

Голові спеціалізованої вченої ради  
Д 26.062.19  
Національного авіаційного університету  
доктору технічних наук, професору  
Козловському В.В.

-----  
03680, м. Київ, пр-т. Любомира Гузара, 1.

## **ВІДГУК**

### **офіційного опонента**

доктора технічних наук, професора  
ХЛАПОНІНА Юрія Івановича на дисертаційну роботу  
Соловйова Олександра Віталійовича на тему “Метод оптимізації  
функціонування VoIP мережі на основі вибору маршруту  
голосового виклику”, представлену на здобуття наукового  
ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

### **Актуальність теми дисертації.**

Розвиток сучасних інформаційних технологій в телекомунікаціях відкриває перед провайдерами та операторами зв'язку величезні можливості для розвитку і перспективного зростання, пропонуючи клієнтам не тільки нові послуги, а й прийнятні ціни до них. Такий розвиток привів до появи великої кількості різноманітних провайдерів VoIP зв'язку, які конкурують між собою вартістю хвилини розмови, та безумовно якістю зв'язку. Згідно багатьох досліджень (наприклад Global Market Insights Inc. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/voice-over-internet-protocol-voip-market>), обсяг ринку VoIP, як і кількість пропозицій на цьому ринку буде і надалі стрімко зростати. Слід зазначити, що лівова частина трафіку VoIP обслуговується новітніми АТС та системами корпоративного VoIP зв'язку на основі софтверів. Це обладнання здатне використовувати програмовані технології перерозподілу трафіку, але на сьогодні ці технології не достатньо розвинені та не дозволяють у повній мірі використовувати переваги легкого доступу до великої кількості провайдерів VoIP телефонії. Через відсутність

№ 008 10/2020  
Big 23.10.2020

таких технологій, більшість організацій, що використовують такі софтверні рішення надають перевагу статичній маршрутизації голосового трафіку. При цьому, сучасний рівень розвитку обладнання для маршрутизації VoIP трафіку дозволяє впровадити нову технологію маршрутизації голосового трафіку без суттєвого оновлення апаратної частини такого обладнання, або взагалі тільки оновлення програмного забезпечення.

Актуальність удосконалення технології динамічної маршрутизації голосових викликів замовлена різницею у цінах на базові послуги VoIP телефонії однакової якості, що на практиці досягає 40%. А з урахуванням можливості отримання від провайдерів різного роду преференцій та знижок ця цифра може суттєво підвищитися. Отже, шляхом відповідної організації корпоративної телефонної мережі та відповідного програмування софтверних існує можливість домогтися того, щоб кожен телефонний дзвінок у ТмЗК коштував для організації, експлуатуючої систему VoIP зв'язку, вдвічі дешевше у порівнянні із теперішньою організацією телефонного зв'язку.

Відтак, розробка Методу оптимізації функціонування VoIP мережі на основі вибору маршруту голосового виклику для оновлення наявного апаратного забезпечення систем VoIP зв'язку видається актуальним і перспективним.

Процес розроблення Методу оптимізації функціонування VoIP мережі на основі вибору маршруту голосового виклику пов'язаний з наступним: аналіз існуючих принципів побудови VoIP мереж і технологій маршрутизації голосового та IP-трафіку; удосконалення структурно-функціональної організації опорної IP-мережі для задоволення вимог VoIP; побудова узагальненої моделі роботи VoIP мережі під час вибору провайдера; удосконалення технології динамічної маршрутизації голосових викликів; імітаційне моделювання.

Виконання даної дисертаційної роботи дозволить розробити сучасний, придатний до використання операторами VoIP систем Метод оптимізації функціонування VoIP мережі на основі вибору маршруту голосового виклику,



який дозволить автоматизувати вибір маршруту проходження голосових VoIP викликів, враховуючи не тільки фактори вартості або якості, а й їх співвідношення. Вищезгадані завдання, які вирішувались в даній дисертаційній роботі, обумовлюють її актуальність.

Наукова робота за темою дисертації відповідає тематиці науково-дослідних робіт Науково-дослідного інституту прикладної електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» згідно із Законом України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки». 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».

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації,** характеризується аналізом та докладним порівнянням сучасних доступних протоколів маршрутизації голосових викликів, а також, як приклад із суміжної сфери, протоколів динамічної маршрутизації IP-трафіку, наявних проблем технологій маршрутизації голосового трафіку та можливостей синергетичного розвитку та доповнення протоколів маршрутизації голосового та IP трафіку, компетентним визначенням наявних науково-практичних задач та обумовлюється коректністю здійснених у дисертаційній роботі теоретичних досліджень.

Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків і додатків, загальним обсягом у 149 сторінок.

У вступі автором обґрунтована: актуальність проблеми; означені мета, задачі, об'єкт та предмет досліджень; розглянута суперечність між потребами операторів VoIP мереж у максимально ефективному використанні доступного різноманіття провайдерів VoIP послуг та фактичними можливостями існуючих технологій маршрутизації голосових викликів у VoIP мережах, визначена

наукова новизна та практична значимість результатів роботи, наведені дані про їх впровадження.

У першому розділі автором було проведено аналіз розвитку VoIP телефонії, зокрема 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. Автор вдало використав аналіз протоколів динамічної маршрутизації IP трафіку для визначення можливості застосування аналогічних підходів до маршрутизації голосових викликів з урахуванням специфіки VoIP зв'язку.

Автором було встановлено, що для протоколу динамічної маршрутизації IP трафіку BGP немає схожого 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. Автор запропонував використати переваги протоколу BGP при розробці аналогічної технології, але для маршрутизації голосових викликів, а не пакетного трафіку. Основою для нової технології маршрутизації автором визначено математичну модель розрахунку метрики, за якою буде порівнюватись різні маршрути проходження голосового виклику.

За результатами вищесказаного, автором запропоновано концепт Методу оптимізації функціонування VoIP мережі на основі вибору маршруту голосового виклику, багатокритеріальність якого передбачає оптимізацію як програмної, так і апаратної складових VoIP системи. У висновках до розділу коректно здійснена постановка задачі дослідження, що спрямована на підвищення ефективності систем VoIP зв'язку шляхом удосконалення існуючих технологій динамічної маршрутизації голосових викликів й удосконалення структурно-функціональної організації опорної IP мережі.



У другому розділі 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 залежність задоволення користувачів якістю зв'язку від затримки, що зростають разом з трафіком, генерованим користувачами мережі. Автором дуже докладно розглянуто та проаналізовано технології підвищення безпеки VoIP зв'язку на базі SIP, протоколи шифрування медіа потоку та сигналізації.

Автором наведено приклад модернізації корпоративної мережі великої української фінансово-промислової групи, що має багато офісів і прагне до централізації управління своєю IT-інфраструктурою. Базуючись на цьому прикладі, автор запропонував методику оптимізації та реорганізації структурно-функціональної організації опорної IP-мережі для задоволення вимог VoIP. Основою запропонованої методики є поділ опорної IP мережі на логічні сегменти. Автором зазначено, що телекомунікаційна мережа, побудована 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.

Третій розділ присвячений ґрунтовному аналізу вхідних даних для побудови математичної моделі розрахунку метрики вибору провайдера, опису узагальненої моделі вибору провайдера, яка є базою для розробки алгоритму та знаходження значущих параметрів, необхідних для вибору маршруту.

Автором запропоновано у якості первинних вхідних даних використовувати CDR дані, метадані що описують сеанси зв'язку. Цей вибір обґрунтований, так як системи обробки та зберігання CDR є широкоживаними у комерційному операторському обладнанні VoIP. У третьому розділі також розглянуто основні поля CDR, необхідні для розрахунків метрики, та наведено параметри, необхідні для порівняння й аналізу перед маршрутизацією дзвінка.

Використання для аналізу маршрутів перед самою маршрутизацією параметрів ASR, ACD та вартість розрахованих або отриманих з CDR дасть змогу використовувати технології, які вже існують і широко застосовуються в роботі цифрових VoIP систем, що спростить впровадження і зменшить обчислювальне навантаження на устаткування.

Автором запропоновано використання синтетичних параметрів якості, які використовують наявні способи суб'єктивного оцінювання якості VoIP зв'язку за допомогою розрахунку ASR та ACD за короткий проміжок часу. Автором обґрунтовано використання цих параметрів якості та показано, що кількість неякісних дзвінків або тих, що не відбулися, значно зменшується, тим самим зменшуючи фінансові та репутаційні втрати провайдера. Також автор дуже ретельно описує особливості використання нових параметрів якості для автоматизації роботи системи VoIP зв'язку.

У четвертому розділі розраховано й оптимізовано коефіцієнти, необхідні для побудови математичної моделі розрахунку метрики для вибору провайдера.

Автор запропонував визначити метрику вибору провайдера за допомогою розкладання в ряд Тейлора першого порядку, оскільки визначається ступінь впливу зміни кожного з параметрів на зміну функції, без урахування попарного й більш високих порядків впливу зміни параметрів на зміну функції. Для визначення супіні впливу кожного параметра на метрику автор використовує моделюванням з використанням множинної регресії де вхідними даними є експертні оцінки. Такий підхід обґрунтовується тим, що моделюється поведінка системи за участю адміністратора під час вибору маршруту голосового виклику, а метою моделювання є автоматизація вибору провайдера. Для оптимізації отриманих під час регресійного аналізу вагових коефіцієнтів функції розрахунку  $Q$  змодельовано вибір провайдера за різних умов. Цільовою функцією оптимізації вагових коефіцієнтів є сума абсолютних значень різниці між експертними і розрахованими значеннями рангу. Оптимізація коефіцієнтів проведена успішно, цільова функція дорівнює нулю при знайдених коефіцієнтах у всіх випадках.



Автором зауважено, що розраховані параметри вагових коефіцієнтів дійсні тільки для описаних вище випадків та для адміністраторів, що беруть участь в експерименті. Це зауваження є важливим, так як дає зрозуміти, що автор розробляє універсальний метод, який може бути використаний з різними вхідними даними та різними цілями оптимізації функціонування VoIP мережі, будь то пріоритет у зменшенні вартості, покращенні якості або автоматизації роботи адміністратора.

Також у розділі запропоновано алгоритм вибору маршруту, що ґрунтується на отриманих коефіцієнтах та моделі розрахунку метрики.

П'ятий розділ роботи присвячений перевірці запропонованих рішень.

Для дослідження пропонованого алгоритму автором було розроблено програмне забезпечення на мові Matlab. Вибір цієї мови обґрунтований необхідністю роботи з великими матрицями. Автором вдало аргументовано вибір імітаційного моделювання для перевірки запропонованих рішень. Автор вказує на неможливість гарантувати однаковий вхідний потік викликів на працюючу систему маршрутизації з використанням запропонованих вдосконалень та без них, що не дозволяє оцінити вплив запропонованих рішень на роботу системи.

Як вхідні дані для роботи своєї імітаційної моделі автор використовує записи CDR щодо роботи з трьома найбільшими операторами голосового зв'язку України за один і той самий період часу та на один і той самий напрямок. Дуже важливо, що вхідні дані не є синтетично змодельованими а зібрані з справжньої системи VoIP зв'язку та згенеровано справжніми користувачами.

Розроблене програмне забезпечення дало змогу змоделювати роботу системи маршрутизації та білінгу оператора телефонії як з використанням LCR, так і з використанням запропонованого алгоритму. Поведінка функції Q при різних сценаріях поведінки параметрів якості підтверджує адекватність моделі, автором проілюстровано як функція Q «відстежує» втрату якості (стабільності) зв'язку синхронно з падінням показників якості ASR\*, ACD\*. Аналіз

розрахованої метрики в реальному часі дозволяє автоматизувати зміну маршруту без участі адміністратора, що є вагомим здобутком. Імітаційне моделювання довело корисність запропонованих рішень, їх використання дає середнє зростання показників якості на 11% при порівнянні із середньою вартістю хвилини розмови.

Грунтуючись на отриманих у розділах 1–5 результатах, відповідно до розроблених моделей, автором запропоновано метод оптимізації функціонування VoIP мережі. Метод, згідно заявленого у першому розділі концепту, поділяється на дві групи етапів: апаратні рішення, необхідні для впровадження програмних рішень та програмні рішення, що ґрунтуються на моделі розрахунку метрики для вибору провайдера. У запропонованому автором методі зібрані всі кроки, необхідні адміністратору для оптимізації функціонування VoIP мережі, всі ці кроки розглянуто докладно раніше у розділах 2-5.

**Достовірність і новизна отриманих результатів, наукових положень, висновків та рекомендацій.** Висновки та результати дисертації викладені змістовно, в логічній послідовності, у відповідності зі структурою задач, поставлених і вирішених у дисертаційній роботі. Достовірність отриманих результатів, наукових положень підтверджена результатами імітаційного моделювання на середовищі Matlab.

Наукова новизна дисертаційної роботи Соловйова О.В. полягає в наступному:

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.

**Практична цінність роботи.** Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що вони дозволяють: значно зменшити необхідність втручання адміністратора в процес роботи обладнання VoIP мережі; автоматизувати вибір маршруту слідування голосового виклику, враховуючи параметри, що характеризують вартість та якість; оперативно реагувати на поломки і погіршення якості послуг провайдерів, що надають послуги телефонії, без втручання адміністратора; знизити вартість розгортання, обслуговування та адміністрування VoIP систем; підвищити безпеку VoIP систем.

Загальна практична цінність дисертаційної роботи полягає в наступному:

1. Запропоновано рекомендації та методику 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, 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. – Чеська Республіка та ТОВ «Укрспецком» – Україна. Теоретичні положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи використовувались у навчальному процесі Запорізької державної інженерної академії.

**Повнота викладу основних результатів та висновків в опублікованих працях.** За матеріалами дисертації опубліковано 12 друкованих праць, що відображають положення дисертації, з них: 7 статей у наукових фахових технічних виданнях України, одна з яких – у виданні, що



включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus, чотири перебувають у бібліографічній базі даних наукових публікацій РИНЦ та Google Scholar; 2 статті – у працях міжнародних наукових конференцій, включених до наукометричної бази IEEE Xplore Digital Library та SCOPUS, а також 5 – тези доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях в Україні.

#### **Ідентичність змісту автореферату й основних положень дисертації.**

Зміст автореферату повністю відповідає змісту дисертаційної роботи та відображає основні положення, що виносяться на захист.

**Відповідність дисертаційної роботи спеціальності.** Дисертаційна робота Соловйова О.В. за змістом, обсягом та оформленням повністю відповідає спеціальності 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі.

#### **Зауваження до роботи.**

1. У першому розділі було розглянуто технології динамічної маршрутизації голосових викликів, але чомусь не згадано Routing Manager від AudioCodes Limited - ARM.

2. У п. 2.3 “Розгортання й адміністрування систем VoIP зв’язку”, наведено таблиці порівняння вартості розгортання «класичної» VoIP системи на базі ядра Cisco та запропонованої автором на базі ядра Samsung. На 2020 рік ці ціни та обладнання є вкрай застарілими.

3. У третьому розділі відсутнє порівняння запропонованих до використання автором параметрів якості та інших наявних, також не достатньо чітко сформульовано необхідність використання тільки цих параметрів якості зв’язку, а не таких як, наприклад, MOS.

4. Згідно діючою рекомендації ITU-T P.800, зазначеної автором у розділі 4 як обґрунтування використання експертних оцінок, немає класифікації таких оцінок, які описав автор. У рекомендації вказуються тільки оцінки якості аудіо сигналу, а не комплексної послуги VoIP.

5. У третьому розділі дисертації пункти 3.2.2.1., 3.2.2.2. мають назви ASR та ACD відповідно, що на мою думку не відповідає правилам оформлення, а сама дисертація не містить переліку скорочень.

6. В Розділі 4 вводиться метрика  $Q$ , що враховує всі необхідні параметри та подана у вигляді розкладання в ряд Тейлора першого порядку. Наведена формула 4.1. не достатньо описана, а щодо вагових коефіцієнтів  $a, b, c, d, e$  – сказано лише, що для їх знаходження слід скористатися регресійним аналізом.

### Загальні висновки

Дисертаційна робота Соловйова О.В. є завершеною працею, що виконана автором самостійно на високому науковому рівні. В роботі отримані науково обґрунтовані теоретичні та практичні результати, які є суттєвими для розвитку теорії та практики експлуатації систем VoIP зв'язку.

Дисертація відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету міністрів № 567 від 24 липня 2013 року (з останніми змінами від 07 липня 2016 року), тому її автор Соловйов Олександр Віталійович заслуговує присудження вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент

завідувач кафедри кібербезпеки та комп'ютерної інженерії  
Київського національного університету будівництва і архітектури  
доктор технічних наук, професор



Ю.І. ХЛАПОНІН

Підпис завідувача кафедри кібербезпеки та комп'ютерної інженерії  
Київського національного університету будівництва і архітектури  
доктора технічних наук, професора ХЛАПОНІНА Ю.І. засвідчую

Проректор з наукової роботи

Київського національного університету будівництва і архітектури  
доктор технічних наук, професор




В.О. ПЛОСКИЙ