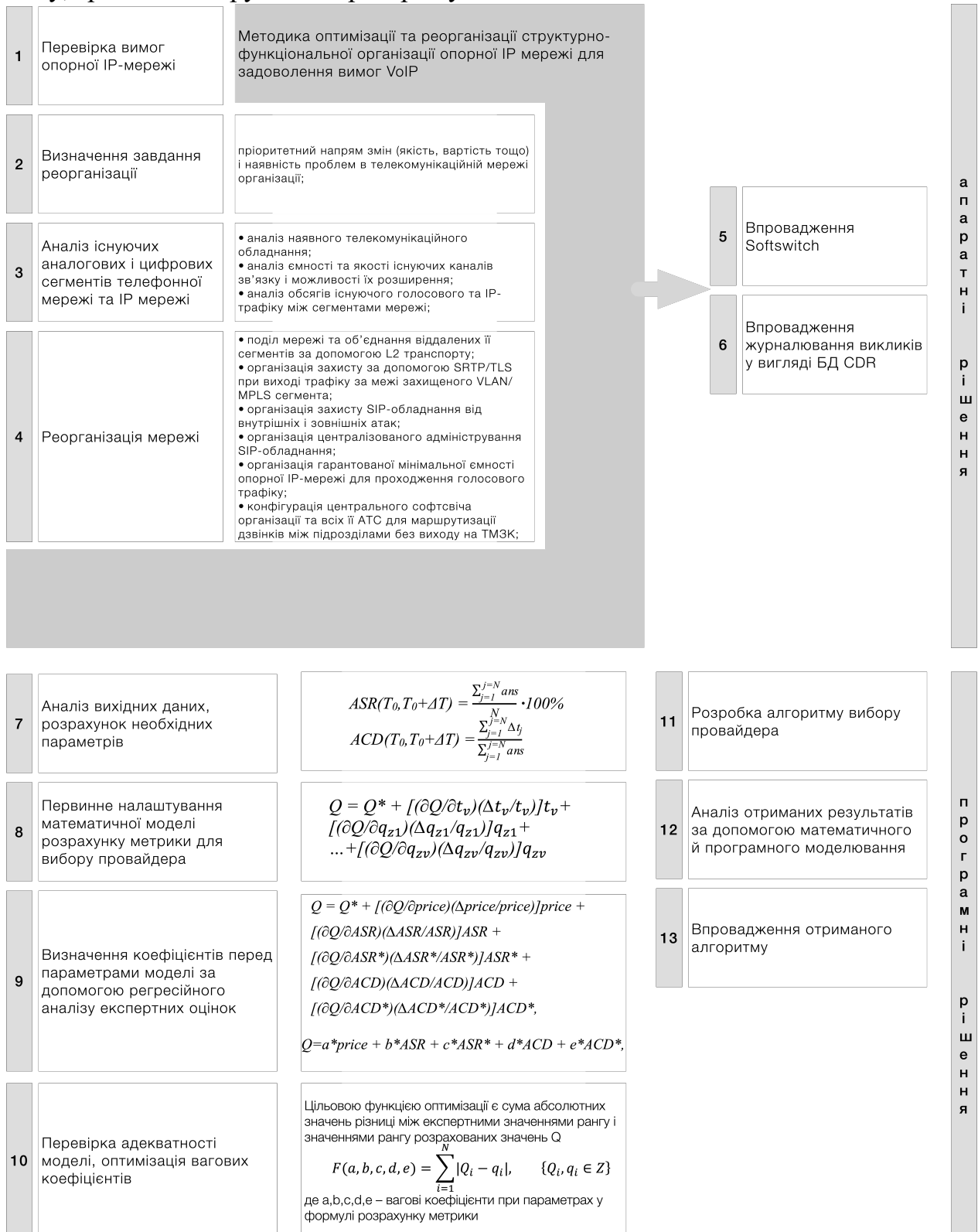


Рис. 8. Метод оптимізації функціонування VoIP мережі

ВИСНОВКИ

У роботі сформульовано й обґрунтовано основні теоретичні та практичні результати, сукупність яких становить вирішення важливого науково-прикладного завдання оптимізації функціонування VoIP мереж шляхом використання

запропонованого методу оптимізації функціонування VoIP мережі на основі динамічного вибору маршруту голосового виклику, який спирається на математичну модель розрахунку метрики для вибору провайдера за критеріями якості та вартості, що призводить до покращення співвідношення якість/ціна VoIP зв'язку та підвищення рівня автоматизації VoIP мереж. У результаті проведення дослідження отримано такі наукові й практичні результати:

1. За результатами проведеного аналізу існуючих принципів побудови VoIP мереж і технологій маршрутизації голосового та IP-трафіку встановлена необхідність вдосконалення існуючих технологій маршрутизації голосових викликів та структурно-функціональної організації опорної IP-мережі. Запропоновано концепт методу оптимізації функціонування VoIP мережі.

2. Аналіз існуючих принципів побудови VoIP мереж дав змогу запропонувати вдосконалення структурно-функціональної організації опорної IP-мережі для задоволення вимог VoIP мереж, розгорнутих на її основі. Запропоновано методику поділу існуючої VoIP мережі на віртуальні мережі за допомогою VLAN. Виділення віртуальної мережі для VoIP обладнання із загальної IP-мережі на логічному рівні дає змогу з мінімальними фінансовими витратами позбутися проблем, пов'язаних з мережевою інфраструктурою. Це рішення є простим у впровадженні й обслуговуванні.

3. Запропоновано узагальнену модель вибору провайдера. Обґрунтовано використання існуючих значущих параметрів якості (ASR, ACD) для розробки математичної моделі розрахунку метрики для вибору провайдера. У ході досліджень з'ясувалося, що параметри ASR і ACD характеризують якість зв'язку за більш довгостроковий період часу, ніж тривалість більшості аварій, і повільно змінюються при тимчасовому порушенні якості зв'язку (наприклад, під час виходу з ладу апаратури провайдера), тому вперше запропоновано використання нових синтетичних параметрів, які характеризують якість зв'язку за короткий проміжок часу. Впровадження в алгоритм динамічної маршрутизації синтетичних параметрів, які розраховані на основі ASR і ACD за короткий проміжок часу, робить систему більш гнучкою. Гнучкість системи дасть можливість зменшити витрати на адміністрування сервісу голосової IP-телефонії та поліпшити якість послуг, що надаються.

4. На основі аналізу принципів роботи VoIP мереж, аналізу протоколів маршрутизації в суміжній сфері (IP-трафік) і докладних даних про виклики запропоновано підхід до вдосконалення програмної складової VoIP системи згідно, який спирається на математичну модель розрахунку метрики для вибору провайдера за критеріями якості та вартості. Проаналізовано параметри, що впливають на вибір провайдера, оцінено їх значущість в загальному рівнянні. Здійснено перевірку вагових коефіцієнтів параметрів математичної моделі та їх оптимізацію за допомогою генетичних алгоритмів. Побудовано математичну модель розрахунку метрики для вибору провайдера та алгоритм вибору маршруту голосового виклику.

5. Перевірено ефективність запропонованих рішень. Результати роботи імітаційної моделі, розробленої для тестування та аналізу запропонованої математичної моделі, методу й алгоритму, свідчать про адекватність побудованої математичної моделі розрахунку метрики для вибору провайдера та працездатність запропонованого алгоритму вибору маршруту голосового виклику. Його використання дає середнє зростання показників якості на 11% при порівнянні із середньою вартістю хвилини

розмови. У свою чергу, зростання показників якості призводить до збільшення тарифікованого трафіку, що безпосередньо впливає на прибуток оператора зв'язку.

Одержані в дисертації нові результати знайшли застосування в навчальному процесі кафедри інформаційних технологій та економічної безпеки бізнесу на факультеті економіки та менеджменту Запорізької державної інженерної академії, використані під час виконання плану пошукової НДР, про що зазначено вище, а також під час побудови VoIP мережі, покладені в основу написання ПЗ маршрутизації голосових викликів для софтверних таких підприємств, як СКД Kutna Hora a.s. (Чеська Республіка) та ТОВ «Укрспецком» (Україна). Впровадження та використання результатів роботи підтверджено відповідними актами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Соловьев А.В., Майструк Д. В., Бондаренко В. Н. Корпоративная голосовая связь на базе ASTERISK и протокола SIP. *Проблеми інформатизації та управління* : зб. наук. пр. Київ : НАУ, 2010. Вип. 2(30). С. 172-175. (РІНЦ, Google Scholar).

Особистий внесок здобувача: запропонована структура корпоративної системи голосового зв'язку, запропоновано використання Asterisk / SIP як основи мережі

2. Соловьев А.В., Майструк Д. В., Бондаренко В. Н. Динамическая маршрутизация голосового трафика в корпоративных IP сетях. *Проблеми інформатизації та управління* : зб. наук. пр. Київ : НАУ, 2013. Вип. 2(42). С. 72-76. (РІНЦ, Google Scholar).

Особистий внесок здобувача: аналіз існуючих протоколів маршрутизації голосового та IP трафіку, обґрунтування вимог до розробки протоколу маршрутизації голосового трафіку в корпоративних IP мережах

3. Соловьев А.В., Бондаренко В. Н. Алгоритм выбора наилучшего маршрута вызова в VoIP сетях. *Проблеми інформатизації та управління* : зб. наук. пр. Київ : НАУ, 2015. Вип. 2(50). С. 102-108. (РІНЦ, Google Scholar).

Особистий внесок здобувача: розробка алгоритму вибору найкращого маршруту виклику в VoIP мережах

4. Соловьев А.В., Бондаренко В. Н. Имитационная модель маршрутизации вызовов в VoIP сетях. *Проблеми інформатизації та управління* : зб. наук. пр. Київ : НАУ, 2016. Вип. 2(54). С. 66–72. (РІНЦ, Google Scholar).

Особистий внесок здобувача: аналіз роботи математичної моделі вибору провайдера за допомогою імітаційного моделювання

5. Соловьев А.В., Бондаренко В. Н., Майструк Д. В. Побудова системи корпоративного голосового зв'язку на базі SIP. *Вісник КНУТД* : зб. наук. пр. Київ : КНУТД, 2011. Вип. 4(60). С. 17–21. (РІНЦ, Google Scholar).

Особистий внесок здобувача: обґрунтування вибору технологій та протоколів зв'язку, обґрунтування структури побудованої системи .

6. Соловьев А.В., Бондаренко В. Н. Обеспечение качества и безопасности VoIP связи путем реорганизации корпоративной TCP/IP сети. *Проблеми інформатизації та управління* : зб. наук. пр. Київ : НАУ, 2012. Вип. 4(40). С. 83–88. (РІНЦ, Google Scholar).

Особистий внесок здобувача: обґрунтування запропонованих шляхів вирішення проблем впровадження та експлуатації VoIP мереж за допомогою реорганізації мережі зв'язку

7. Соловьев А.В., Бондаренко В. Н. Выбор наилучшего маршрута вызова в VoIP сетях. *Электроника и связь* : зб. наук. пр. Київ : НТУУ «КПИ», 2014. Т. 19. Вип. 6(83). С. 126–131. (Index Copernicus).

Особистий внесок здобувача: обґрунтування застосування нових параметрів якості, розрахованих за короткий проміжок часу

8. Soloviev A., Bondarenko V. Optimization of VoIP network performance based on voice call routing and network reorganization. *2017 IEEE First Ukraine Conference on ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING Conference UKRCON 2017* : Conference proceedings, 2017, Kyiv, Ukraine – 29 May 2017. pp. 959–964. (IEEE Xplore Digital Library, SCOPUS).

Особистий внесок здобувача: оптимізація вагових коефіцієнтів математичної моделі вибору провайдера

9. Соловьев А.В. Маршрутизация голосовых вызовов в IP-сетях. *Электроника 2012*: матеріали V Міжнародної конференції молодих вчених. Київ : НТУУ «КПИ», 2012. С. 287–291.

10. Соловьев А.В. Усовершенствование динамической маршрутизации голосового трафика. *Электроника-2014*: матеріали VII Міжнародної конференції молодих вчених. Київ : НТУУ «КПИ», 2014. С. 191–194.

11. Соловьев А.В. Моделирование маршрутизации голосовых вызовов в VoIP системе. *Электроника-2015*: матеріали VIII Міжнародної конференції молодих вчених» Київ : НТУУ «КПИ», 2015. С. 262–266.

12. Soloviev A., Bondarenko V. Method of VoIP Network Performance Optimizing. *2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*: Conference proceedings, 2018, Kharkiv, Ukraine – 9-12 Oct 2017. pp. 513–519. (IEEE Xplore Digital Library, SCOPUS).

Особистий внесок здобувача: розробка нового методу оптимізації функціонування VoIP мережі.

АНОТАЦІЯ

Соловйов О.В. Метод оптимізації функціонування VoIP мережі на основі вибору маршруту голосового виклику. - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України, м. Київ, 2020.

У дисертаційній роботі сформульовано й обґрунтовано основні теоретичні та практичні результати, що становлять вирішення важливого науково-практичного завдання оптимізації функціонування VoIP мережі за рахунок удосконалення технологій динамічної маршрутизації голосових викликів та структурно-функціональної організації опорної IP мережі, що приводить до покращення співвідношення якості/ціна VoIP зв'язку та збільшення рівня автоматизації VoIP системи.

Ґрунтуючись на аналізі існуючих принципів побудови VoIP мереж, запропоновано удосконалення структурно-функціональної організації опорної IP-мережі для задоволення вимог VoIP мереж, розгорнутих на її основі. Побудовано математичну модель розрахунку метрики для вибору провайдера з урахуванням параметрів вартості та якості, як існуючих, так і вперше запропонованих синтетичних параметрів, які характеризують якість зв'язку за короткий проміжок часу. На основі запропонованої

узагальненої моделі вибору провайдера розроблено алгоритм реалізації вдосконаленої технології маршрутизації голосових викликів.

Розроблено імітаційну модель проходження голосового виклику в системі маршрутизації та білінгу VoIP, що дало змогу проаналізувати отримані теоретичні результати та оцінити їх вплив на роботу VoIP системи без втручання в роботу системи зв'язку існуючих операторів. Отримані теоретичні результати експериментально підтверджені відповідними вимірюваннями показників якості.

На основі виконаних досліджень сформовано практичні рекомендації щодо втілення отриманих результатів при розробці та експлуатації VoIP рішень, що базуються на запропонованому методі оптимізації функціонування VoIP мережі на основі вибору маршруту голосового виклику.

Ключові слова: VoIP, провайдер IP-телефонії, маршрут голосового виклику, регресійний аналіз, математичне моделювання.

АННОТАЦИЯ

Соловьев А.В. Метод оптимизации функционирования VoIP сети на основе выбора маршрута голосового вызова. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» Министерства образования и науки Украины, г. Киев, 2020.

В диссертационной работе сформулированы и обоснованы основные теоретические и практические результаты, представляющие решение важной научно-прикладной задачи оптимизации функционирования VoIP систем путем совершенствования технологий динамической маршрутизации голосовых вызовов и структурно-функциональной организации опорной IP-сети, что приводит к улучшению соотношения качество/цена VoIP связи и увеличению уровня автоматизации VoIP системы. Предлагается усовершенствование структурно-функциональной организации опорной IP-сети для удовлетворения требований VoIP сетей, развернутых на ее основе.

Построена математическая модель расчета метрики для выбора провайдера с учетом параметров стоимости и качества, как существующих, так и впервые предложенных синтетических параметров, характеризующих качество связи за короткий промежуток времени. На основе обобщенной модели выбора провайдера разработан алгоритм реализации усовершенствованной технологии маршрутизации голосовых вызовов.

Разработана имитационная модель прохождения голосового вызова в системе маршрутизации и биллинга VoIP, что позволило проанализировать полученные теоретические результаты и оценить их влияние на работу VoIP. Полученные теоретические результаты экспериментально подтверждены соответствующими измерениями показателей качества. На основе выполненных исследований разработаны практические рекомендации по воплощению полученных результатов в практику разработки и эксплуатации VoIP решений, которые базируются на предложенном методе оптимизации функционирования VoIP сети на основе выбора маршрута голосового вызова.

Ключевые слова: VoIP, провайдер IP-телефонии, маршрут голосового вызова, регрессионный анализ, математическое моделирование.

SUMMARY

Soloviov O.V. Method of VoIP network performance optimizing based on the choice of the voice call route. – Manuscript.

Thesis for the academic degree of the candidate of technical sciences in speciality 05.12.02 - telecommunication systems and networks. – National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2020.

The booming VoIP market has led to increased competition in the market for these services and the emergence of more VoIP service providers that provide access to the same directions, but with different tariffs and different quality of service.

At the same time, modern common and freeware voice traffic routing technologies in VoIP networks are not able to choose the route of voice call, considering the cost and quality of services of different available providers for the requested call direction at real-time.

Thus, there is a conflict between the needs of VoIP network operators to maximize the effective use of the available variety of VoIP service providers (to provide their subscribers with quality services at a minimum cost and to increase the level of stability of their own network and to eliminate impact of degradation of service providers) and the actual capabilities of existing voice call routing technologies and methods in VoIP networks.

Thus, the problem solved in this work is the lack of sufficient level of automation of routing voice VoIP calls that take into account not only the factors of cost or quality, but also their ratio, and the development of a method of VoIP network performance optimizing based on the choice of the voice call route.

The main theoretical and practical results have been formulated and substantiated in this thesis, that represent the solution of an important scientific and practical problem of optimization the operation of VoIP systems by improving the technologies of dynamic routing of voice calls and the structural and functional organization of the core IP network, which leads to an improvement in the quality/cost ratio of VoIP communications and increase the level of automation of the VoIP system.

Based on the analysis of the existing principles of building VoIP networks, it is proposed to improve the structural and functional organization of the core IP network to meet the requirements of VoIP networks deployed on its basis.

A mathematical model for calculating of the metric for choosing of the provider is developed, taking into account the cost and quality parameters, both existing and for the first time proposed synthetic parameters that characterize the quality of communication in a short period. An algorithm for implementing an advanced technology for routing voice calls has been developed based on the generalized provider selection model.

An imitation model of the voice calls in the VoIP routing and billing system has been developed, which allowed to analyze the obtained theoretical results and evaluate their impact on the VoIP system without interfering the operation of the communication system of existing operators. The obtained theoretical results are experimentally confirmed by the corresponding measurements of the quality indicators.

Based on the research, practical recommendations have been developed to implement obtained results into the practice of development and operating of VoIP solutions, which based on a proposed Method of VoIP network performance optimizing.

Key words: VoIP, IP-telephony provider, voice call routing, regression analysis, math modeling.