

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна праця
на правах рукопису

СОЛОВЙОВ ОЛЕКСАНДР ВІТАЛІЙОВИЧ

УДК 621.395.34

ДИСЕРТАЦІЯ
МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ VOIP МЕРЕЖІ НА
ОСНОВІ ВИБОРУ МАРШРУТУ ГОЛОСОВОГО ВИКЛИКУ
05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



О. В. Соловйов

Науковий керівник –
канд. техн. наук, доцент Бондаренко В. Н.

Київ – 2020

АНОТАЦІЯ

Соловйов О. В. Метод оптимізації функціонування VoIP мережі на основі вибору маршруту голосового виклику. – Кваліфікаційна наукова праця 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", МОН України, Київ, 2020.

У 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 якість/ціна VoIP зв'язку та збільшення рівня автоматизації VoIP системи.

Дана робота пояснює процес розробки методу оптимізації функціонування VoIP мережі на основі вибору маршруту голосового виклику та його складових частин як у програмній площині так і у апаратній. Запропонований метод та його складові розроблені таким чином, щоб з мінімальними фінансовими витратами бути впровадженими в існуючі телефонні мережі.

Аналіз літературних джерел засвідчує, що дослідженням у галузі вдосконалення функціональності VoIP софтверів, 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.

Зростання швидкості, надійності і водночас зниження витрат на обслуговування й побудову каналів передачі разом зі зниженням вартості VoIP обладнання та «вхідного» порогу на ринок VoIP послуг призвели до зростання конкуренції на ринку цих послуг та появи більшої кількості провайдерів VoIP послуг, які надають доступ до однакових напрямків, але з різною вартістю хвилини розмови та різною якістю послуг.

При цьому сучасні загальнодоступні технології маршрутизації голосового трафіку у VoIP мережах не здатні до вибору маршруту надсилання голосового виклику в реальному часі, враховуючи вартість та якість послуг різних доступних провайдерів за запитуваним напрямком дзвінка.

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 та актуальним науково-прикладним завданням, спрямованим на вдосконалення якості обслуговування абонентів сучасних VoIP мереж. Задачі, які виникають при вирішенні цієї проблеми, зумовили напрямок досліджень дисертаційної роботи.

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. Розглянуто існуючі

підходи до забезпечення безпеки, запобігання несанкціонованого доступу до VoIP обладнання та його віддаленого адміністрування.

Обґрунтовано, що для забезпечення затримки при передачі мови від абонента до абонента в межах 250–300 мс, встановлених стандартом ІТУ 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.

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.

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. 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. 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 для вдосконалення існуючої технології маршрутизації голосового трафіку LCR з урахуванням не тільки вартості, але й якості зв'язку. Визначено пріоритетним об'єктом застосування вдосконалень центральний елемент багатьох VoIP мереж – VoIP Softswitch (софтсвіч). Розробку нового методу визначено як шлях вирішення знайдених проблем та суперечностей.

Запропоновано аналогічно до розглянутих протоколів динамічної маршрутизації IP-трафіку розробити алгоритм на базі запропонованої нової

метрики маршрутизації голосового трафіку в VoIP мережах, яка характеризує маршрут між абонентами з погляду якості та вартості одночасно.

Запропоновано узагальнену модель вибору провайдера для системи телефонного зв'язку. Обґрунтовано використання запропонованих автором нових параметрів якості, які характеризують короткострокові зміни якості зв'язку.

Розраховано й оптимізовано вагові коефіцієнти, необхідні для побудови математичної моделі розрахунку метрики для вибору провайдера.

Побудовано математичну модель розрахунку метрики для вибору провайдера з урахуванням параметрів вартості та якості, як існуючих, так і вперше запропонованих. На основі запропонованої узагальненої моделі вибору провайдера розроблено алгоритм реалізації вдосконаленої технології маршрутизації голосових викликів.

Основні наукові результати заключаються в тому, що: 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, що дало змогу підвищити співвідношення якість/ціна VoIP зв'язку та рівень автоматизації VoIP мережі; 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; 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, що дало змогу значно зменшити час реагування системи на деградацію рівня сервісу; 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 й оцінити їх вплив на роботу VoIP мережі без втручання в роботу мережі VoIP зв'язку існуючих операторів.

Отримані теоретичні результати експериментально підтверджені відповідними вимірюваннями показників якості. Експериментальні дослідження підтверджують основні положення, що виносяться на захист.

На основі виконаних досліджень розроблено практичні рекомендації щодо втілення отриманих результатів у практику розробки й експлуатації VoIP рішень, що базуються на запропонованому методі оптимізації функціонування VoIP мережі на основі вибору маршруту голосового виклику.

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 софтверів таких підприємств, як SKD Kutna Hora a.s. (Certificate of the 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.).

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

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 specialty 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 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.

This paper explains the process of developing a method of VoIP network performance optimizing based on the choice of the voice call route and its software and hardware components. The proposed method and its components are designed to be integrated into existing telephone networks with minimal financial cost.

Literature analysis shows that only a small number of works by domestic and foreign scientists refer to chosen topic such as P. Chołda, M. Kantor, A. Jajszczyk, K. Sripanidkulchai, Z. Shae, D. Saha, and V. M. Bondarenko. Since theory is far behind after practice in this field, it is impossible to find the theoretical achievements of scientists on the dynamic routing of voice calls that could be relied upon during this research.

Increased speed, reliability and, at the same time, reduced costs for the maintenance and construction of data channels, together with a decrease in the cost of VoIP equipment and the threshold price of entry to the VoIP market have 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, namely 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. This challenge is an important and relevant scientific and applied task aimed at improving the quality of service of subscribers of modern VoIP networks. Tasks that arise in solving this problem have determined the direction of research of this paper.

Networks with a distributed national / international structure and at the same time a digital IP segment and an old telephone analog segment with access to PSTN are considered. The corporate network of a large Ukrainian financial and industrial group is shown as an example. Existing approaches to security, prevention of unauthorized access and remote administration of VoIP equipment are considered.

Validated that for delays in subscriber-to-subscriber voice transmission less than 250-300 ms, as at ITU G.114 described, it is necessary to split the type of traffic that causes the modernization of the structural and functional organization of the existing TCP / IP network for the correct operation of the VoIP network.

To solve the above problems and problems related to the performance, security of the VoIP network, as well as reducing its cost, we propose a methodology of optimizing and reorganizing the structural and functional organization of the IP support network to meet the requirements of VoIP.

The existing approaches to routing of voice calls in IP networks are considered, their disadvantages are analyzed. An analysis of the available voice call routing protocols and, as an example from a related field, dynamic IP traffic routing protocols was made. The similarity of routing protocols in VoIP and IP networks was determined, and BGP (Border Gateway Protocol) was found to have no corresponding solution in VoIP. The necessity of developing a similar BGP solution for network interaction and choosing the best route based on the specifics of VoIP communication are proved.

Based on the route selection procedure in BGP, the direction of improvement of existing voice call routing technologies is declared – developing and implementation of mathematical model of metric calculation for provider selection for improvement of existing voice traffic routing technology LCR with regard to price and quality as well. The core of many VoIP networks, the VoIP Softswitch, has been identified as a priority point for improvement. The development of a new method is defined as a way of solving the problems and contradictions found.

It is proposed similarly to the considered IP routing protocols to develop an algorithm based on the proposed new voice traffic routing metric in VoIP networks, which characterizes the route between subscribers in parameters of quality and cost.

A generalized provider selection model for telephone service is proposed. The use of new quality parameters proposed by the author to characterize short-term changes in communication quality is justified.

The weighting factors needed to build a mathematical model of metric calculation for provider selection were calculated and optimized.

A mathematical model for calculating the metric for provider selection 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.

The main scientific results are that: for the first time, a method of optimizing the functioning of the VoIP network based on the dynamic choice of voice call route was proposed, which, unlike the existing ones, relies on a mathematical model of metric calculation for the provider selection by quality and cost criteria, which allowed to improve the quality / price ratio of VoIP communication and level of automation of VoIP network; for the first time, a generalized provider selection model of the phone telecommunication system was proposed, which enabled to simulate VoIP communication system when selecting an outgoing call provider considering a large number of parameters; for the first time developed a mathematical model was developed for calculating metrics to choose a provider based on cost and quality parameters, including the first time introduced synthetic parameters that characterize the quality of communication in a short period of time, which allowed significantly reduce the response time of the system to degradation of the service level; a new imitation model of voice calls transmission as a part of VoIP routing and billing system was developed, which is based on the generalized provider selection model, which allowed to analyze the proposed developments and evaluate their impact on the VoIP network without interfering with the VoIP network of the existing operators.

The obtained theoretical results are experimentally confirmed by the corresponding measurements of the quality indicators. Experimental studies confirm the main provisions of this paper which have to be proved.

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 the proposed Method of VoIP network performance optimizing.

The obtained practical results can be used by both organizations operating VoIP networks and organizations involved in VoIP equipment R&D..

The practical value of the research results is confirmed by the implementation of the developed solutions both in Ukraine and abroad. The research results were used to execute the R&D plan (Certificate of the Research Institute of Applied

Electronics of National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" ,27.12.2016), when building a VoIP network, as well as the basis for writing voice routing software for softswitches by at a companies such as CKD Kutna Hora a.s. (Certificate of the the Implementation, CKD Kutna Hora a.s.,02.03.2017) – Czech Republic and "Ukrspetskom" LLC (Certificate "Ukrspetskom" LLC №4, 17.11.2015) – Ukraine. Theoretical provisions, conclusions and recommendations of this paper were used in the educational process of Zaporizhzhya State Engineering Academy (Certificate Zaporizhzhya State Engineering Academy №01-28/1487, 18.10.2016).

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

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА 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.

Індексована у наступних наукометричних базах: ПІНЦ, 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.

Індексована у наступних наукометричних базах: ПІНЦ, 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.

Індексована у наступних наукометричних базах: PІНЦ, 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.

Індексована у наступних наукометричних базах: PІНЦ, 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.

Індексована у наступних наукометричних базах: PІНЦ, 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.

Індексована у наступних наукометричних базах: PІНЦ, 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. *Електроника и связь* : зб. наук. пр. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. Т. 19. Вип. 6(83). С. 126–131.

Індексована у наступних наукометричних базах: 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.

Індексована у наступних наукометричних базах: 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. *Електроніка 2012*: матеріали IV Міжнародної конференції молодих вчених. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. С. 287–291.

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

11. Соловьев А.В. Моделирование маршрутизации голосовых вызовов в VoIP системе. *Електроніка 2015*: матеріали VIII Міжнародної конференції молодих вчених» Київ : НТУУ «КПІ», 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.

Індексована у наступних наукометричних базах: IEEE Xplore Digital Library, SCOPUS

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

ЗМІСТ

ВСТУП	20
1. IP-ТЕЛЕФОНІЯ	30
1.1. Цифрова телефонія	30
1.2. Аналіз розвитку технології VoIP	29
1.2.1. IP-телефонія в режимі dial-up	31
1.2.2. Корпоративний ринок VoIP в 2000-х рр.	33
1.2.3. Особливості розвитку телефонії в Україні	34
1.2.3.1. Розвиток VoIP в Україні	35
1.3. Сучасні корпоративні мережі IP-телефонії	35
1.4. Стандарти IP-телефонії	38
1.4.1. Сигналізація	38
1.4.1.1. Протокол сигналізації H.323	38
1.4.1.2. Протокол сигналізації SIP	39
1.4.2. Транспортні протоколи передачі даних в VoIP	41
1.4.3. Аналіз технологій маршрутизації IP і голосового трафіку	41
1.5. Аналіз протоколів маршрутизації голосових викликів	43
1.5.1. Динамічний обмін шаблонами телефонних номерів	43
1.5.2. Динамічна маршрутизація за критерієм найменшої вартості	44
1.5.3. Динамічна маршрутизація з контролем параметрів якості зв'язку	46
1.6. Концепт методу оптимізації функціонування VoIP мережі	47
1.7. Висновки	50
2. МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕЛЕФОННОЇ МЕРЕЖІ	51
2.1. Зростання трафіку в корпоративних мережах	51
2.2. Безпека і шифрування в SIP	52

2.3. Розгортання й адміністрування систем VoIP зв'язку	54
2.4. Реорганізація корпоративної IP-мережі з урахуванням вимог VoIP	57
2.5. Висновки	61
3. ВИХІДНІ ДАНІ ТА ПАРАМЕТРИ МАРШРУТИЗАЦІЇ	62
3.1. Узагальнена модель вибору провайдера	63
3.2. Сервіс журналювання роботи телефонної мережі	67
3.2.1. Вартість хвилини розмови	73
3.2.2. Якість голосового зв'язку	74
3.2.2.1. Answer Seizure Ratio	73
3.2.2.2. Average Call Duration	76
3.2.3. Контроль якості зв'язку	77
3.2.4. Додаткові параметри	81
3.2. Висновки	81
4. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ МЕТРИКИ ДЛЯ ВИБОРУ ПРОВАЙДЕРА	83
4.1. Експериментальні дані	84
4.2. Рівняння множинної регресії	86
4.2.1. Оцінювання рівняння регресії	86
4.2.2. Матриця парних коефіцієнтів кореляції R	89
4.3. Модель регресії в стандартному масштабі	93

4.3.1. Аналіз параметрів рівняння регресії	95
4.4. Стандартизовані окремі коефіцієнти регресії	96
4.5. Порівняльне оцінювання впливу аналізованих чинників на результативну ознаку	97
4.6. Множинний коефіцієнт кореляції (індекс множинної кореляції)	98
4.7. Перевірка загальної якості рівняння множинної регресії	99
4.8. Результати розрахунку рівняння множинної регресії	100
4.9. Оптимізація отриманих параметрів і додаткові експериментальні дані	101
4.9.1. Приклад №1, близький до нормального (ідеального) розподілу показників	102
4.9.2. Приклад №2, без розрахунку показників якості за короткий проміжок часу	103
4.9.3. Приклад №3, з розрахунком показників якості за короткий проміжок часу	105
4.9.4. Приклад №4, з різною вартістю хвилини розмови	106
4.9.5. Приклад №5, з зміною показників якості	108
4.10. Оптимізація вагових коефіцієнтів	109
4.11. Розробка алгоритму вибору оптимального маршруту в VoIP мережах	111
4.11.1. Вимоги до алгоритму	114
4.11.2. Вимоги, засновані на обчислювальних ресурсах	115
4.12. Алгоритм вибору маршруту	116
4.13. Висновки	120

5. ПЕРЕВІРКА ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ	121
5.1. Моделювання маршрутизації	121
5.2. Вихідні дані	121
5.3. Програмне забезпечення для аналізу алгоритму та моделювання маршрутизації голосових викликів	125
5.3.1. Розрахунок ASR, ASR*	126
5.3.2. Розрахунок ACD, ACD*	127
5.3.3. Розрахунок гібридного коефіцієнта Q	128
5.3.4. Цикл вибору провайдера	128
5.4. Аналіз отриманих результатів	130
5.4.1. Порівняння значень ASR	130
5.4.2. Порівняння значень ACD	131
5.4.3. Порівняння значень вартості	131
5.5. Метод оптимізації функціонування VoIP мережі на основі вибору маршруту голосового виклику	132
5.6. Висновки	134
ВИСНОВКИ	135
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	138
ДОДАТОК А, АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ	144
ДОДАТОК Б, ЛІСТИНГ ПЗ	148

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АС	Автономна система, сукупність маршрутизаторів під управлінням єдиної служби технічного адміністрування
АТС	Автоматична телефонна станція
БД	База даних
ВОЛЗ	Волоконно-оптична лінія зв'язку
ЛОМ	Локальна обчислювальна мережа
МСЕ	Міжнародний союз електрозв'язку
ПЗ	Програмне забезпечення
ТМЗК	Телефонна мережа загального користування
ACD	Статистичний параметр телефонії, що показує середню тривалість виклику (англ. Average Call Duration)
ASR	Статистичний параметр, що визначає якість зв'язку в заданому напрямку через певний вузол телефонії (англ. Answer Seizure Ratio)
ATM	Асинхронний спосіб передачі даних (англ. Asynchronous Transfer Mode)
BGP	Протокол граничного шлюзу в IP-мережах (англ. Border Gateway Protocol)
CDR	База даних статистики викликів (англ. Call Data Record)
CRM	Система управління відносинами з клієнтами (англ. Customer relationship management)
DoS	Відмова в обслуговуванні (англ. Denial of Service)
IETF	Міжнародне співтовариство проектувальників, учених, мережеских операторів і провайдерів (англ. Internet Engineering Task Force)
IP	Протокол міжмережної взаємодії (англ. Internet Protocol)
ITU	Міжнародний союз електрозв'язку (англ. International Telecommunication Union)
IVR	Система голосових меню (англ. Interactive voice response)
LCR	Маршрутизація за критерієм найменшої вартості (англ. Least Cost Routing)

OSPF	Протокол динамічної маршрутизації
PBX	Автоматична телефонна станція (англ. Private Branch eXchange)
QoS	Якість обслуговування (англ. Quality of Service)
RFC	Документ що містить технічні специфікації та стандарти (англ. Request for Comments)
RIP	технологією динамічної маршрутизації (англ. Routing Information Protocol)
RSVP	Протокол резервування мережевих ресурсів (англ. Resource ReSerVation Protocol)
RTP	Протокол прикладного рівня мережі OSI (англ. Real-time Transport Protocol)
RTSP	Мережевий протокол реального часу (англ. Real Time Streaming Protocol)
SDN	Програмно-керовані мережі (англ. Software Defined Networks)
SIP	Протокол встановлення сесії (англ. Session Initiation Protocol)
SLA	Договір щодо якості обслуговування (англ. Service Level Agreement)
SRTP	Безпечний протокол передачі даних у реальному часі (англ. Secure Real-time Transport Protocol)
SS7	Набір сигнальних телефонних протоколів (Signalling System No. 7)
TCP	Протокол транспортного рівня мережі OSI (англ. Transmission Control Protocol)
TLS	Безпека транспортного рівня – криптографічні протоколи, що забезпечують захищену передачу даних між вузлами TCP/IP-мережі (англ. Transport Layer Security)
UDP	Протокол транспортного рівня мережі OSI без підтвердження та гарантії доставки (англ. User Datagram Protocol)
VLAN	Логічна («віртуальна») локальна комп'ютерна мережа (англ. Virtual Local Area Network)
VoIP	Передача голосу по протоколу IP (англ. Voice over IP)
xDSL	Сімейство технологій з використанням цифрової обробки сигналу абонентської лінії місцевої телефонної мереж (англ. Digital Subscriber Line)

ВСТУП

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 на телефонних серверах. Вкрай бажано, щоб виникнення будь-яких позаштатних або навіть штатних, але випадкових подій або ситуацій в робочому середовищі створеної віртуальної мережі знайшло відповідне відображення в таблицях маршрутизації софтверу. Завдяки такій гнучкості можна суттєво підвищити надійність і якість телефонного зв'язку порівняно з існуючими технологіями використання софтверу у корпоративних телефонних мережах. У цілому вкрай бажано для керівництва будь-якої компанії мати технічну можливість оптимізувати корпоративний телефонний зв'язок за довільно обраними критеріями з урахуванням тонкої структури як потреб її прикладних застосувань, так і умов надання їй телекомунікаційних послуг з боку провайдерів, мережі яких є доступними корпоративному телефонному серверу.

ІТ-підрозділи великих компаній, що експлуатують власну VoIP мережу, оператори IP-телефонії, департаменти досліджень і розробок (R&D) виробників VoIP обладнання та програмісти, які працюють з білінгом для вільно розповсюджуваної програмної АТС Asterisk, все частіше стикаються з необхідністю автоматизації вибору маршруту в режимі реального часу з урахуванням якості й вартості надаваних провайдерами послуг в даний момент. 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. Подібні протоколи динамічної маршрутизації викликів добре працюють усередині невеликої мережі одного провайдера з невеликою кількістю перевірених маршрутів. Вони не здатні взаємодіяти з різними мережами провайдерів IP-телефонії. При погіршенні якості зв'язку на одному з каналів ці технології не здатні автоматично перенаправляти виклики на більш якісний канал. У результаті адміністратор VoIP мережі змушений вручну змінювати маршрутизацію викликів.

Виходячи з вищесказаного, можна стверджувати, що зростання швидкості, надійності і водночас зниження витрат на обслуговування й побудову каналів передачі разом зі зниженням вартості VoIP обладнання та «вхідного» порогу на ринок VoIP послуг призвели до зростання конкуренції на ринку цих послуг та появи більшої кількості провайдерів VoIP послуг, які надають доступ до однакових напрямків, але з різною вартістю хвилини розмови та різною якістю послуг.

При цьому сучасні загальнодоступні технології маршрутизації голосового трафіку у VoIP мережах не здатні до вибору маршруту надсилання голосового виклику в реальному часі, враховуючи вартість та якість послуг різних доступних провайдерів за запитуваним напрямком дзвінка.

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

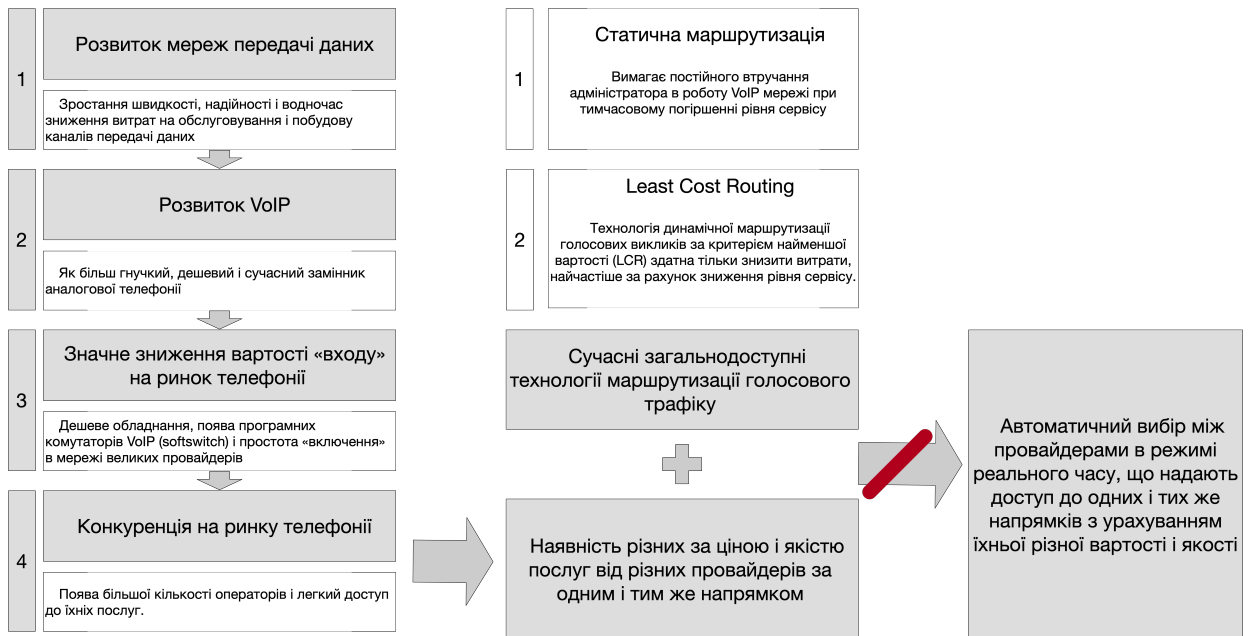


Рис. 0.1. Суперечність

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, пропонувані 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 софтверів, 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. Дисертаційну роботу 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 методичку 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. 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 роботи. Результати роботи та її основні положення доповідалися й обговорювалися на таких науково-технічних конференціях з подальшою публікацією в матеріалах конференцій:

1. XI Всеукраїнська наукова конференція молодих вчених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі» – 2012, КНУТД, м. Київ;
2. IV Міжнародна конференція молодих вчених «Електроніка 2012», НТУУ «КПІ», м. Київ;
3. VI Міжнародна науково-технічна конференція «Комп'ютерні системи та мережні технології» (CSNT-2013), НАУ, м. Київ;
4. XII Всеукраїнська наукова конференція молодих вчених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі» – 2013, КНУТД, м. Київ;
5. VII Міжнародна конференція молодих вчених «Електроніка 2014», НТУУ «КПІ», м. Київ;

6. XIII Всеукраїнська наукова конференція молодих вчених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі» – 2014, КНУТД, м. Київ;
7. VIII Міжнародна конференція молодих вчених «Електроніка 2015», НТУУ «КПІ», м. Київ;
8. Міжнародна науково-технічна конференція IEEE «Електротехніка та комп'ютерна інженерія» / «UKRCON 2017», НТУУ «КПІ», м. Київ.
9. Міжнародна науково-практична конференція IEEE «Проблеми інфокомунікацій. Наука і техніка» / PIC S&T-2018, ХНУРЕ, м. Харків.

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 152 сторінок, з них основний текст – 107 сторінок. Список використаних джерел включає 43 найменування. Робота містить 27 рисунків і 17 таблиць і 2 додатки.

1. IP-ТЕЛЕФОНІЯ

1.1. Цифрова телефонія

Для передачі аналогового голосового сигналу між двома абонентами в мережі ТМЗК (телефонні мережі загального користування) надається так званий стандартний канал тональної частоти, смуга пропускання якого становить 3100 Гц. У системі цифрової телефонії над аналоговим електричним сигналом виконуються операції дискретизації (за часом), квантування (за рівнем), кодування і усунення надмірності (стиснення), після чого сформований таким чином потік даних скеровується абоненту, що приймає, і після «прибуття» до пункту призначення піддається зворотним процедурам.

Перетворення голосового сигналу здійснюється згідно з відповідним протоколом залежно від того, з якої мережі він передається.

1.2. Аналіз розвитку технології VoIP

Концепція передавання голосу за допомогою цифрових технологій зародилася в 1993 р. в Університеті штату Іллінойс (США). Під час чергового польоту човника Endeavor у квітні 1994 р. NASA передало з нього на Землю зображення і звук за допомогою комп'ютерної програми. Отриманий сигнал надходив в Інтернет і будь-хто міг почути голоси астронавтів.

У лютому 1995 р. ізраїльська компанія VocalTec запропонувала першу версію програми InternetPhone, розроблену для власників мультимедійних РС, що працюють під операційною системою Windows. Далі створюється окрема мережа серверів InternetPhone, і вже тисячі людей можуть завантажити програму InternetPhone з домашньої сторінки VocalTec і почати спілкуватися.

Зрозуміло, що інші компанії дуже швидко оцінили перспективи, які відкривала можливість розмовляти, перебуваючи в різних півкулях і не

сплачуючи при цьому за міжнародні дзвінки. Так, у 1995 р. на ринку з'явився потік продукції, призначеної для передачі голосу через мережу Інтернет. Так зародилася IP-телефонія і VoIP у цілому.

IP-телефонія є додатком до більш загальної технології VoIP (англ. Voice over IP (VoIP)) для організації двостороннього спілкування. Технологія VoIP в загальному випадку передбачає всі варіанти передачі голосу через IP, у тому числі ті, які не мають жодного стосунку до телефонії та спілкування людей. Наприклад, технологія VoIP застосовується для передачі звуку в системах IP-відеоспостереження, у системах оповіщення, під час трансляції вебінарів, під час перегляду фільмів у режимі онлайн тощо.

У традиційній телефонії встановлення з'єднання відбувається за допомогою телефонної станції та має на меті виключно розмову. Тут голосові сигнали передаються по телефонних лініях через виділене підключення. Традиційні телефонні мережі мають надлишкову продуктивність, тоді як IP-телефонія використовує технологію стиснення голосових пакетів, що дає змогу повністю задіяти ємність телефонної лінії, наприклад, під час реалізації IP-телефонії через симетричний xDSL канал.

У разі IP-телефонії стиснені пакети даних надходять до глобальної або локальної мережі з певною адресою і передаються на основі цієї адреси. При цьому використовується вже IP-адресація. Таким чином, телефонія перейшла від дорогої комутації каналів до комутації пакетів.

Мережі з комутацією пакетів розвиваються, щорічно вводяться нові протоколи і технології, що дають змогу поліпшити якість зв'язку.

1.2.1. IP-телефонія в режимі dial-up

Ринок IP-телефонії дуже активно розвивався в кінці 1990-х та на початку 2000-х рр. Появі провайдерів IP-телефонії сприяли значно нижчі тарифи на міжнародний зв'язок порівняно з класичним телефонним міжнародним зв'язком. Ціна послуг була основною конкурентною перевагою і рушієм зростання ринку IP-телефонії.

У кінці 1990-х – на початку 2000-х рр. кількість абонентів ТМЗК перевершувала кількість абонентів швидкісного інтернету. Швидкісний доступ до інтернету був занадто дорогим для кінцевого приватного користувача; інтернет за виділеною лінією був прерогативою організацій. Більшість приватних абонентів не мала досить якісного (за критерієм втрати пакетів) і швидкого каналу інтернету для користування послугами провайдерів ІР-телефонії безпосередньо. Тому оператори ІР-телефонії надавали послуги міжнародного зв'язку за допомогою спеціальних номерів доступу, тобто останню милю до абонента забезпечувала ТМЗК за внутрішньоміськими тарифами. Спеціальні одноразові скретч-карти були засобом передоплати. На кожній карті під захисним покриттям знаходився PIN-код, за допомогою якого здійснювалася авторизація на ІР АТС провайдера і доступ до міжнародного телефонного зв'язку.

ІР АТС провайдера зв'язувалася через інтернет з такою самою ІР АТС у регіоні абонента і вже через місцеву АТС за внутрішньоміськими тарифами з'єднувала абонентів. Цей маршрут показано на рис. 1.1 товстою стрілкою під номером 2. Вартість такого дзвінка складається з вартості місцевого телефонного дзвінка, інтернет-каналу і витрат на устаткування. Найдорожча ділянка маршруту організовувалась за принципом комутації пакетів, що значно дешевше за комутацію каналів, яка використовується в ТМЗК. Вартість обладнання для надання послуг ІР-телефонії варіювалася від десятків до сотень тисяч доларів, тоді як тільки один вузол міжнародної комутації коштує десятки мільйонів доларів і для його обслуговування потрібен цілий штат співробітників.

Вартість дзвінка за «класичним» маршрутом через ТМЗК (рис. 1.1 – тонка стрілка під номером 1) складається з тарифу оператора зонового зв'язку на ініціювання, собівартості оператора дальнього зв'язку на транзит трафіку і тарифу на завершення в регіоні призначення. При такій великій кількості посередників, використанні дорогого обладнання, дорогих каналів зв'язку (для міжнародного зв'язку часто використовується супутниковий зв'язок)

оператори ТМЗК не могли конкурувати з провайдерами IP-телефонії. Це призвело до втрат прибутків провайдерів ТМЗК від послуг міжнародного телефонії, що, у свою чергу, стало потужним стимулом для великих телекомунікаційних компаній до розвитку власних VoIP рішень.

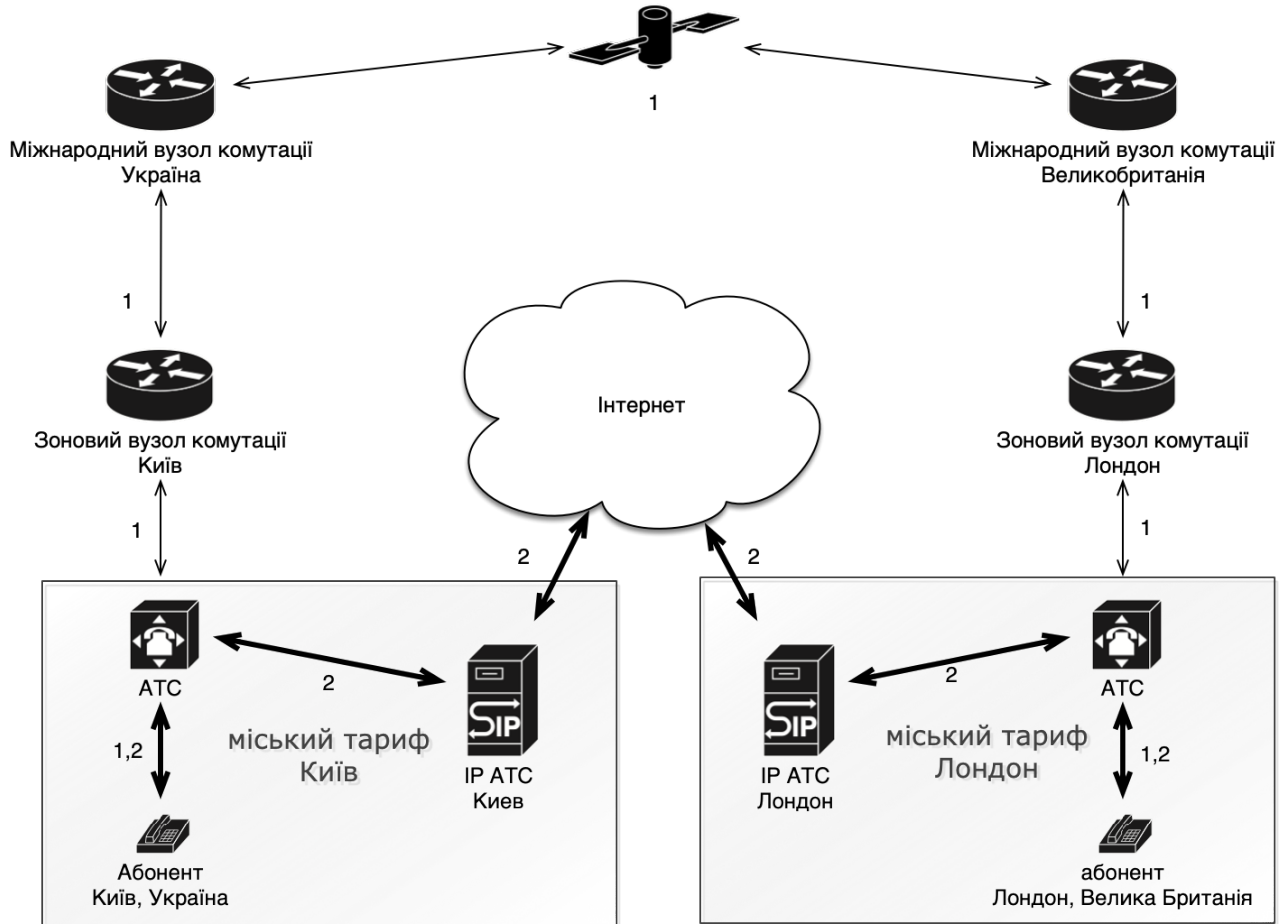


Рис. 1.1. IP-телефонія на початку 2000-х рр.

1.2.2. Корпоративний ринок VoIP в 2000-х рр.

Великі комерційні компанії та державні організації здебільшого використовували дорогі апаратні рішення, встановлені на початку 2000-х рр., від таких виробників, як Cisco, Avaya, Siemens, Panasonic, Nortel, Aastra. Телефонні комплекси більшості підприємств – це цифрові АТС з платами розширення і відповідними телефонними апаратами (як аналоговими, так і цифровими), підключені до ТМЗК аналоговими лініями зв'язку, цифровим потоком або VoIP транком.

Описані вище комплекси є надійними та пропонують своїм користувачам якісний зв'язок, однак у них є також і недоліки. Основний

недолік – висока ціна. Вартість розгортання й обслуговування таких систем теж висока. Багато затребуваних функцій (таких як голосова пошта, голосове меню (IVR), запис і деталізація дзвінків (CDR), постановка дзвінків у чергу та їх розподіл за абонентами за допомогою різних алгоритмів) доступні тільки на АТС Enterprise-класу або додатково ліцензуються.

1.2.3. Особливості розвитку телефонії в Україні

Офіційна позиція держави щодо розвитку телефонного зв'язку, зокрема зв'язку загалом на території України, описана в Законі України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» від 04.02.1998 р. №75/98-ВР. Цей документ не переглядали з 1998 р., тобто вже більше ніж 20 років.

Після здобуття Україною незалежності почався процес переходу від аналогового телефонного зв'язку до цифрового. У 1991 р. були встановлені сучасні цифрові комутатори на міжнародних каналах зв'язку (через відсутність в Україні власних міжнародних каналів зв'язку). До 1998 р. національний оператор «Укртелеком» побудував оптоволоконні лінії зв'язку з Польщею, Угорщиною, Словаччиною та іншими країнами в рамках міжнародних проєктів. У 1996 р. була відкрита міжнародна система ITUR, загальною протяжністю 3,5 тис. км. Вона проходить від Палермо (Італія) через Стамбул (Туреччина) до вузла розгалуження в Чорному морі і далі – до Одеси (Україна) і Новоросійська (Росія). У 1997 р. Україна побудувала волоконно-оптичну лінію зв'язку (далі – ВОЛЗ) Київ–Львів у рамках проєкту «ТрансАзіяЄвропа» (далі – ТАС). У 2000-х рр. активно встановлювали нові цифрові АТС та оптоволоконні міжміські транспортні канали, була побудована опорна ВОЛЗ.

До 2004 р. сумарна протяжність ВОЛЗ національного оператора зв'язку «Укртелеком» становила понад 16 тис. км. До кінця 2000-х рр. телефонія на території України практично повністю перейшла на цифрові технології зв'язку.

1.2.3.1. Розвиток VoIP в Україні

Український ринок IP-телефонії активно розвивався на початку 2000-х рр. Появі провайдерів IP-телефонії сприяли монополія на ринку та високі тарифи монополіста на міжнародний зв'язок. Провайдери IP-телефонії пропонували ціни в 5–6 разів нижчі за державні. Вартість була основною конкурентною перевагою VoIP провайдерів.

Держава, як основний власник (на той момент) компанії «Укртелеком», ввела загороджувальне ліцензування на послуги IP-телефонії, а основний оператор провідного зв'язку став блокувати номери доступу провайдерів IP-телефонії, які не отримали ліцензію. Вартість ліцензії становила близько 8 млн грн. Наступним ударом по українських провайдерах IP-телефонії стало обмеження Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації, на вартість їхніх послуг. Вартість однієї хвилини розмови за одним і тим самим напрямком не могла бути нижчою за 80% від вартості хвилини розмови в оператора традиційної телефонії. Таким чином, державний регулятор знищив масовий ринок IP-телефонії на території України, відібравши його основну конкурентну перевагу. Усе ці чинники призвели до того, що масовий споживчий ринок IP-телефонії на території України розвинутий дуже слабо.

1.3. Сучасні корпоративні мережі IP-телефонії

Відмінність сучасних корпоративних мереж IP-телефонії зумовлена повсюдним впровадженням TCP/IP-мереж і доступністю високошвидкісного підключення до інтернету як для великих корпоративних абонентів (на рис. 1.2 позначено товстими лініями), так і для приватних споживачів (на рис. 1.2 позначено тонкими лініями).

Приватні абоненти тепер можуть підключатися до провайдерів IP-телефонії безпосередньо через інтернет, використовуючи софтлини на своїх комп'ютерах або апаратні VoIP телефони. Таким чином, приватні абоненти не

прив'язані до провайдерів IP-телефонії, що мають телефонні шлюзи в регіоні абонента.

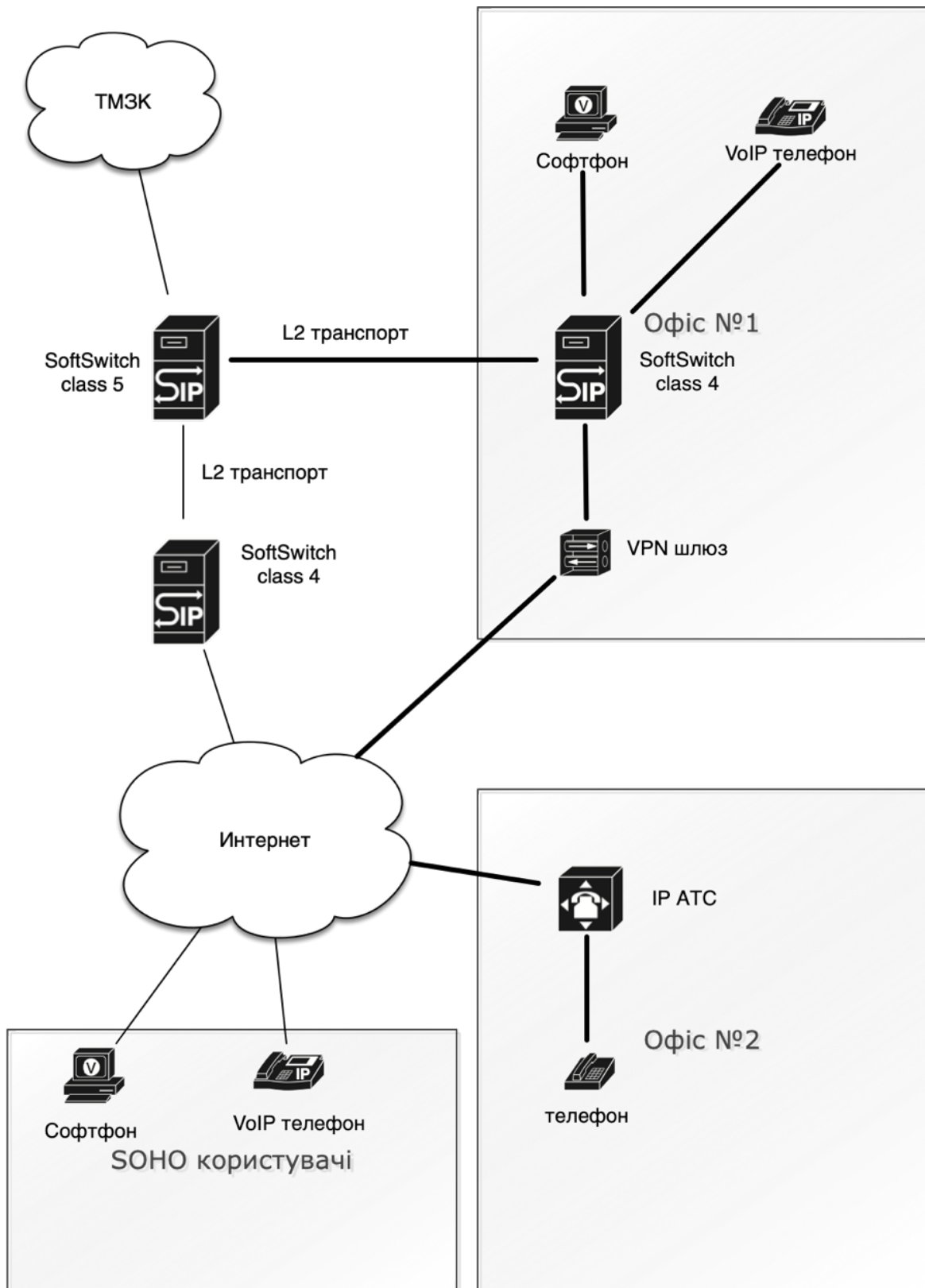


Рис. 1.2. Сучасна мережа IP-телефонії

Але найбільші переваги від розвитку VoIP отримали корпоративні клієнти з розвитком протоколу SIP та софтсвічів.

Софтсвіч – це програмний комутатор, який здатний узгоджувати різні протоколи сигналізації (наприклад, SS7 в ТМЗК та SIP або H.323 у VoIP мережах) і забезпечувати маршрутизацію виклику через одну або кілька мереж. Софтсвічі поділяють на два типи:

- Softswitch class 5, що призначений для організації транзитного центру в деяких операторських мережах. Він здійснює маршрутизацію та розподіл викликів в IP-мережах на магістральному рівні, забезпечуючи транзит і перерозподіл трафіку, одержуваного від регіональних сегментів;

- Softswitch class 4 – програмні комутатори 4-го класу, що відрізняються можливістю роботи безпосередньо з кінцевими абонентами мережі та надають їм як транспортні послуги, так і додаткові види обслуговування [16].

Системи корпоративної IP-телефонії на базі софтсвіча мають безліч переваг:

- дешеве впровадження та експлуатація;
- висока швидкість впровадження;
- легка інтеграція з існуючими мережами зв'язку;
- можливість використання внутрішньої нумерації, зниження витрат на телефонію в цілому;
- розгортання на базі опорної ТСП/IP-мережі;
- зручність адміністрування та висока надійність під час експлуатації;
- безпека;
- можливість зв'язку між міжнародними та міжміськими філіями безпосередньо, «в обхід» ТМЗК;
- об'єднання розосереджених офісів в єдиний телефонний простір;
- можливість інтеграції телефонної системи в корпоративну CRM (1С Підприємство та інші);
- підвищення рівня обслуговування клієнтів, можливість використання раніше недоступних функцій;

- легка масштабованість кількості абонентів у телефонній мережі (під кожного абонента є можливість створити свій номерний план);
- забезпечення ефективного використання смуги пропускання на існуючих каналах передачі даних;
- підтримка механізмів якості обслуговування (QoS);
- можливість підключення до операторських мереж за різними стандартними протоколами.

Використання технології VoIP дає змогу компаніям знижувати витрати на телефонію як на етапі впровадження, так і протягом усього життєвого циклу інфраструктури зв'язку за рахунок більш низьких тарифів і вартості обслуговування. Міжнародний трафік корпоративної мережі з метою забезпечення високого співвідношення ціна/якість може розподілятися за різними VoIP провайдерами, звідси й впливає необхідність маршрутизації викликів між ними.

1.4. Стандарти IP-телефонії

Технології та протоколи, використовувані в IP-телефонії, можна умовно розділити на три рівні:

- сигналізація;
- транспорт;
- маршрутизація.

1.4.1. Сигналізація

Сигналізація – процедура встановлення, підтримки та завершення з'єднання, а також узгодження різних параметрів, пов'язаних зі з'єднанням і передачею даних. У мережах IP-телефонії найбільш популярними протоколами сигналізації є H.323 і SIP [17].

1.4.1.1. Протокол сигналізації H.323

На початку розвитку VoIP першим і найбільш популярним стандартом став H.323. Перший в історії підхід до побудови мереж IP-телефонії на стандартизованій основі запропоновано Міжнародним союзом електрозв'язку (ITU) в рекомендації H.323. Стек протоколів H.323 був розроблений у 1996 р. Мережі, засновані на базі протоколів H.323, орієнтовані на інтеграцію з ТМЗК і можуть розглядатися як мережі ISDN, накладені на мережі передачі даних. Зокрема, процедура встановлення з'єднання в таких мережах IP-телефонії базується на рекомендації Q.931 і аналогічна процедурі, яка використовується в мережах ISDN.

Незважаючи на те, що H.323 – це цілий стек протоколів, іноді термін H.323 згадується як окремий випадок сигналізації VoIP. Мережі H.323 включають у себе термінали, шлюзи, багатоточкові пристрої управління і контролера (gatekeeper). Контролер виступає центром обробки викликів всередині своєї зони і виконує найважливіші функції управління та маршрутизації викликів між терміналами або через шлюзи на ТМЗК.

Рекомендація H.323 передбачає досить складний набір протоколів, який призначений не просто для передачі голосової інформації по IP-мережах з комутацією пакетів. Його мета – забезпечити роботу мультимедійних додатків у мережах з негарантованою якістю обслуговування. Голосовий трафік – це тільки один з додатків H.323 разом з відео і даними. Однак забезпечення сумісності різних мультимедійних додатків з H.323 вимагає досить значних зусиль. Наприклад, для реалізації функції перемикання зв'язку (call transfer) потрібна окрема специфікація H.450.2. Останнім часом H.323 в IP-телефонії все частіше замінюють протоколом SIP.

1.4.1.2. Протокол сигналізації SIP

Наступним етапом розвитку VoIP став протокол сигналізації SIP.

SIP (Session Initiation Protocol – протокол встановлення сеансу) – стандарт на спосіб встановлення та завершення користувацького інтернет-

сеансу, що включає обмін мультимедійним вмістом (відео- й аудіоконференції, миттєві повідомлення, онлайн-ігри) [18].

У моделі взаємодії відкритих систем SIP є мережевим протоколом прикладного рівня. Протокол описує, яким чином клієнтську програму (наприклад, софтфон) може запитати початок з'єднання в іншого, можливо, фізично віддаленого клієнта, що перебуває в тій самій мережі, використовуючи його унікальне ім'я. Протокол визначає спосіб узгодження відкриття каналів обміну між клієнтами на основі інших протоколів, які можуть використовуватися для безпосередньої передачі інформації (наприклад, RTP, або Real-time Transport Protocol).

Клієнти SIP традиційно використовують порт 5060 TCP і UDP для з'єднання елементів SIP-мережі. В основному SIP використовується для встановлення і роз'єднання голосових та відеодзвінків, на відміну від H.323. Водночас H.323 є набором протоколів, SIP – тільки протокол сигналізації. Для передачі самих голосових і відеоданих використовують транспортні протоколи, найчастіше RTP.

Головне завдання розробки SIP – створення сигнального протоколу на базі IP, який міг би підтримувати розширений набір функцій обробки виклику та послуг, що надаються в існуючій ТМЗК. SIP використовується разом з декількома іншими протоколами і бере участь тільки в сигнальній частині сесії зв'язку, причому він виконує роль носія для протоколу опису сеансу SDP (Session Description Protocol), який описує параметри передачі медіаданих у рамках сесії, наприклад, використовувані порти IP і кодекси. У типовому застосуванні сесії SIP – це просто потоки пакетів RTP, при цьому RTP є безпосереднім носієм голосових і відеоданих.

Однією з найважливіших особливостей протоколу SIP є саме його незалежність від транспортних технологій і простота в налаштуванні й експлуатації. Також обладнання для SIP коштує значно дешевше за обладнання для H.323. Основними перевагами SIP є:

- простота – включає в себе тільки шість функцій;

- незалежність від транспортного рівня – може використовувати UDP, TCP, ATM і т. д.;
- персональна мобільність користувачів – можуть переміщатися в межах мережі без обмежень, що досягається шляхом присвоєння користувачу унікального ідентифікатора; при цьому набір надаваних послуг залишається незмінним, а про свої переміщення користувач повідомляє за допомогою повідомлення REGISTER;
- масштабованість мережі – структура мережі на базі протоколу SIP дає змогу її легко розширювати та збільшувати кількість елементів;
- розширюваність протоколу – протокол характеризується можливістю доповнювати його новими функціями під час появи нових послуг;
- інтеграція в стек існуючих протоколів інтернету – протокол SIP є частиною глобальної архітектури мультимедіа, що розроблена комітетом IETF і включає в себе протоколи RSVP, RTP, RTSP, SDP;
- взаємодія з іншими протоколами сигналізації – протокол SIP може бути використаний спільно з іншими протоколами IP-телефонії, протоколами ТМЗК та для зв'язку з інтелектуальними мережами.

1.4.2. Транспортні протоколи передачі даних в VoIP

Передача трафіку в мережах VoIP в основному забезпечується протоколом RTP і його безпечною версією SRTP. RTP є безпосереднім носієм даних, працює на прикладному рівні та використовується під час передачі трафіку реального часу. Протокол був розроблений Audio-VideoTransport Working Group в IETF і вперше опублікований у 1996 р., як RFC 1889 і замінений на RFC 3550 у 2003 р.

1.4.3. Аналіз технологій маршрутизації IP і голосового трафіку

У мережах IP-телефонії маршрутизація викликів і маршрутизація трафіку – це різні поняття. VoIP мережі побудовані на опорних мережах TCP/IP, маршрутизація трафіку тут підкоряється законам мереж TCP/IP,

заснована на своїх протоколах і здійснюється незалежним від VoIP мереж обладнанням. У мережах IP-телефонії, заснованих на стандарті H.323, маршрутизацію викликів здійснював контролер, але з розвитком протоколу SIP ця функція перейшла до софтвера.

На сьогодні у більшості телефонних мереж використовується статична маршрутизація викликів, заснована на загальному міжнародному телекомунікаційному плані нумерації [19]. Маршрутизація відбувається за задалегідь підготовленою таблицею відповідності номерів і напрямків (діапазон номерів XXX обслуговується АТС/шлюзом Y). У цій схемі будь-які зміни нумерації або маршрутизації – це тривалий і дорогий процес, що не відповідає запитам сьогоденного динамічного ринку телекомунікацій.

У зв'язку зі зростанням обсягів голосового трафіку (VoIP) в IP-мережах і великою кількістю пропозицій від провайдерів IP-телефонії стає актуальним завдання маршрутизації голосових викликів з урахуванням вимог до якості, вартості та захищеності каналу зв'язку. ІТ- підрозділи великих компаній, що експлуатують власну VoIP мережу, оператори IP-телефонії, департаменти досліджень і розробок (R & D), виробники VoIP обладнання і програмісти, які працюють з білінгом для вільно розповсюджуваної програмної АТС Asterisk, все частіше стикаються з необхідністю реалізації динамічної маршрутизації голосових викликів, що дає змогу оптимізувати співвідношення якість/ціна VoIP зв'язку.

В IP-мережах проблему вибору кращого маршруту для трафіку за безліччю критеріїв і взаємодії з різними мережами забезпечує основний протокол динамічної маршрутизації BGP (Border Gateway Protocol – протокол граничного шлюзу) [20].

BGP призначений для обміну інформацією про досяжності підмереж між автономними системами (АС) і визначення маршрутів доставки пакетів в інші АС. Передавана інформація включає в себе список АС, до яких є доступ через цю систему. Процедура вибору найкращих маршрутів для кожного напрямку працює, виходячи з правил і критеріїв, встановлених адміністратором,

запускається після оновлення інформації та служить для відбору маршрутів, призначених для використання локально та для передачі іншим маршрутизаторам, які використовують BGP. 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 з поправками на специфіку VoIP зв'язку. Нижче розглянуті існуючі протоколи динамічної маршрутизації викликів у VoIP мережах.

1.5. Аналіз протоколів маршрутизації голосових викликів

1.5.1. Динамічний обмін шаблонами телефонних номерів

Cisco SAF/CCD (Service Advertisement Framework/Call Control Discovery) використовує метод динамічного обміну шаблонами телефонних номерів, що значно спрощує оновлення таблиці маршрутизації викликів при зміні номерного плану або введення в дію нової АТС/шлюзу. Архітектура мережі SAF складається з клієнтів, які запитують і анонсують шаблони телефонних номерів форвардерів, що отримують шаблони телефонних номерів від клієнтів (або від інших форвардерів) і пересилають їх далі (рис. 1.3) [21; 22]. Технологія SAF/CCD дуже схожа з технологією динамічної маршрутизації RIP (Routing Information Protocol) в IP-мережах, є комерційною і використовується тільки в мережах, побудованих на обладнанні Cisco.

Протокол маршрутної інформації RIP – один із найпростіших протоколів маршрутизації. Застосовується в невеликих комп'ютерних мережах, дає змогу маршрутизаторам динамічно оновлювати маршрутну інформацію (напрямок і дальність у хоплах), отримуючи її від сусідніх маршрутизаторів. RIP – так званий протокол дистанційно-векторної маршрутизації, який оперує транзитними ділянками як метрикою маршрутизації. Під метрикою маршрутизації розуміється кількість транзитних

ділянок до точки призначення. Максимальне значення метрики в RIP – 15 (метрика 16 відповідає недосяжності мети).

Кожен RIP-маршрутизатор за замовчуванням сповіщає у мережу свою повну таблицю маршрутизації один раз на 30 секунд.

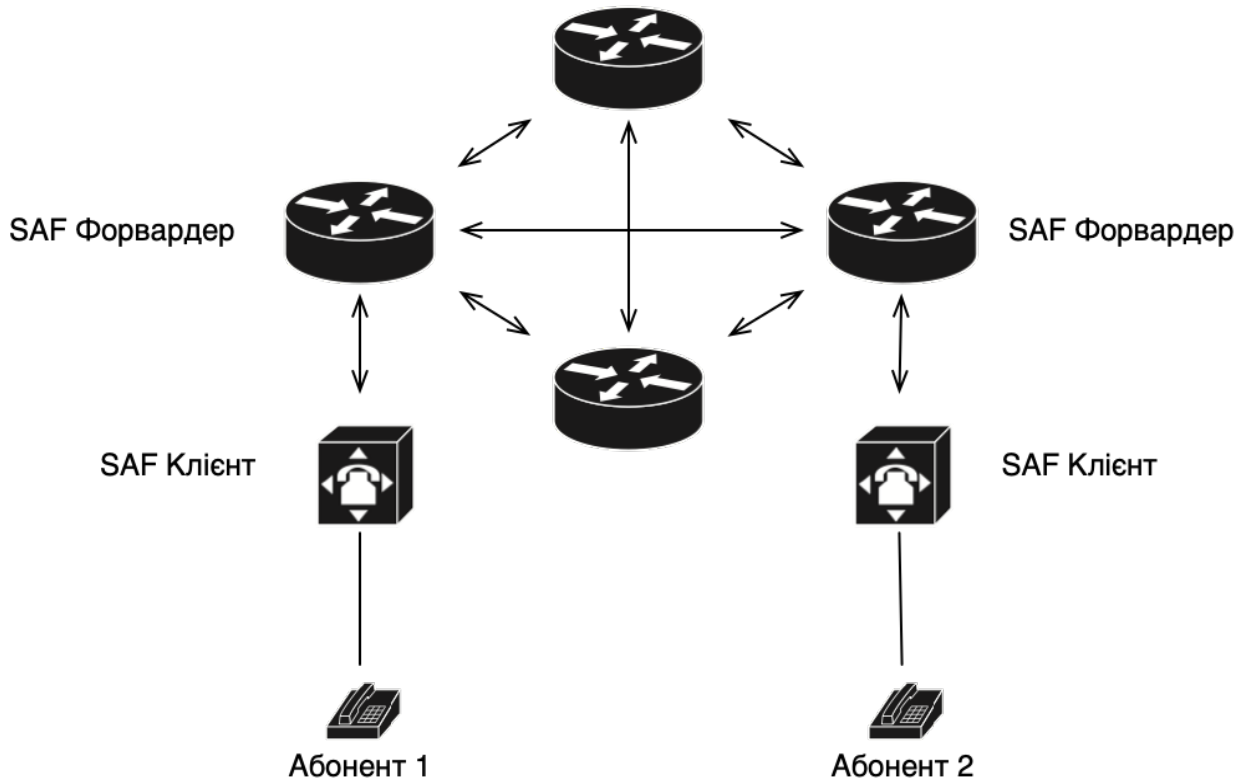


Рис. 1.3. Cisco SAF/CCD

1.5.2. Динамічна маршрутизація за критерієм найменшої вартості

Least Cost Routing (LCR) перекладається як маршрутизація за критерієм найменшої вартості. Основна ідея цієї технології полягає в порівнянні тарифів різних операторів перед маршрутизацією виклику. У результаті порівняння обирається найдешевший маршрут, за яким буде здійснено виклик [1; 2; 3]. На рис. 1.4 показано приклад вибору маршруту. З двох можливих маршрутів від абонента 1 до абонента 2 маршрутизатор з LCR обирає маршрут через мережу оператора 1, порівнявши заздалегідь відому вартість дзвінка всередині мережі

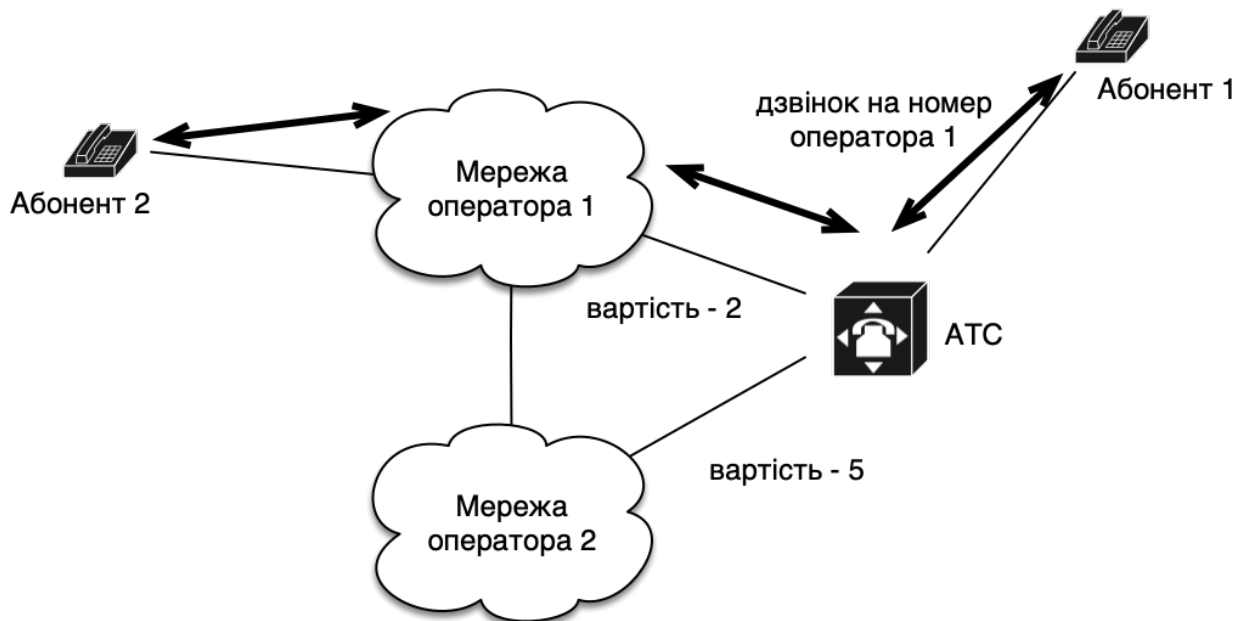


Рис. 1.4. Приклад LCR маршрутизації

(оператор 1) і через проміжного оператора (оператор 2). Якість зв'язку й інші параметри не враховуються.

Ця технологія добре працює в VoIP мережах з невеликою кількістю можливих маршрутів і нечастою зміною тарифів. LCR схожий з протоколом динамічної маршрутизації OSPF (Open Shortest Path First) [23] в IP-мережах, де кращий маршрут визначається з урахуванням вартості каналу. Вартість каналу обернено пропорційна до швидкості.

OSPF – протокол динамічної маршрутизації, який заснований на технології відстеження стану каналу та використовує для знаходження найкоротшого шляху алгоритм Дейкстри (Dijkstra's algorithm) [24]. OSPF є альтернативою RIP як внутрішнього протоколу маршрутизації. У OSPF як метрика використовується коефіцієнт «вартості каналу». Кожен маршрутизатор має повну інформацію про стан усіх інтерфейсів усіх маршрутизаторів автономної системи. Розсилаючи оголошення всередині однієї OSPF-зони, всі маршрутизатори будують ідентичну базу даних стану каналів маршрутизатора. Кожен маршрутизатор будує таблицю маршрутизації зі свого дерева найкоротших шляхів. Приклад вибору маршруту за алгоритмом OSPF показано на рис. 1.5. З цього прикладу видно, що обраний маршрут

(виділені стрілки) не є найкоротшим (більша кількість хопів), але його швидкість вища.

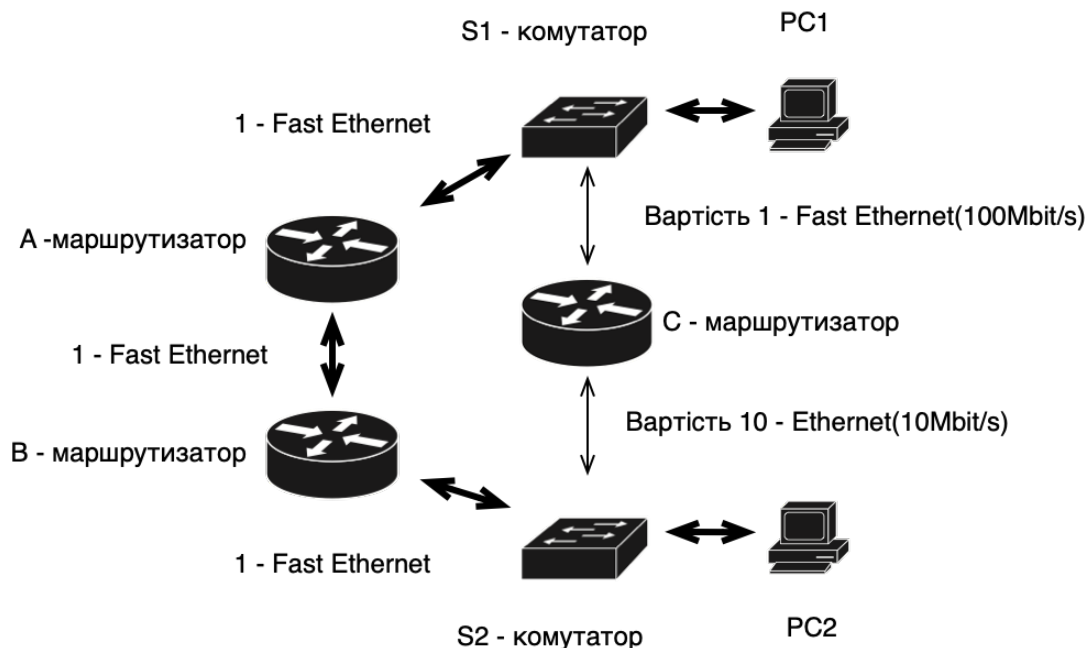


Рис. 1.5. Приклад OSPF маршрутизації

Описані протоколи динамічної маршрутизації викликів добре працюють усередині невеликої мережі одного провайдера з невеликою кількістю перевірених маршрутів. Вони не здатні взаємодіяти з різними мережами провайдерів IP-телефонії. При погіршенні якості зв'язку на одному з каналів, ці технології не здатні автоматично перенаправляти виклики на більш якісний канал. У результаті адміністратор змушений вручну змінювати маршрутизацію викликів. Протоколи Cisco SAF/CCD та LCR схожі з протоколами внутрішньої маршрутизації в IP-мережах RIP і OSPF і не розглядаються, як відповідні алгоритми маршрутизації викликів для мереж IP-телефонії.

1.5.3. Динамічна маршрутизація з контролем параметрів якості зв'язку

Розвитком розглянутих підходів до маршрутизації викликів є алгоритм, який передбачає розбиття операторів IP-телефонії на рівні відповідно до якості/вартості наданих послуг. У межах рівня сформовані групи операторів,

що надають близькі тарифи для кожного міжміського або міжнародного напрямку. Першість оператора в групі визначається параметром якості зв'язку ASR (Answer Seizure Ratio) і задає його пріоритет при маршрутизації за цим напрямком. У свою чергу, при погіршенні параметра ASR, що визначається як відношення кількості успішних сеансів зв'язку до загальної їх кількості, відбувається зниження пріоритету оператора [25].

Таким чином, за кожним напрямком здійснюється контроль якості зв'язку, але при цьому зміна будь-якого іншого параметра якості, наприклад, ACD (Average Call Duration – середня тривалість виклику), вимагає втручання адміністратора системи.

1.6. Концепт методу оптимізації функціонування VoIP мережі

Для VoIP мережі до цього часу не існує протоколу маршрутизації, заснованого на аналізі стану каналу в реальному масштабі часу з урахуванням вартості, якості та безпеки зв'язку. Проведений аналіз доступних протоколів і технологій маршрутизації дає змогу сформулювати вимоги до протоколу динамічної маршрутизації викликів [5]:

- аносування діапазону доступних номерів телефонів сусіднім маршрутизаторам;
- аносування вартості та інших параметрів доступних маршрутів сусіднім маршрутизаторам;
- дослідження параметрів зовнішніх каналів у режимі реального часу (або з достатньою частотою);
- вибір найкращого маршруту і складання таблиці маршрутизації на підставі безлічі параметрів (вартість, якість, швидкість каналу, використовувані кодеки, безпека);
- оновлення даних між граничними маршрутизаторами тільки під час зміни будь-якого параметра (оптимізація завантаження мережі);
- наявність у таблиці маршрутизації і декларація мінімум двох (основного і резервного) маршрутів для спрямування;

- можливість організації транзитного трафіку;
- можливість безпечної авторизації між граничними маршрутизаторами (захист від шахрайства з імітацією «суперканалу»).

Задоволення названих вимог при збереженні конкурентних переваг IP-телефонії дасть змогу підвищити якість обслуговування.

Як було зазначено вище, для вибору найкращого маршруту голосового виклику потрібен відповідний протокол. Першим етапом розробки такого протоколу є створення алгоритму маршрутизації, що реалізується на софтверних і програмованих цифрових АТС з підтримкою VoIP великих компаній для підвищення співвідношення якість/ціна голосового зв'язку всередині власної мережі та мережах провайдерів міжміського, міжнародного, мобільного зв'язку. Зазначений алгоритм може бути впроваджений тільки в спеціально оптимізовану або заново спроектовану систему голосового зв'язку, а отже, оптимізація системи такого типу передбачає оптимізацію не тільки системи управління мережею (маршрутизації) але й оптимізацію проектування/перепроєктування мережі. Це завдання може бути вирішено за допомогою розвитку або розробки аналогічного методу до методу багатокритеріальної оптимізації систем управління телекомунікаційними мережами, запропонованого В. К. Стекловим [4], з урахуванням вищезазначених вимог та особливостей.

При цьому багатокритеріальність передбачає оптимізацію як програмної, так і апаратної складових VoIP системи [4]. Водночас, з огляду на складність завдання, основну увагу приділимо програмній складовій, заснованій на виборі маршруту голосового виклику, обмежившись необхідною модернізацією телефонної мережі як апаратної складової, описаної в наступному розділі. Оскільки основою нового методу є вибір оптимального маршруту, назвемо його «метод оптимізації функціонування VoIP мережі на основі вибору маршруту голосового виклику». Концепт нового методу зображено на рис. 1.6. Рішення, спрямовані на удосконалення апаратної частини, складаються з:

- адаптацію наявних апаратних засобів, для можливості впровадження VoIP і сегментації мережі по типу трафіку на основі VLAN;
- сегментація мережі за типом трафіку спрямована на ізоляцію VoIP обладнання;
- все це є необхідними умовами для розгортання VoIP на базі існуючої аналогової телефонної мережі і опорної IP мережі.

Розгортання VoIP на базі Softswitch дозволить перейти до впровадження програмних рішень, основним з яких є алгоритм вибору провайдера на основі математичної моделі, що враховує параметри якості послуг, що надаються провайдерами.

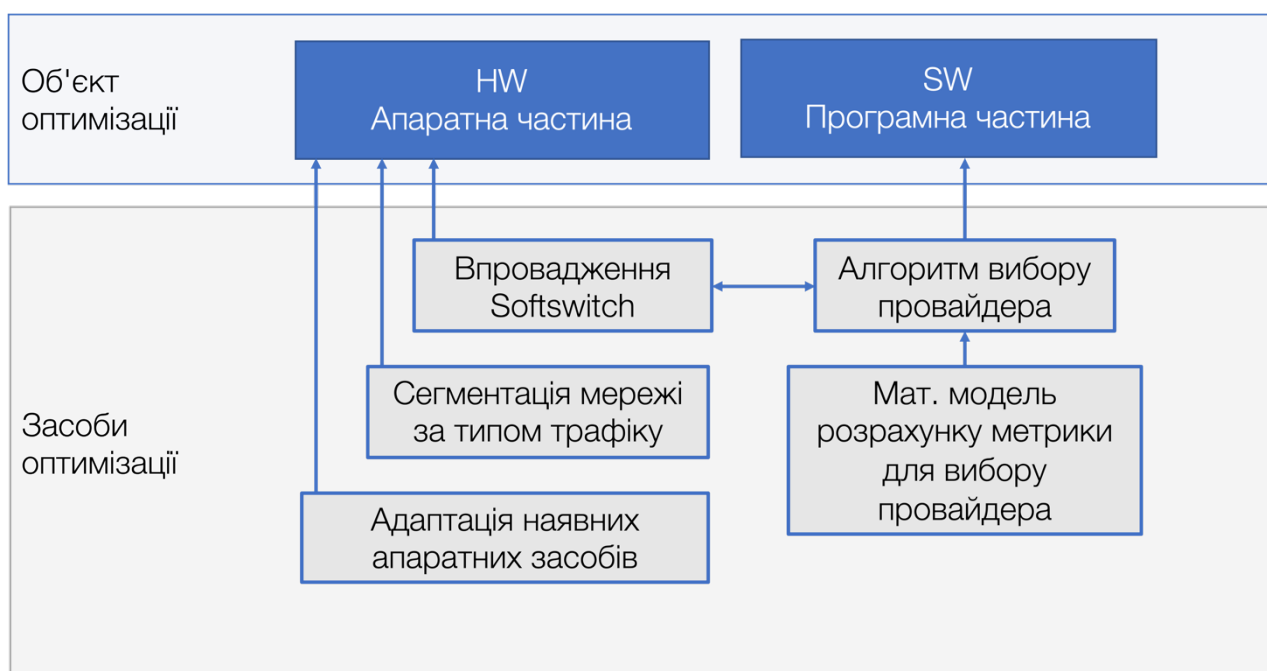


Рис. 1.6. Концепт методу оптимізації функціонування VoIP мережі

Якщо розглядати нашу запропонований метод через призму класичної мережевої моделі OSI, апаратні рішення знаходяться на 2 каналному рівні - сегментація трафіку, а програмні удосконалення знаходяться на рівнях вище сеансового, де відбувається сигналізація SIP (рис. 1.7).

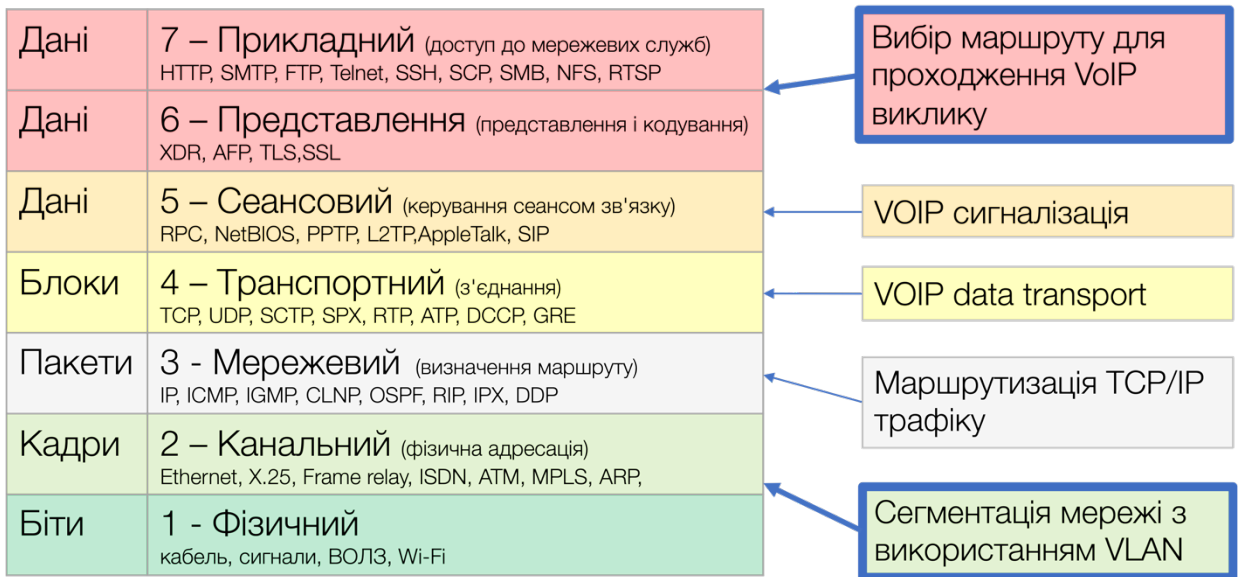


Рис. 1.7. Модель OSI

1.7. Висновки

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 є основним завданням цієї роботи. Використання даного методу повинно вирішити проблему відсутності достатнього рівня автоматизації маршрутизації голосових викликів та забезпечення заявленого рівня сервісу, при якому враховуються не тільки фактори вартості або якості, а й їх співвідношення.

2. МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕЛЕФОННОЇ МЕРЕЖІ

Більшість сучасних організацій, чи то комерційні, державні чи будь-які інші, використовують у своїй роботі локальні обчислювальні мережі (далі – ЛОМ) на базі протоколів мережевого рівня сімейства TCP/IP. Розвиток інтернету і TCP/IP-мереж загалом зумовили повсюдне впровадження IP-телефонії (VoIP). Технології VoIP дають змогу компаніям знижувати витрати на телефонію як на етапі впровадження, так і протягом усього життєвого циклу інфраструктури зв'язку.

2.1. Зростання трафіку в корпоративних мережах

Популярність технологій хмарних обчислень, мережесих засобів зберігання даних, розвиток і поширення різноманітних інтернет орієнтованих медіасервісів, збільшення кількості мережесих пристроїв, необхідних одному співробітнику, привели до вибухоподібного зростання трафіку в корпоративних ЛОМ (так звана «проблема лавини даних»). Крім того, збільшення кількості пристроїв створює проблему ширококомовних штормів, що може паралізувати роботу мережі.

Закон Мура, який раніше описував розвиток мікросхем, неймовірно точно описує зміни в сучасних ЛОМ. Подвоювана потужність мережесих обчислювальних пристроїв дає змогу обробляти та зберігати вдвічі більші обсяги даних, а з урахуванням зниження вартості приводить до їх повсюдного впровадження і зростання генерованого ними трафіку у два рази на рік [26]. Разом з тим зростання швидкості каналів передачі даних відстає від зростання генерованого трафіку на 30–50% [27]. Ці два фактори призводять до перевантажень мережі та, як наслідок, до збільшення затримок і втрат пакетів, що є критичним для VoIP.

Відповідно до стандарту ITU G.114, затримка під час передачі мови від абонента до абонента до 250–300 мс вважається задовільною, під час затримки більше ніж 400 мс використання VoIP зв'язку не має сенсу. На графіку

(рис. 2.1) показано експертну оцінку якості зв'язку залежно від затримки під час передачі мови [28].

Максимальна затримка при кодуванні голосового сигналу для сучасного обладнання не перевищує 60 мс. Виходячи з цього, час проходження пакетів у мережі для комфортної роботи VoIP не повинен перевищувати 120 мс. Щоб домогтися таких і менших значень затримки у великих ЛОМ, де голосовий і весь інший трафік не розділяються і обробляються спільно, потрібні значні фінансові витрати на дороге устаткування.

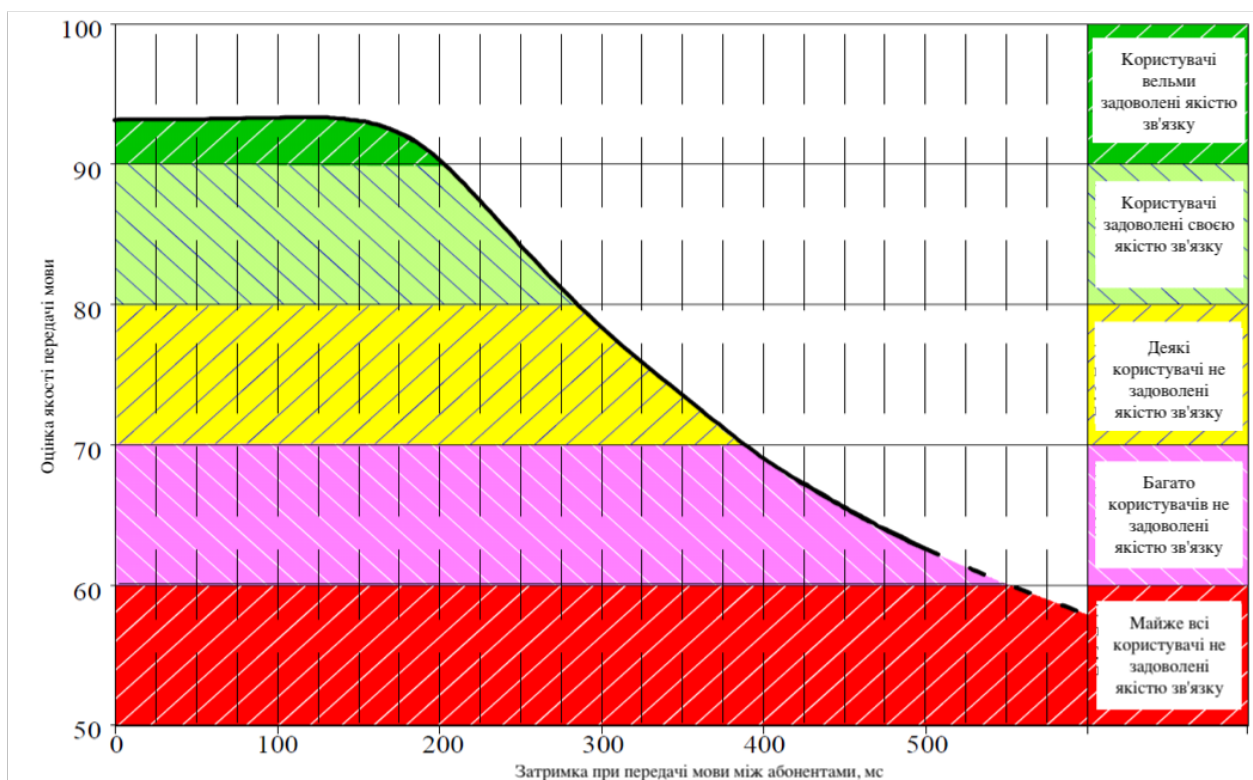


Рис. 2.1. Залежність задоволення користувачів якістю

2.2. Безпека і шифрування в SIP

Протокол SIP має безліч незаперечних переваг, таких як:

- відкритість;
- невисока вартість обладнання;
- зручність адміністрування та розгортання;
- низькі тарифи, підтримка безліччю операторів.

Однак у стандартному вигляді цей протокол не забезпечує шифрування.

SIP (Session Initiation Protocol – протокол встановлення сеансу) використовується тільки для параметрів завершення дзвінків і визначає спосіб узгодження між клієнтами відкриття каналу обміну даними на основі транспортного протоколу передачі трафіку реального часу (або іншого), найчастіше RTP. У корпоративних мережах, де питання безпеки стоять не на останньому місці, необхідно шифрувати не тільки саму розмову (RTP), але й сеанс ініціалізації дзвінка (SIP), що містить DTMF, номери, імена абонентів та ін.

Найбільш простим та універсальним у використанні механізмом шифрування є побудова IPsec тунелю від кінцевої точки включення (наприклад, IP АТС-офісу) до центрального софтверного організатора. Використання IPsec збільшує швидкість каналу, необхідну для задовільної роботи VoIP, на 30–50%, а також збільшує часові затримки проходження пакетів. Такий недолік цього методу шифрування не дає змоги його використовувати в умовах, описаних вище.

Іншим способом шифрування є зв'язування протоколів SRTP + TLS. SRTP (Secure Real-time Transport Protocol – безпечний протокол передачі даних у реальному часі) є версією протоколу RTP з підтримкою AES-шифрування. Використання протоколу SRTP не збільшує обсяг переданих даних. Існує версія SRTP з використанням методу обміну ключів за алгоритмом Діффі-Хелмана (алгоритм, що дає змогу двом сторонам отримати загальний секретний ключ, використовуючи незахищений від прослуховування, але захищений від підміни канал зв'язку) [29]. Ця версія протоколу називається ZRTP, але вона є комерційною, що суперечить умові мінімальних фінансових витрат.

Для шифрування SIP-повідомлень можна використовувати SIPS (протокол SIP з шифруванням сигнального трафіку на транспортному рівні із застосуванням TLS (Transport Layer Security – безпека транспортного рівня – криптографічні протоколи, що забезпечують захищену передачу даних між вузлами TCP/IP-мережі)). Ця зв'язка є найбільш вдалою, але поки що не

підтримується великою кількістю обладнання, а закупівля нового суперечить умові мінімальних фінансових витрат.

Під час побудови системи VoIP зв'язку на базі наявної IP-мережі без її реорганізації виникає серйозна проблема захисту від несанкціонованого доступу до VoIP обладнання (центрального софтверу, IP АТС, IP-телефони та ін.) з корпоративної мережі. Оскільки SIP софтвер 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 внутрішньої ботнет мережі.

2.3. Розгортання й адміністрування систем VoIP зв'язку

Розгортання повноцінної системи VoIP зв'язку з підтримкою всіх функцій і використанням Ethernet IP-телефонів найчастіше не потрібно і пов'язане з великими фінансовими витратами. Побудова такої системи є виправданою лише під час планування офісу «з нуля», виділення окремої IP-мережі для IP-телефонів й за умови чіткого розуміння завдань системи голосового та відеозв'язку в конкретній організації.

В Україні часто спостерігається ситуація використання дорогого устаткування VoIP зв'язку (наприклад, Cisco UC Phone 7965, Cisco 2911 Voice Bundle) для вирішення тривіальних завдань голосового зв'язку між абонентами. Такі завдання можна вирішити з набагато меншими фінансовими витратами при збереженні якості зв'язку.

За наявності діючої системи аналогового телефонного зв'язку найбільш простим і швидким варіантом підключення офісу до існуючої VoIP системи організації є заміна аналогової АТС на цифрову з підтримкою SIP, що не призводить до кардинальних змін в аналоговій телефонній та IP-мережах. У такому випадку не потрібним є фізичний монтаж опорної IP-мережі від станції до абонента та закупівля дорогих IP-телефонів; використовуються аналогові телефони, підключені за допомогою наявного телефонного розподільного дроту до IP АТС. Єдиною умовою для коректної роботи такої системи є

відповідний вимогам щодо швидкості й затримок канал передачі даних від IP АТС до центрального софтвера організації.

Порівняємо витрати на організацію VoIP системи, вимоги до якої наведено в табл. 2.1. Застосування IP АТС (Samsung OS-707MA), модулів розширення (KP-AP4-WMG + SIP), системних телефонів з підтримкою SIP (Samsung OfficeServ або рішення на основі ERICSSON-LG, Siemens HiPath) знизить витрати на розгортання й подальше обслуговування системи VoIP зв'язку (табл. 2.3) більше ніж у два рази порівняно з рішенням Cisco (ядро Cisco 2911 VoiceBundle, PVDM3-16, UC LicensePAK; модуль розширення Cisco Four-port Voice Interface Card-FXO (Universal)), витрати на реалізацію якого наведені в табл. 2.2.

Табл. 2.1. Вимоги до VoIP системи

4 Вхідні аналогові лінії
4 Вхідні цифрові лінії
1-рівневий IVR (4-канальний автооператор)
4 системних телефони (2 зв'язки директор/секретар)
Можливість використання стандартних аналогових телефонів (до 20 шт.)

Табл. 2.2. Витрати на VoIP систему на базі ядра Cisco

Cisco	Найменування	Кіл-ть	Ціна, грн з ПДВ	Сума, грн з ПДВ
Ядро	Cisco 2911 Voice Bundle, PVDM3-16, UC License PAK	1	19 000,00	19 000,00
Модулі розширення	Cisco Four-port Voice Interface Card - FXO (Universal)	1	5480,00	5480,00

Апарати (директор/секретар)	Cisco UC Phone 7965, Gig Ethernet, Color	4	3750,00	15 000,00
Апарати (аналогові)	Шлюз для аналогових телефонів, 8	2	2225,00	4450,00
Додаткові витрати	Блок живлення для Cisco UC Phone 7900 series	4	280,00	1120,00
Роботи з налаштування		1	13 500,00	13 500,00
				58 550,00

Однак у разі використання наявної IP-мережі для побудови VoIP системи централізоване адміністрування (наприклад, з головного офісу) такої системи ускладнюється різною адресацією, різними принципами маршрутизації й розподілу мережевого трафіку в наявних мережах об'єктів (філій, офісів, виробничих підприємств). З огляду на вищевикладене, приходимо до необхідності реорганізації наявної IP-мережі для забезпечення якості та безпеки VoIP зв'язку.

Табл. 2.3. Витрати на VoIP систему на базі ядра Samsung

Samsung	Найменування	Кіл-ть	Ціна, грн з ПДВ	Сума, грн з ПДВ
Ядро	Samsung OS-707MA	1	8486,40	8486,40
Модулі розширення	KP-AP4-WMG+SIP	4	753,60	3014,40

Апарати (директор/секретар)	SMT-i3105D	4	1416,00	5664,00
Апарати (аналогові)		0	0,00	0,00
Додаткові витрати	Блок живлення для SMT-i3105D	4	283,20	1132,80
Роботи з налаштування		1	6000,00	6000,00
				24 297,60

2.4. Реорганізація корпоративної IP-мережі з урахуванням вимог VoIP

Розглянемо побудову TCP/IP-мережі організації, що складається з одного центрального офісу, який є ядром мережі, та двох залежних філій. Цей приклад легко екстраполюється на мережі будь-якого розміру.

На рис. 2.2 наведено карту мережі, яка допоможе розібратися з нюансами розподілу мереж центрального офісу та філій. Основною ідеєю, яка використовується для вирішення описаних проблем VoIP, є поділ мереж на канальному рівні (Level 2) за допомогою комутаторів другого рівня (L2 комутатори, вартість яких починається від 800 грн) з підтримкою VLAN (Virtual Local Area Network).

VLAN – це логічна («віртуальна») локальна комп'ютерна мережа, що являє собою групу хостів із загальним набором вимог, які взаємодіють таким чином, як ніби вони підключені до широкомовного домену, незалежно від їх фізичного місцезнаходження.

VLAN має ті самі властивості, що й фізична локальна мережа, але дає змогу кінцевим станціям групуватися разом, навіть якщо вони не знаходяться в одній фізичній мережі. Така реорганізація може бути виконана на основі

програмного забезпечення замість фізичного переміщення пристроїв [30]. L2 комутатори гарантують швидкість переправлення фреймів, що забезпечується середовищем передачі даних, і не дають затримки, яка виникає при використанні традиційних програмно орієнтованих методів комутації за допомогою маршрутизаторів.

У традиційних мережах з комутаторами, які не підтримують VLAN, увесь ширококомовний трафік потрапляє в усі порти. VLAN збільшує продуктивність мережі, розташовуючи ширококомовний трафік всередині маленьких і легко керованих логічних доменів. VLAN дає змогу адміністратору створювати, групувати і перегруповувати мережеві сегменти логічно й невідкладно, без зміни фізичної інфраструктури та від'єднання користувачів і серверів. Як видно з рис. 2.2, всі робочі станції та інша мережева техніка центрального офісу і кожної філії (виділені пунктирними лініями) винесені в окремі VLAN (центральный офіс – VLAN # 2, філія 1 – VLAN # 4, філія 2 – VLAN # 3), а IP АТС і SIP софтверні об'єднані в одну VLAN (VLAN # 1). Ця віртуальна локальна мережа (VLAN # 1) не має виходу в інтернет та зв'язку з локальними мережами центрального офісу та філій.

Переміщення всієї інфраструктури VoIP в окрему закриту VLAN дало змогу максимально убезпечити обладнання VoIP і відмовитися від шифрування даних VoIP там, де це неможливо засобами наявного обладнання.

Оскільки для забезпечення захисту всі IP АТС і SIP софтверні внесені в окрему VLAN, для доступу до неї і зручного адміністрування VoIP обладнання з будь-якої точки мережі встановлений сервер VPN (VPN шлюз) з шифруванням 128 біт. Цей захід дав змогу повністю убезпечити телефонну мережу від рядових користувачів корпоративної мережі та від атак з інтернету. Зв'язок між віртуальними локальними мережами реалізується центральним маршрутизатором.

Для коректної роботи VoIP необхідна стабільна смуга пропускання каналу зв'язку. У цій корпоративній мережі таку вимогу реалізовано наступним чином: швидкість доступу для VLAN # 2,3,4 обмежена до значення,

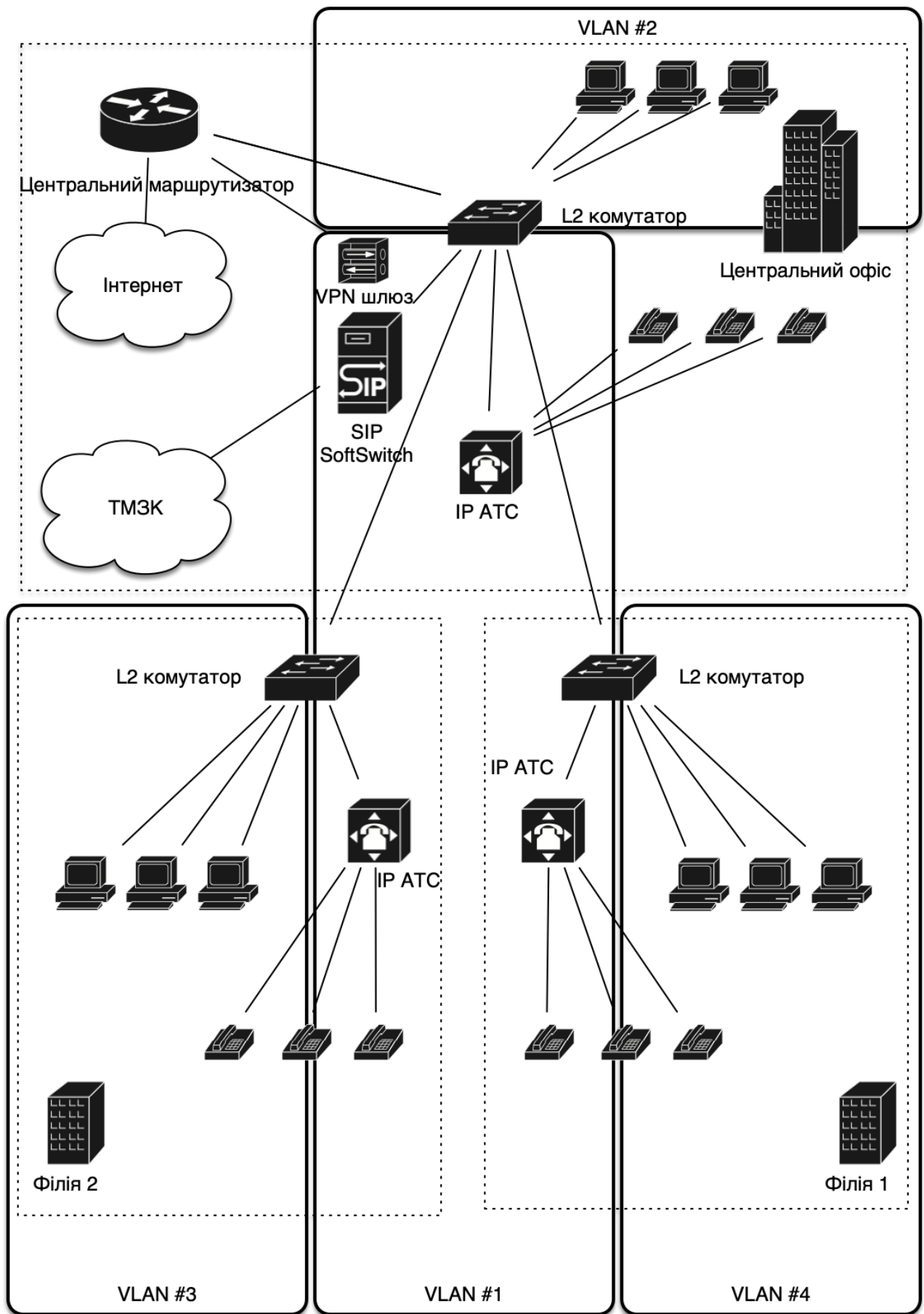


Рис. 2.2. Карта корпоративної IP-мережі

що дорівнює швидкості транспортного каналу передачі даних до центрального

комутатора мінус 64 кбіт/с* кількість абонентів телефонної мережі офісу або філії. Наприклад, швидкість каналу зв'язку центральний офіс – філія дорівнює 100 Мбіт/с, кількість абонентів телефонного зв'язку у філії – 40 осіб. Маємо швидкість каналу передачі даних між внутрішньою ЛОМ філії та центральним офісом/Інтернет – 97 Мбіт/с. Зменшення швидкості каналу на 3 Мбіт/с не позначиться на якості роботи мережевих сервісів для користувачів, але дасть змогу вирішити проблему втрати пакетів і збільшення часу затримок, що критично для VoIP телефонії.

Для вирішення описаних вище проблем і завдань, пов'язаних з продуктивністю, безпекою VoIP мережі, а також зменшенням її вартості, запропонована методика оптимізації та реорганізації структурно-функціональної організації опорної IP мережі для задоволення вимог VoIP [9]:

- визначення завдання реорганізації, пріоритетний напрям змін (якість, вартість тощо) і наявності існуючих проблем в 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 та 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 сегмента;
 - 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 софтверного організатора та всіх її АТС для маршрутизації дзвінків між підрозділами без виходу на ТМЗК;
- аналіз вартості впровадження запропонованого рішення, адміністрування мережі й економії на внутрішньо мережевому трафіку;
- проектування кінцевого рішення;
- впровадження рішення;
- тестування й усунення неполадок.

2.5. Висновки

Виділення віртуальної мережі для VoIP обладнання із загальної ЛОМ на логічному рівні дасть змогу з мінімальними фінансовими витратами позбутися проблем, пов'язаних з мережевою інфраструктурою. Це рішення є простим у впровадженні й обслуговуванні та, навіть з урахуванням вартості L2 комутаторів з підтримкою VLAN, значно дешевшим, ніж оновлення VoIP обладнання або збільшення швидкості транспортних каналів.

Наявність телекомунікаційної мережі, побудованої відповідно до описаної вище методики, є необхідним мінімумом для переходу до оптимізації програмної частини, алгоритму вибору маршруту для поліпшення співвідношення якість/ціна зв'язку, описаних далі.

3. ВИХІДНІ ДАНІ ТА ПАРАМЕТРИ МАРШРУТИЗАЦІЇ

Як показано в першому розділі роботи, існуючі технології статичної та динамічної маршрутизації голосових викликів в VoIP мережах не вирішують всіх поставлених завдань. У рамках мети дослідження розробляється метод оптимізації функціонування VoIP мережі на основі вибору маршруту голосового виклику, в основі якого лежить удосконалення маршрутизації голосових викликів за критерієм якість/ціна. Аналогічно до розглянутих у першому розділі протоколів динамічної маршрутизації IP-трафіку необхідно розробити метрику маршрутизації голосового трафіку в VoIP мережах, яка буде характеризувати маршрут між Абонентом А і Абонентом Б з точки зору якості й вартості одночасно. Нова метрика має бути розрахована на основі даних і технологій, доступних для VoIP.

Оскільки для роботи існуючих технологій динамічної маршрутизації й білінгу вже використовується сформований набір даних і ПЗ їх обробки, застосовуються автоматично генеровані звіти [31], слід розглянути можливість використання існуючих здобутків у цій сфері для зменшення вартості поновлення систем маршрутизації й білінгу.

Розглянемо узагальнену структуру корпоративної VOIP мережі (рис. 3.1). Передбачувану сферу впровадження запропонованих програмних рішень добре видно на цій структурній схемі телефонної мережі. Це ядро VoIP мережі – softswitch та системи білінгу й журналювання, найчастіше це один програмно-апаратний комплекс.

На рис. 3.1 показано різні способи підключення внутрішніх абонентів до центрального софтвера, який і виконує вибір маршруту з доступних за цим напрямом 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 різні в плані якості та вартості, вони можуть бути реалізовані різними технологіями підключення. За наявності значної кількості параметрів, що враховуються під час реалізації алгоритму, доцільно побудувати узагальнену модель

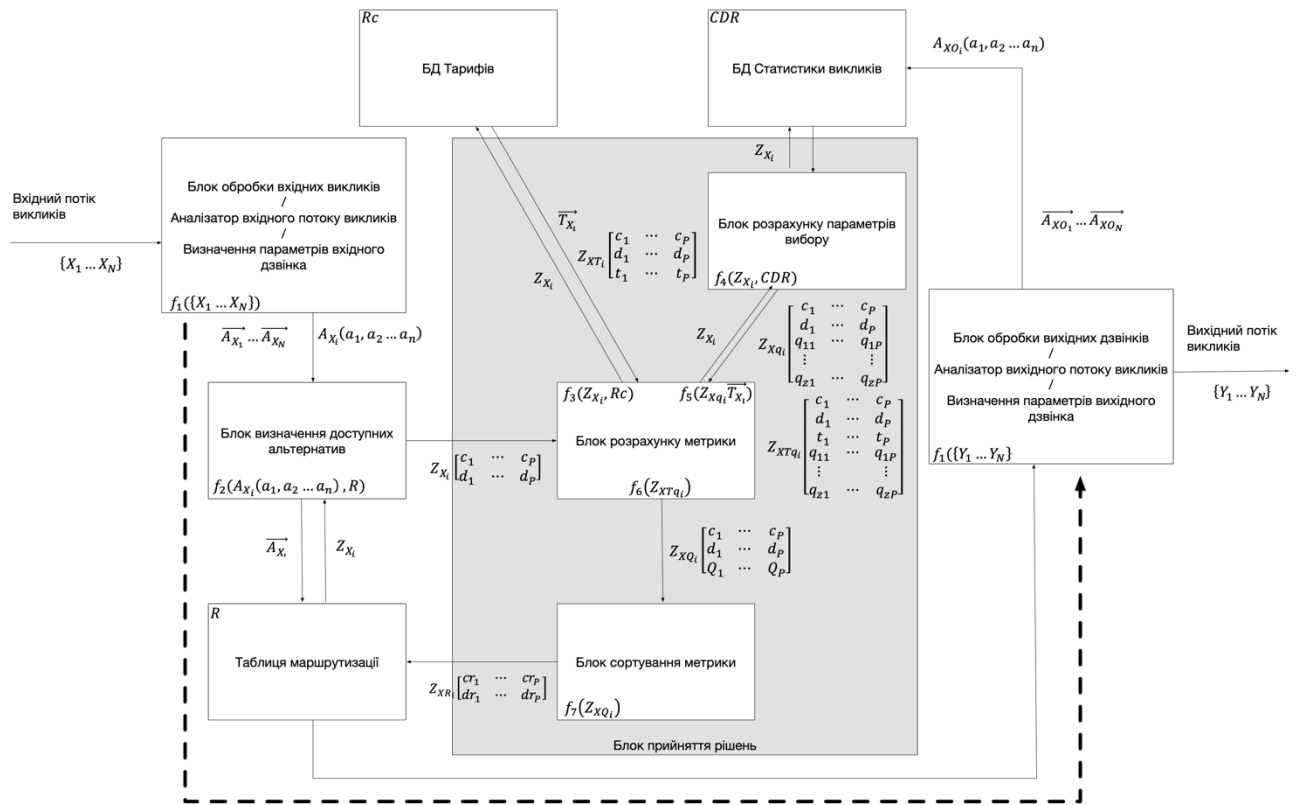


Рис. 3.2. Узагальнена модель вибору провайдера

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

$$Z_{X_i} = \begin{bmatrix} c_1 & \dots & c_p \\ d_1 & \dots & d_p \end{bmatrix} = f_2(A_{X_i}(a_1, a_2 \dots a_n), R), \quad (3.3)$$

де $c_1 \dots c_p$ – провайдери, доступні для зазначених параметрів виклику X_i , P – кількість доступних провайдерів, $d_1 \dots d_p$ – напрямки у провайдерів, доступні для зазначених 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 і їх напрямків Z_{X_i} , доступних для виклику X_i , отримує такі дані:

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

$$\overrightarrow{T_{X_i}} = T_{X_i}(t_1, t_2 \dots t_P) = f_3(Z_{X_i}, Rc), \quad (3.4)$$

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

Б) з бази даних статистики викликів CDR за допомогою блоку розрахунку параметрів вибору формується матриця параметрів, необхідних для порівняння й аналізу напрямку і провайдера перед маршрутизацією дзвінка X_i . Після об'єднання отриманих даних з матрицею Z_{X_i} , формується матриця

$$Z_{X_{q_i}} = \begin{bmatrix} c_1 & \dots & c_P \\ d_1 & \dots & d_P \\ q_{11} & \dots & q_{1P} \\ \vdots & & \vdots \\ q_{z1} & \dots & q_{zP} \end{bmatrix} = f_4(Z_{X_i}, CDR), \quad (3.5)$$

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

В) об'єднавши дані з матриці $Z_{X_{q_i}}$ з вектором відповідних тарифів $\overrightarrow{T_{X_i}}$, за допомогою блоку розрахунку метрики отримаємо матрицю $Z_{XT_{q_i}}$.

$$Z_{XTq_i} = \begin{bmatrix} c_1 & \cdots & c_P \\ d_1 & \cdots & d_P \\ t_1 & \cdots & t_P \\ q_{11} & \cdots & q_{1P} \\ \vdots & & \vdots \\ q_{z1} & \cdots & q_{zP} \end{bmatrix} = f_5(Z_{Xq_i}, \overrightarrow{T_{X_i}}), \quad (3.6)$$

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

$$Z_{XQ_i} = \begin{bmatrix} c_1 & \cdots & c_P \\ d_1 & \cdots & d_P \\ Q_1 & \cdots & Q_P \end{bmatrix} = f_6(Z_{XTq_i}), \quad (3.7)$$

де $Q_1 \dots Q_P$ – метрики оцінювання провайдерів і напрямків, 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, то 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

$$Q = Q^* + [(\partial Q / \partial t_v)(\Delta t_v / t_v)]t_v + [(\partial Q / \partial q_{z1})(\Delta q_{z1} / q_{z1})]q_{z1} + \dots + [(\partial Q / \partial q_{zv})(\Delta q_{zv} / q_{zv})]q_{zv}, \quad (3.8)$$

де Q^* – значення функції Q при номінальних значеннях параметрів; v – номер провайдера, для якого розраховується метрика Q , 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

$$Z_{XR_i} = \begin{bmatrix} cr_1 & \dots & cr_P \\ dr_1 & \dots & dr_P \end{bmatrix} = f_7(Z_{XQ_i}), \quad (3.9)$$

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

Таким чином, формується вихідний потік викликів

$$\{Y_1 \dots Y_N\}, \quad (3.10)$$

де N – кількість обслужених викликів на інтервалі ΔT .

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

$$A_{XO_i}(a_1, a_2 \dots a_n) = f_1(\{Y_1 \dots Y_N\}), \quad (3.11)$$

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

База даних статистики викликів у сучасних системах VoIP зв'язку реалізована у вигляді технології CDR, розглянемо її детальніше.

3.2. Сервіс журналювання роботи телефонної мережі

Сучасні системи голосового зв'язку на базі VoIP обробляють величезні обсяги даних через велику кількість напрямків та їх різну вартість. У більшості АТС, софтверів та ПЗ для маршрутизації голосового VoIP трафіку є підтримка сервісу CDR. Різні виробники телефонного обладнання використовують різні назви. В обладнанні Avaya, Nortel, Siemens, Cisco цей сервіс називається CDR, у Panasonic, LG, Nortel – SMDR (Station Messaging Detail Record), у Ericsson – CIL (Call Information Logging). Під різними назвами криється один і той самий сенс – збереження повної інформації про всі виклики.

Call Detail Record (CDR, або Call Data Record, або Charging Data Records) – сервіс, що забезпечує повне журналювання роботи телефонної системи.

CDR-запис – це метадані, дані про дані. CDR-запис містить поля, значення в яких повністю описують сеанс передачі даних (у цьому випадку голосових даних), але не містять їх. Спочатку система, яка генерує і зберігає записи, схожі на CDR, була розроблена в США в 1950-х рр. після появи DDD (Direct Distance Dialing) для 11 міст США і називалася АМА (Automatic Message Accounting).

У більшості випадків саме CDR використовується для розрахунку кінцевої вартості дзвінка для абонента, і на підставі даних з CDR виставляють рахунки абоненту. CDR є основним інструментом для роботи операторського білінгу. Також, використовуючи CDR, оператори прогнозують піки навантаження, будують моделі поведінки абонентів, розраховують прибутковість або збитковість різних нововведень у тарифікації і маркетингових акцій. У телефонних системах пристрої, що генерують CDR-записи, і пристрої, що обробляють CDR-записи, можуть різнитися.

Існує безліч ПЗ для обробки CDR: від простих аналізаторів до складних білінгових систем.

У різних системах і на різному обладнанні дані CDR містять різні поля, найчастіше вони конфігуруються. Основні поля, необхідні для розрахунків білінгу, присутні завжди, розглянемо їх на прикладі Asterisk [32]:

1. *Поле:* accountcode;

Приклад: 54321;

Опис: An account ID. This field is user-defined and is empty by default;

Переклад: Код акаунта для білінгу. За замовчуванням не заданий.

2. *Поле:* src;

Приклад: 8123216111;

Опис: The calling party's caller ID number. It is set automatically and is read-only;

Переклад: Ідентифікатор абонента. Встановлюється автоматично і доступний тільки для читання.

3. *Поле:* dst;

Приклад: 111;

Опис: The destination extension for the call. This field is set automatically and is read-only;

Переклад: Пункт призначення виклику. Встановлюється автоматично і доступний тільки для читання.

4. *Поле:* dcontext;

Приклад: from-internal;

Опис: The destination context for the call. This field is set automatically and is read-only;

Переклад: Контекст обробки виклику. Встановлюється автоматично і доступний тільки для читання.

5. *Поле:* clid;

Приклад: «sip1» <8123216111>;

Опис: The full caller ID, including the name, of the calling party. This field is set automatically and is read-only;

Переклад: Повний Caller ID абонента, який здійснює виклик. Встановлюється автоматично і доступний тільки для читання.

6. *Поле:* channel;

Приклад: SIP / 0004F2040808-a1bc23ef;

Опис: The calling party's channel. This field is set automatically and is read-only;

Переклад: Канал – ініціатор виклику. Встановлюється автоматично і доступний тільки для читання.

7. *Поле:* dstchannel;

Приклад: SIP / 0004F2046969-9786b0b0;

Опис: The called party's channel. This field is set automatically and is read-only;

Переклад: Канал призначення виклику. Встановлюється автоматично і доступний тільки для читання.

8. *Поле:* lastapp;

Приклад: Dial;

Опис: The last dialplan application that was executed. This field is set automatically and is read-only;

Переклад: Останній додаток обробки виклику. Встановлюється автоматично і доступний тільки для читання.

9. *Поле:* lastdata;

Приклад: SIP / 0004F2046969,30, tT;

Опис: The arguments passed to the lastapp. This field is set automatically and is read-only;

Переклад: Аргумент останньої виконаної команди додатку обробки виклику. Встановлюється автоматично і доступний тільки для читання.

10. *Поле:* start;

Приклад: 27.05.2014 12:02;

Опис: The start time of the call. This field is set automatically and is read-only;

Переклад: Час надходження виклику. Встановлюється автоматично і доступний тільки для читання.

11. *Поле:* answer;

Приклад: 27.05.2014 12:02;

Опис: The answered time of the call. This field is set automatically and is read-only;

Переклад: Час відповіді на виклик. Встановлюється автоматично і доступний тільки для читання.

12. *Поле:* end;

Приклад: 27.05.2014 12:08;

Опис: The end time of the call. This field is set automatically and is read-only;

Переклад: Час закінчення з'єднання. Встановлюється автоматично і доступний тільки для читання.

13. *Поле:* duration;

Приклад: 195;

Опис: The number of seconds between the start and end times for the call. This field is set automatically and is read-only;

Переклад: Тривалість виклику. Встановлюється автоматично і доступно тільки для читання.

14. *Поле:* billsec;

Приклад: 180;

Опис: The number of seconds between the answer and end times for the call. This field is set automatically and is read-only;

Переклад: Тривалість з'єднання з моменту відповіді. Встановлюється автоматично і доступно тільки для читання.

15. *Поле:* disposition;

Приклад: ANSWERED;

Опис: An indication of what happened to the call. This may be NO ANSWER, FAILED, BUSY, ANSWERED, or UNKNOWN;

Переклад: Стан обробки виклику. Може набувати таких значень: «немає відповіді», «невдало», «зайнято», «отримано відповідь» або «невідомо».

16. *Поле:* amaflags;

Приклад: DOCUMENTATION;

Опис: The Automatic Message Accounting (AMA) flag associated with this call. This may be one of the following: OMIT, BILLING, DOCUMENTATION, or Unknown;

Переклад: Прапор АМА, може набувати таких значень: «не документувати дзвінок», «документувати для тарифікації», «документувати без тарифікації» або «невідомо».

17. *Поле:* userfield;

Приклад: PerMinuteCharge ;;

Опис: A general-purpose user field. This field is empty by default and can be set to a user-defined string;

Переклад: Поле користувача загального призначення. За замовчуванням не задано.

18. *Поле:* uniqueid;

Приклад: 1288332400.1;

Опис: The unique ID for the src channel. This field is set automatically and is read-only;

Переклад: Унікальний ідентифікатор вихідного каналу. Встановлюється автоматично і доступний тільки для читання.

Цей список не є вичерпним, він дає зрозуміти характер основних даних, що зберігаються в CDR. Наприклад, у системах виробництва Cisco і Avaya можливих полів в CDR значно більше; їх більше ніж 100. Під час роботи з CDR необхідно враховувати, що нові записи генеруються в CDR тільки після закінчення події, у нашому випадку – голосового виклику. Велика частина телекомунікаційного обладнання за замовчуванням зберігає CDR-записи в текстових файлах *.csv (Comma-separated values), для більшої зручності роботи з великими обсягами даних краще зберігати CDR у вигляді БД, наприклад, MySQL.

Надалі CDR-записи використовуються як основний інструмент для аналізу й подальшої маршрутизації голосових викликів.

Основним критерієм для вдосконалення маршрутизації є надання максимально якісної послуги за мінімально можливою вартістю. Виходячи з цього, найбільш цікавими з погляду аналізу для подальшої маршрутизації показниками є вартість і якість. Розглянемо ці параметри.

3.2.1. Вартість хвилини розмови

Вартість хвилини розмови зазвичай представлена в тарифному плані оператора в USD/хв. і є різною для префіксів напрямку телефонних номерів. Пошук тарифу згідно з префіксом телефонного номера має здійснюватись за найбільш точним префіксом з наявної бази тарифів. Наприклад, тарифи на дзвінки в Албанію подано в табл. 3.1, де перша колонка – назва напрямку, друга – його префікс, третя – тариф у USD/хв.

У більшості операторів існують різні тарифи на одні й ті самі напрямки залежно від якості послуг, що надаються. Тарифи можуть значно відрізнятися залежно від обраного пакета послуг. Усі ці тарифи слід враховувати під час вибору оптимального маршруту, оскільки при різній тарифікації показники якості можуть відрізнятися незначно. Приклад вібрки з БД тарифів зображено у табл. 3.1.

У середньому тарифи перебувають у межах від \$0 за хвилину розмови для безкоштовних напрямків (внутрішньомережеві тарифи, номери 0

800) і до \$35 за хвилину розмови для супутникових і спеціальних платних номерів. Логічно, що переважною є більш низька вартість.

Табл. 3.1. Приклад тарифів

Напрямки	Префікс	Вартість
Albania	355	0,03266
Albania Cellular-AMC	35568	0,14228
Albania Cellular-Eagle	35567	0,14805
Albania Cellular-Plus	35566	0,17999
Albania Cellular-Vodafone	35569	0,1365
Albania, Tirana	355422	0,02478
Albania, Tirana	355423	0,02478

Під час складання опису тарифу слід враховувати часову складову, оскільки деякі оператори використовують у своїх тарифних планах поняття бізнес/не бізнес-час.

В середньому на один пакет послуг одного провайдера припадає близько 20 000 рядків у таблиці тарифікації.

3.2.2. Якість голосового зв'язку

Маршрутизація за критерієм найменшої вартості може негативно позначитися на якості зв'язку за деякими напрямками. Надаючи низькі тарифи, оператори можуть економити на якості послуг.

Для контролю якості надаваних операторами послуг Міжнародний союз електрозв'язку (ITU) рекомендує використовувати такі коефіцієнти: ASR і ACD [33].

3.2.2.1. Answer Seizure Ratio

ASR (Answer Seizure Ratio) – статистичний параметр, що визначає якість зв'язку в заданому напрямку через певний вузол телефонії (або IP-телефонії). ASR розраховується як відсоткове відношення кількості викликів, на які отримано відповідь, до загальної кількості спроб викликів у заданому напрямку: $ASR = (\text{сеанси зв'язку, що відбулися/спроби}) \cdot 100\%$. Значення ASR може бути від 1 до 100%. Загальний вираз для розрахунку ASR можна записати так:

$$ASR(T_0 \dots T_0 + \Delta T) = \frac{\sum_{j=1}^{j=N} ans}{N} \cdot 100\%, \quad (3.12)$$

де T_0 – початок часового інтервалу ΔT ; j – номер виклику; N – кількість викликів на інтервалі ΔT ; ans – прапор успішності виклику (міститься в CDR).

Для розрахунку ASR із записів CDR в БД, необхідно зробити вибірку з БД, наприклад, такого вигляду:

```
select disposition, count(*) from cdr group by disposition
```

На виході цього запиту отримаємо дані такого вигляду:

ANSWERED, 220

BUSY, 74

У такому випадку $ASR=74,8\%$.

Для розрахунку значення ASR за яким-небудь напрямком або каналом до запиту можна додавати одне або кілька обмежень.

Переважає вище значення ASR.

У рекомендації Міжнародного союзу електрозв'язку ITU E.426 GENERAL GUIDE TO THE PERCENTAGE OF EFFECTIVE ATTEMPTS WHICH SHOULD BE OBSERVED FOR INTERNATIONAL TELEPHONE CALLS виділяють три рівні вдалих спроб викликів (Effective Call Attempts):

- а) низький рівень: менше ніж 30%;
- б) середній рівень: від 30% до 60%;

в) високий рівень: більше ніж 60% [34].

3.2.2.2. Average Call Duration

ACD (Average Call Duration) – статистичний параметр телефонії, що показує середню тривалість виклику за тим чи іншим напрямком. Значення ACD зазвичай обчислюється на основі даних з CDR. Нерідко ACD використовується операторами для оцінювання попиту на напрямки.

ASR і ACD визначені Міжнародним союзом електрозв'язку у його рекомендаціях [35; 36; 37]. Загальний вираз для розрахунку ACD можна записати так:

$$ACD(T_0 \dots T_0 + \Delta T) = \frac{\sum_{j=1}^{j=N} \Delta t_j}{\sum_{j=1}^{j=N} ans}, \quad (3.13)$$

де T_0 – початок часового інтервалу ΔT , j – номер виклику, N – кількість викликів на інтервалі ΔT , Δt_j – тривалість j -го виклику на інтервалі ΔT (міститься в CDR).

Для розрахунку ACD із записів CDR в БД необхідно зробити вибірку із БД, наприклад, такого вигляду:

```
select sum(billsecs), count(*) from cdr where disposition = "ANSWERED",
```

де *select sum(billsecs)* – загальна кількість тарифкованих секунд,
count() from cdr where disposition = "ANSWERED"* – загальна кількість успішних викликів.

Для розрахунку значення ACD за яким-небудь напрямком або каналом до запиту можна додавати одне або кілька обмежень.

Переважним є вище значення ACD.

Для різних напрямків задовільний показник ACD буде різним, наприклад, дзвінки на більш дорогі напрямки матимуть нижчий ACD, ніж дзвінки на дешевші напрямки.

Як правило, вказані параметри оператори IP-телефонії надають разом з тарифними планами.

Спочатку можна використовувати параметри, які надає оператор, але в подальшому їх краще розраховувати самостійно за кожним напрямком, виходячи з CDR. Використання ASR і ACD як параметрів якості голосового VoIP зв'язку практикується і рекомендовано багатьма дослідниками й практиками [38–41].

3.2.3. Контроль якості зв'язку

У ході досліджень з'ясувалося, що параметри ASR і ACD характеризують якість зв'язку за довший період часу, ніж тривалість більшості полумок, і повільно змінюються при тимчасовому порушенні якості зв'язку (наприклад, при виході з ладу апаратури провайдера). Як ми вже зазначали вище, ці параметри разом з тарифними планами зазвичай надають оператори IP-телефонії.

Під час тривалої роботи білінгу параметри ASR і ACD змінюються недостатньо швидко через велику кількість «позитивних» записів у CDR. Вони характеризують «репутацію» провайдера, але навіть найякісніший провайдер не застрахований від форс-мажорних ситуацій. При тимчасовому погіршенні якості зв'язку (поломки) система, заснована тільки на цих параметрах, не зможе швидко відреагувати, і кінцевий споживач отримає зв'язок поганої якості, а провайдер – втрату репутації.

Для більшої гнучкості системи необхідно враховувати і короткострокові зміни параметрів. Розрахунок ASR і ACD за певний період часу (для завантажених і найприбутковіших напрямків, наприклад, за 12 годин) і їх використання в алгоритмі вибору маршруту дасть змогу системі швидко реагувати на перебої в роботі операторів зв'язку. Вагові коефіцієнти цих синтетичних параметрів мають бути вищими, ніж в оригінальних ASR і ACD.

На графіках (рис. 3.3) показані залежності ASR і ACD, розраховані класичним методом і за короткий проміжок часу (ASR^* , ACD^*). Товстою горизонтальною лінією на графіках показано деяке мінімально прийнятне значення параметрів. Вертикальними лініями показано час початку й

закінчення «поломок». Площі під графіками (позначені сірим) показують період простою або неякісного обслуговування під час класичного розрахунку ASR/ACD і під час розрахунку за короткий проміжок часу.

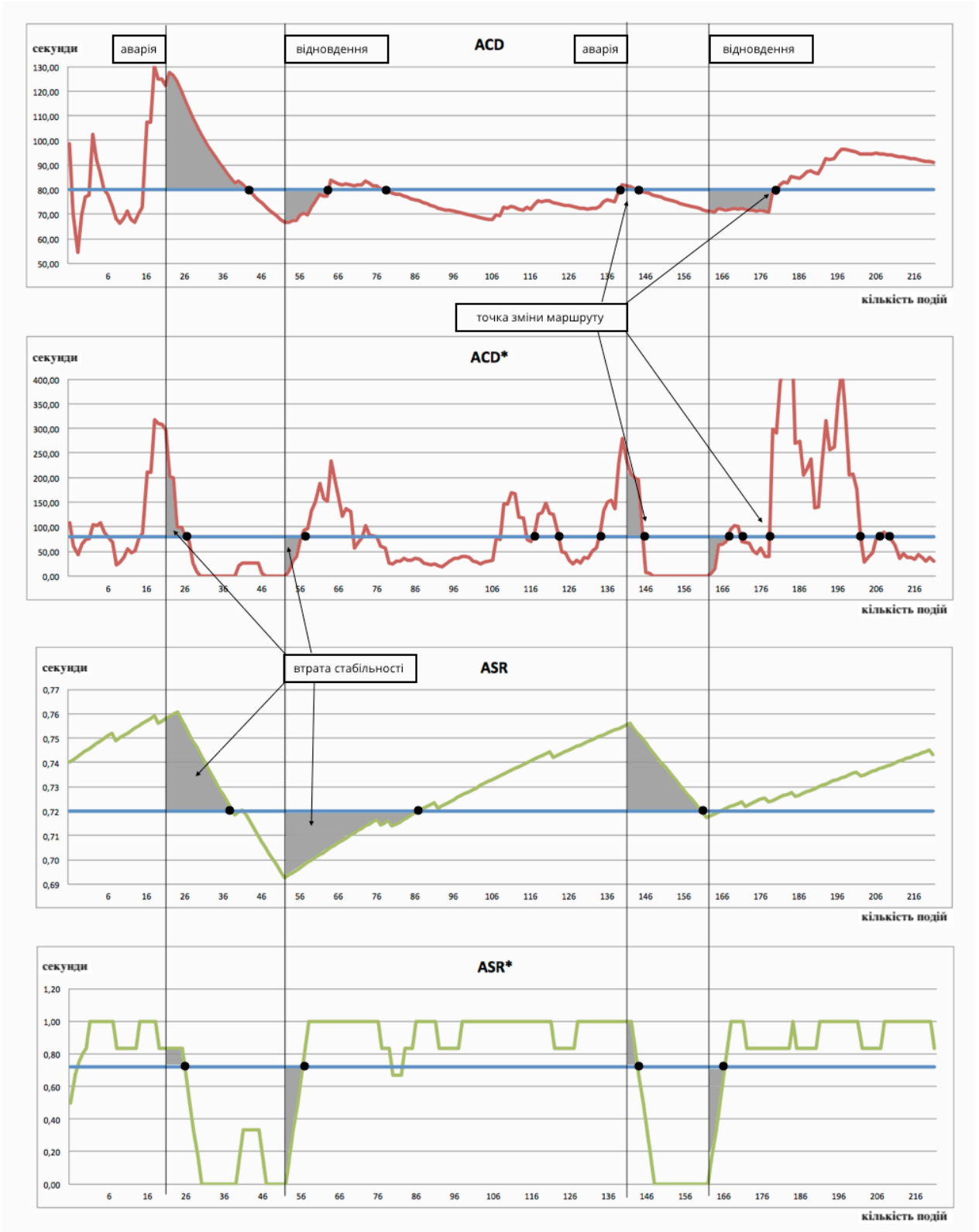


Рис. 3.3. ASR, ACD та їх розрахунок

Видно, що під час обліку короткострокових змін ASR і ACD кількість неякісних дзвінків або тих, що не відбулися, значно зменшується, тим самим зменшуючи фінансові та репутаційні втрати провайдера.

У запропонованій схемі розрахунку і використання ASR* та ACD* виникають такі особливості, які необхідно враховувати під час маршрутизації:

1) Провайдер 1, у якого виникли тимчасові проблеми з якістю зв'язку, виключається з маршрутизації, а його місце займає Провайдер 2 з нижчим рейтингом. Оскільки дзвінки скеровуються через Провайдера 2, у Провайдера 1 показники ASR і ACD не змінюються. Повернення дзвінків до Провайдера 1 є можливим лише тоді, коли показники якості Провайдера 2 знизяться. Отже, система буде маршрутизувати дзвінки через менш якісного провайдера, навіть коли тимчасові проблеми у більш якісного провайдера будуть вирішені. Для виходу з такої ситуації слід раз на 12 год розрахункове значення ASR* та ACD* прирівнювати до оригінального значення ASR і ACD, розрахованого за записами CDR класичним методом за весь період роботи системи. При частих поломках у певного провайдера значення його параметрів ASR і ACD знизяться, і такий провайдер буде знижений у рейтингу;

2) якщо параметри якості розраховуються тільки для найбільш завантажених ліній, то слід зазначити, що їх список не постійний: одні напрямки стають більш популярними, інші – менш популярними. Для обліку цих змін список слід оновлювати з певною періодичністю (наприклад, раз на місяць). Значення ASR* та ACD* для нових ліній у цьому списку слід прирівнювати до ASR і ACD, розрахованих класичним методом.

З метою аналізу поведінки параметрів якості у праці В.В. Тарана [42] за допомогою методу апроксимаційного моделювання запропоновано прогнозування поведінки якості на основі поліноміальної апроксимації статистичних даних CDR. За допомогою поліноміальної апроксимації, як показано у праці [42], можна розраховувати час ΔT , період вибірки даних з CDR для розрахунку ASR* та ACD*. Це дослідження засвідчує, що якість характеризується короткочасними послідовними періодами зростання та

спаду, які є циклічними в часі, тому використання статистичних даних CDR для побудови моделі й аналізу її адекватності є допустимим. Однак на рис. 3.4 також добре видно, що можна прогнозувати періоди нестабільності, але не поведінку системи в цілому.

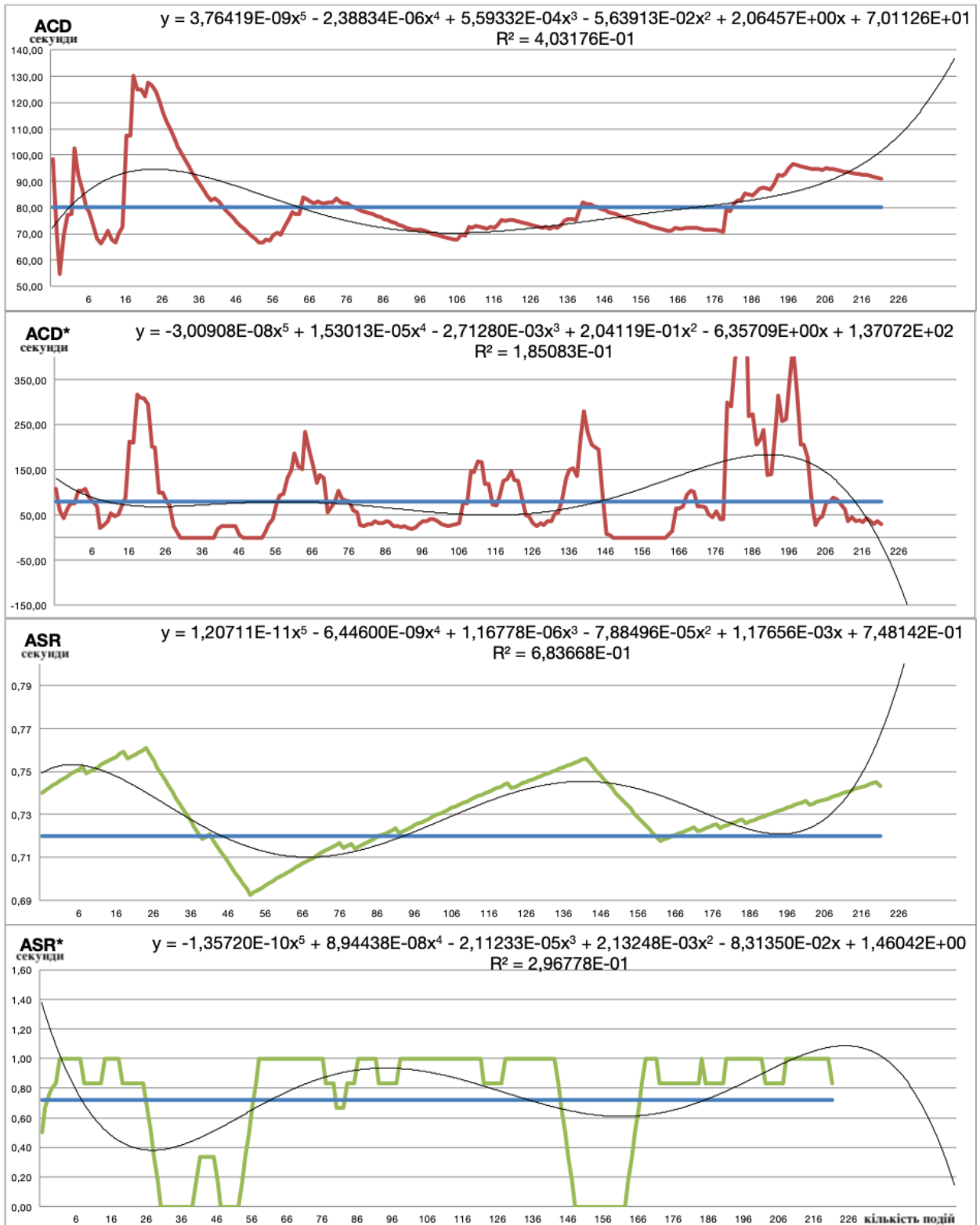


Рис. 3.4. Поліноміальна апроксимація ASR, ACD, ASR*, ACD*

3.2.4. Додаткові параметри

Крім очевидних і основних параметрів якості та вартості, слід враховувати додаткові параметри, наприклад:

- для передачі факсів через VoIP необхідна підтримка протоколу T.38 або кодека G711. Якщо дзвінок ініційований для передачі факсу, маршрутизувати його через лінію, яка не відповідає цим критеріям, немає сенсу;
- за необхідності шифрування голосового виклику слід перевірити підтримку та використання протоколів SRTP/TLS на лініях, доступних для маршрутизації;
- для ліній з обмеженою кількістю одночасно можливих голосових викликів (E1/T1 потоки, GSM шлюзи і т.д.) перед спробою дозвону слід перевірити кількість вільних ліній.

3.2. Висновки

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. Для розрахунку всіх необхідних параметрів скористаємося тільки полями CDR, які відповідають таким позначенням в Asterisk PBX:

- disposition;
- billsecs;
- dst;
- dstchannel;
- start.

Математичний апарат алгоритму маршрутизації має бути простим у реалізації, оскільки розрахунок проводиться для кожного нового дзвінка (або

складаються таблиці маршрутизації під час зміни параметрів розрахунку) та виконується на обчислювальних машинах обмеженою потужності (наприклад, апаратні маршрутизатори VoIP). Принаймні програмна реалізація алгоритму, що розробляється, не повинна бути значно складнішою за реалізацію динамічної маршрутизації на основі порівняльного аналізу вартості маршрутів (LCR), яка використовується на сьогодні.

Впровадження в алгоритм динамічної маршрутизації синтетичних параметрів, розрахованих на основі ASR і ACD за короткий проміжок часу, дасть змогу зробити систему більш гнучкою. Гнучкість системи дасть можливість зменшити витрати на адміністрування сервісу голосової IP-телефонії і поліпшити якість послуг, що надаються.

4. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ МЕТРИКИ ДЛЯ ВИБОРУ ПРОВАЙДЕРА

З попередніх розділів випливає, що алгоритм і математичний апарат вибору провайдера мають бути максимально простими та використовувати існуючі методи й доступні дані.

Найбільш простим математичним алгоритмом вибору провайдера є порівняння показників, як це реалізовано в LCR (порівняння вартості). Ми можемо вдосконалити маршрутизацію за LCR, додавши до порівняння показники якості, описані в розділах 1 і 3.

Якщо LCR використовує тільки показник вартості, а нам необхідно додати до 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 і більш високих порядків впливу зміни параметрів на ступінь зміни функції.

$$\begin{aligned} Q = Q^* + [(\partial Q/\partial price)(\Delta price/price)]price + \\ [(\partial Q/\partial ASR)(\Delta ASR/ASR)]ASR + [(\partial Q/\partial ASR^*)(\Delta ASR^*/ASR^*)]ASR^* + \\ [(\partial Q/\partial ACD)(\Delta ACD/ACD)]ACD + \\ [(\partial Q/\partial ACD^*)(\Delta ACD^*/ACD^*)]ACD^*, \end{aligned} \quad (4.1)$$

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

Представимо вагові коефіцієнти параметрів у вигляді a, b, c, d, відповідно, Q буде мати вигляд:

$$Q = a*price + b*ASR + c*ASR^* + d*ACD + e*ACD^*, \quad (4.2)$$

де a, b, c, d, e – вагові коефіцієнти параметрів.

Для знаходження цих вагових коефіцієнтів можна скористатися регресійним аналізом [43]. Оскільки значення Q залежить одразу від 5 змінних, для знаходження коефіцієнтів цих змінних ми скористаємося моделюванням з використанням множинної регресії. Рівняння множинної регресії має такий вигляд та

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k \quad (4.3)$$

та відповідає рівнянню для розрахунку коефіцієнта Q.

4.1. Експериментальні дані

Ми моделюємо поведінку системи за участю адміністратора під час вибору найкращого маршруту. Кінцевою метою є розробка системи, що автоматизує його працю. Для регресійного аналізу експериментальні дані – це показники спостереження за об’єктом моделювання, у нашому випадку – системи голосового зв’язку під управлінням.

Для отримання експериментальних даних можна скористатися експертною оцінкою провайдера, здійсненою адміністратором. Ця оцінка називається «Середнє значення оцінки» і є найбільш широко використовуваним суб’єктивним показником рівня сервісу, вона описана і рекомендована в ITU-T standard P.800.

Трьом адміністраторам великих телекомунікаційних операторів зі стажем роботи не менше ніж 3 роки було запропоновано оцінити провайдерів з різними показниками якості та вартості. У табл. 4.1 наведені показники якості, вартості та оцінки експертів (адміністраторів). Показники якості й вартості розраховані або взяті з CDR українського провайдера VoIP телефонії. Значення Q середнє є вектором залежної змінної Y, а показники якості й вартості є параметрами, що впливають на вибір експертів, тобто матрицею змінних X.

Табл. 4.1. Експертна оцінка провайдерів

	Стоимость, \$/хв	ASR	ASR*	ACD	ACD*	Q, середнє	Експерт №1	Експерт №2	Експерт №3
Провайдер 1	0,038	0,800	0,730	125,000	156,000	8,00	9	8	7
Провайдер 2	0,036	0,510	0,670	117,000	123,000	6,00	6	7	5
Провайдер 3	0,031	0,570	0,570	30,000	75,000	4,33	3	6	4
Провайдер 4	0,030	0,370	0,430	122,000	155,000	5,33	4	7	5
Провайдер 5	0,038	0,790	0,730	119,000	114,000	6,67	6	7	7
Провайдер 6	0,050	0,540	0,650	120,000	111,000	5,00	3	6	6

Провайдер 7	0,035	0,750	0,720	140,000	120,000	7,33	8	8	6
-------------	-------	-------	-------	---------	---------	------	---	---	---

4.2. Рівняння множинної регресії

Рівняння множинної регресії може бути подано у вигляді:

$$Y = f(\beta, X) + \varepsilon, \quad (4.4)$$

де $X = X(X_1, X_2, \dots, X_m)$ – вектор незалежних (пояснювальних) змінних;

β – вектор параметрів (що підлягають визначенню);

ε – випадкова помилка (відхилення);

Y – залежна (пояснювана) змінна.

Теоретичне лінійне рівняння множинної регресії (з урахуванням відхилення) має вигляд:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m + \varepsilon, \quad (4.5)$$

де β_0 – вільний член, який визначає значення Y , у разі, коли всі пояснювальні змінні X_j дорівнюють 0.

Емпіричне рівняння множинної регресії подамо у вигляді:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_1 X_1 + \dots + b_m X_m + e, \quad (4.6)$$

де b_0, b_1, \dots, b_m – оцінки теоретичних значень $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ коефіцієнтів регресії (емпіричні коефіцієнти регресії);

e – оцінка відхилення ε .

Для оцінювання параметрів рівняння множинної регресії застосовують МНК (метод найменших квадратів).

4.2.1. Оцінка рівняння регресії

Визначимо вектор оцінок коефіцієнтів регресії. Відповідно до методу найменших квадратів, вектор s (шукані вагові коефіцієнти перед параметрами) виходить з виразу:

$$s = (X^T X)^{-1} X^T Y. \quad (4.7)$$

Матриця X складена з параметрів, що впливають на вибір адміністратора (див. табл. 4.1):

$$X = \begin{pmatrix} 1 & 0,038 & 0,8 & 0,73 & 125 & 156 \\ 1 & 0,036 & 0,51 & 0,67 & 117 & 123 \\ 1 & 0,031 & 0,57 & 0,57 & 30 & 75 \\ 1 & 0,03 & 0,37 & 0,43 & 122 & 155 \\ 1 & 0,038 & 0,79 & 0,73 & 119 & 114 \\ 1 & 0,05 & 0,54 & 0,65 & 120 & 111 \\ 1 & 0,035 & 0,75 & 0,72 & 140 & 120 \end{pmatrix}.$$

Матриця Y :

$$Y = \begin{pmatrix} 8 \\ 6 \\ 4,33 \\ 5,33 \\ 6,67 \\ 5 \\ 7,33 \end{pmatrix}.$$

Матриця X^T :

$$X^T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0,038 & 0,036 & 0,031 & 0,03 & 0,038 & 0,05 & 0,035 \\ 0,8 & 0,51 & 0,57 & 0,37 & 0,79 & 0,54 & 0,75 \\ 0,73 & 0,67 & 0,57 & 0,43 & 0,73 & 0,65 & 0,72 \\ 125 & 117 & 30 & 122 & 119 & 120 & 140 \\ 156 & 123 & 75 & 155 & 114 & 111 & 120 \end{pmatrix}.$$

Множимо матриці, $(X^T X)$:

$$X^T X = \begin{pmatrix} 7 & 0,26 & 4,33 & 4,5 & 773 & 854 \\ 0,26 & 0,00977 & 0,16 & 0,17 & 28,97 & 31,41 \\ 4,33 & 0,16 & 2,84 & 2,88 & 485,72 & 527,63 \\ 4,5 & 0,17 & 2,88 & 2,97 & 504,87 & 547,46 \\ 773 & 28,97 & 485,72 & 504,87 & 93259 & 98737 \\ 854 & 31,41 & 527,63 & 547,46 & 98737 & 108832 \end{pmatrix}.$$

Множимо матриці, $(X^T Y)$:

$$X^T Y = \begin{pmatrix} 42,67 \\ 1,57 \\ 27,37 \\ 28,02 \\ 4902,67 \\ 5332,67 \end{pmatrix}.$$

Знаходимо обернену матрицю $(X^T X)^{-1}$:

$$(X^T X)^{-1} =$$

$$= \begin{pmatrix} 21,2 & -131,49 & 8,78 & -26,27 & 0,0689 & -0,1 \\ -131,49 & 6818,13 & 188,59 & -371,31 & -0,48 & 0,45 \\ 8,78 & 188,59 & 35,38 & -56,04 & 0,0371 & -0,0466 \\ -26,27 & -371,31 & -56,04 & 110,55 & -0,1 & 0,12 \\ 0,0689 & -0,48 & 0,0371 & -0,1 & 0,000527 & -0,000539 \\ -0,1 & 0,45 & -0,0466 & 0,12 & -0,000539 & 0,00077 \end{pmatrix}$$

Вектор оцінок коефіцієнтів регресії:

$$Y(X) = (X^T X)^{-1} X^T Y. \quad (4.8)$$

$$Y(X) = \begin{pmatrix} -0,82 \\ -57,06 \\ 2,93 \\ 5,78 \\ 0,00608 \\ 0,0232 \end{pmatrix}.$$

Таким чином, отримуємо рівняння регресії:

$$Y = -0.82 - 57.06X_1 + 2.93X_2 + 5.78X_3 + 0.00608X_4 + 0.0232X_5.$$

4.2.2. Матриця парних коефіцієнтів кореляції R

Кількість спостережень $n = 7$. Кількість незалежних змінних у моделі дорівнює 5, а кількість регресорів з урахуванням одиничного вектора дорівнює кількості невідомих коефіцієнтів. З урахуванням ознаки Y розмірність матриці стає рівною 7. Матриця незалежних змінних X має розмірність (7×7) .

Матриця, складена з Y і X :

$$\begin{pmatrix} 1 & 8 & 0,038 & 0,8 & 0,73 & 125 & 156 \\ 1 & 6 & 0,036 & 0,51 & 0,67 & 117 & 123 \\ 1 & 4,33 & 0,031 & 0,57 & 0,57 & 30 & 75 \\ 1 & 5,33 & 0,03 & 0,37 & 0,43 & 122 & 155 \\ 1 & 6,67 & 0,038 & 0,79 & 0,73 & 119 & 114 \\ 1 & 5 & 0,05 & 0,54 & 0,65 & 120 & 111 \\ 1 & 7,33 & 0,035 & 0,75 & 0,72 & 140 & 120 \end{pmatrix}.$$

Транспонована матриця:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 8 & 6 & 4,33 & 5,33 & 6,67 & 5 & 7,33 \\ 0,038 & 0,036 & 0,031 & 0,03 & 0,038 & 0,05 & 0,035 \\ 0,8 & 0,51 & 0,57 & 0,37 & 0,79 & 0,54 & 0,75 \\ 0,73 & 0,67 & 0,57 & 0,43 & 0,73 & 0,65 & 0,72 \\ 125 & 117 & 30 & 122 & 119 & 120 & 140 \\ 156 & 123 & 75 & 155 & 114 & 111 & 120 \end{pmatrix}.$$

Матриця $A^T A$:

$$\begin{pmatrix} 7 & 42,67 & 0,26 & 4,33 & 4,5 & 773 & 854 \\ 42,67 & 270,44 & 1,57 & 27,37 & 28,02 & 4902,67 & 5332,67 \\ 0,26 & 1,57 & 0,00977 & 0,16 & 0,17 & 28,97 & 31,41 \\ 4,33 & 27,37 & 0,16 & 2,84 & 2,88 & 485,72 & 527,63 \\ 4,5 & 28,02 & 0,17 & 2,88 & 2,97 & 504,87 & 547,46 \\ 773 & 4902,67 & 28,97 & 485,72 & 504,87 & 93259 & 98737 \\ 854 & 5332,67 & 31,41 & 527,63 & 547,46 & 98737 & 108832 \end{pmatrix}.$$

Отримана матриця має таку відповідність:

$$\begin{pmatrix} \sum n & \sum y & \sum x_1 & \sum x_2 & \sum x_3 & \sum x_4 & \sum x_5 \\ \sum y & \sum y^2 & \sum x_1 y & \sum x_2 y & \sum x_3 y & \sum x_4 y & \sum x_5 y \\ \sum x_1 & \sum y x_1 & \sum x_1^2 & \sum x_2 x_1 & \sum x_3 x_1 & \sum x_4 x_1 & \sum x_5 x_1 \\ \sum x_2 & \sum y x_2 & \sum x_1 x_2 & \sum x_2^2 & \sum x_3 x_2 & \sum x_4 x_2 & \sum x_5 x_2 \\ \sum x_3 & \sum y x_3 & \sum x_1 x_3 & \sum x_2 x_3 & \sum x_3^2 & \sum x_4 x_3 & \sum x_5 x_3 \\ \sum x_4 & \sum y x_4 & \sum x_1 x_4 & \sum x_2 x_4 & \sum x_3 x_4 & \sum x_4^2 & \sum x_5 x_4 \\ \sum x_5 & \sum y x_5 & \sum x_1 x_5 & \sum x_2 x_5 & \sum x_3 x_5 & \sum x_4 x_5 & \sum x_5^2 \end{pmatrix}.$$

Знайдемо парні коефіцієнти кореляції.

$$r_{xy} = \frac{\overline{x \cdot y} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{s(x) \cdot s(y)}. \quad (4.9)$$

$$r_{yx1} = (0,22 - 0,0369 \cdot 6,1)/0,0061 \cdot 1,22 = 0,0339$$

$$r_{yx2} = (3,91 - 0,62 \cdot 6,1)/0,15 \cdot 1,22 = 0,755$$

$$r_{yx3} = (4 - 0,64 \cdot 6,1)/0,1 \cdot 1,22 = 0,682$$

$$r_{yx4} = (700,38 - 110,43 \cdot 6,1)/33,59 \cdot 1,22 = 0,667$$

$$r_{yx5} = (761,81 - 122 \cdot 6,1)/25,76 \cdot 1,22 = 0,58$$

$$r_{x1x2} = (0,023 - 0,62 \cdot 0,0369)/0,15 \cdot 0,0061 = 0,186$$

$$r_{x1x3} = (0,024 - 0,64 \cdot 0,0369)/0,1 \cdot 0,0061 = 0,463$$

$$r_{x1x4} = (4,14 - 110,43 \cdot 0,0369)/33,59 \cdot 0,0061 = 0,337$$

$$r_{x1x5} = (4,49 - 122 \cdot 0,0369)/25,76 \cdot 0,0061 = -0,0572$$

$$r_{x2x3} = (0,41 - 0,64 \cdot 0,62)/0,1 \cdot 0,15 = 0,866$$

$$r_{x2x4} = (69,39 - 110,43 \cdot 0,62)/33,59 \cdot 0,15 = 0,212$$

$$r_{x2x5} = (75,38 - 122 \cdot 0,62)/25,76 \cdot 0,15 = -0,023$$

$$r_{x3x4} = (72,12 - 110,43 \cdot 0,64)/33,59 \cdot 0,1 = 0,332$$

$$r_{x3x5} = (78,21 - 122 \cdot 0,64)/25,76 \cdot 0,1 = -0,0839$$

$$r_{x_4x_5} = (14105,29 - 122 \cdot 110,43)/25,76 \cdot 33,59 = 0,732$$

Табл. 4.2. Розрахунок парних коефіцієнтів кореляції

Ознаки x та y	$\sum x_i$	$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$	$\sum y_i$	$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$	$\sum x_i y_i$	$\overline{xy} = \frac{\sum x_i y_i}{n}$
Для y та x ₁	0.258	0.0369	42.667	6.095	1.574	0.225
Для y та x ₂	4.33	0.619	42.667	6.095	27.37	3.91
Для y та x ₃	4.5	0.643	42.667	6.095	28.02	4.003
Для y та x ₄	773	110.429	42.667	6.095	4902.667	700.381
Для y та x ₅	854	122	42.667	6.095	5332.667	761.81
Для x ₁ та x ₂	4.33	0.619	0.258	0.0369	0.161	0.023
Для x ₁ та x ₃	4.5	0.643	0.258	0.0369	0.168	0.024
Для x ₁ та x ₄	773	110.429	0.258	0.0369	28.974	4.139
Для x ₁ та x ₅	854	122	0.258	0.0369	31.413	4.488
Для x ₂ та x ₃	4.5	0.643	4.33	0.619	2.877	0.411
Для x ₂ та x ₄	773	110.429	4.33	0.619	485.72	69.389
Для x ₂ та x ₅	854	122	4.33	0.619	527.63	75.376
Для x ₃ та x ₄	773	110.429	4.5	0.643	504.87	72.124
Для x ₃ та x ₅	854	122	4.5	0.643	547.46	78.209
Для x ₄ та x ₅	854	122	773	110.429	98737	14105.286

Колінеарність – залежність між факторами. Як критерій мультиколінеарності може бути прийнято дотримання таких нерівностей:

$$r(x_j y) > r(x_k x_j) ; r(x_k y) > r(x_k x_j). \quad (4.10)$$

Табл. 4.3. Розрахунок парних коефіцієнтів кореляції

Ознаки x та y	$D(x) = \frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}^2$	$D(y) = \frac{\sum y_i^2}{n} - \bar{y}^2$	$s(x) = \sqrt{D(x)}$	$s(y) = \sqrt{D(y)}$
------------------	---	---	----------------------	----------------------

Для у та x_1	3.7E-5	1.483	0.0061	1.218
Для у та x_2	0.0231	1.483	0.152	1.218
Для у та x_3	0.0104	1.483	0.102	1.218
Для у та x_4	1128.245	1.483	33.589	1.218
Для у та x_5	663.429	1.483	25.757	1.218
Для x_1 та x_2	0.0231	3.7E-5	0.152	0.0061
Для x_1 та x_3	0.0104	3.7E-5	0.102	0.0061
Для x_1 та x_4	1128.245	3.7E-5	33.589	0.0061
Для x_1 та x_5	663.429	3.7E-5	25.757	0.0061
Для x_2 та x_3	0.0104	0.0231	0.102	0.152
Для x_2 та x_4	1128.245	0.0231	33.589	0.152
Для x_2 та x_5	663.429	0.0231	25.757	0.152
Для x_3 та x_4	1128.245	0.0104	33.589	0.102
Для x_3 та x_5	663.429	0.0104	25.757	0.102
Для x_4 та x_5	663.429	1128.245	25.757	33.589

Табл. 4.4. Матриця парних коефіцієнтів кореляції R

-	у	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
у	1	0.0339	0.755	0.682	0.667	0.58
x_1	0.0339	1	0.186	0.463	0.337	-0.0572
x_2	0.755	0.186	1	0.866	0.212	-0.023
x_3	0.682	0.463	0.866	1	0.332	-0.0839
x_4	0.667	0.337	0.212	0.332	1	0.732
x_5	0.58	-0.0572	-0.023	-0.0839	0.732	1

Якщо одна з нерівностей не дотримується, то виключається той параметр x_k або x_j , зв'язок якого з результативним показником Y виявляється найменш тісним.

Для відбору найбільш значущих чинників x_i враховуються такі умови:

- зв'язок між результативною ознакою і факторною має бути вищим за межфакторний зв'язок;
- зв'язок між факторами має бути не більше ніж 0,7. Якщо в матриці є міжфакторний коефіцієнт кореляції $r_{x_j x_i} > 0,7$, то в цій моделі множинної регресії існує мультиколінеарність;
- при високому міжфакторному зв'язку ознаки відбираються фактори з меншим коефіцієнтом кореляції між ними.

Якщо факторні змінні пов'язані суворою функціональною залежністю, то це свідчить про повну мультиколінеарність. У цьому випадку серед стовпців матриці факторних змінних X є лінійно залежні стовпці; і за властивістю визначників матриці: $\det(X^T X) = 0$.

Мультиколінеарність, при якій факторні змінні пов'язані певною стохастичною залежністю, називається частковою. Якщо між факторними змінними є високий ступінь кореляції, то матриця $(X^T X)$ близька до виродженої, тобто $\det(X^T X) \approx 0$ (чим ближче до 0 визначник матриці міжфакторної кореляції, тим сильнішою є мультиколінеарність факторів і ненадійнішими результати множинної регресії).

У нашому випадку $r_{x_2 x_3}$, $r_{x_4 x_5}$ мають $|r| > 0,7$, що свідчить про мультиколінеарність, що логічно, оскільки X_2 та X_3 є залежними та відповідають за показники ASR, а X_4 та X_5 – за показники ACD. Ці змінні – колінеарні, розраховуються на підставі одних і тих самих даних, але швидкість їх зміни різна. Змінні X_2 і X_3 показують довгострокову репутацію провайдера, тоді як X_4 і X_5 – короткострокову зміну показників якості. Отже, навіть якщо параметри X_2 , X_3 і X_4 , X_5 є колінеарними, ми все одно будемо використовувати їх у рівнянні розрахунку коефіцієнта Q .

4.3. Модель регресії в стандартному масштабі

Модель регресії в стандартному масштабі передбачає, що всі значення досліджуваних ознак переводяться в стандарти (стандартизовані значення) за формулами:

$$t_j = \frac{x_{ji} - \bar{x}_j}{S(x_j)}, \quad (4.11)$$

де x_{ji} – значення змінної x_{ji} в i -му спостереженні.

$$t_y = \frac{y_i - \bar{y}}{S(y)}. \quad (4.12)$$

Таким чином, початок відліку кожної стандартизованої змінної поєднується з її середнім значенням, а як одиницю зміни приймають її середнє квадратичне відхилення S .

Якщо зв'язок між змінними в природному масштабі лінійна, то зміна початку відліку і одиниці вимірювання цієї властивості не порушать, тому й стандартизовані змінні будуть пов'язані лінійним співвідношенням:

$$t_y = \sum \beta_j t_{x_j}. \quad (4.13)$$

Для оцінювання β -коефіцієнтів застосуємо МНК. При цьому система нормальних рівнянь буде мати такий вигляд:

$$r_{x_1y} = \beta_1 + r_{x_1x_2} \cdot \beta_2 + \dots + r_{x_1x_m} \cdot \beta_m$$

$$r_{x_2y} = r_{x_2x_1} \cdot \beta_1 + \beta_2 + \dots + r_{x_2x_m} \cdot \beta_m$$

...

$$r_{x_my} = r_{x_mx_1} \cdot \beta_1 + r_{x_mx_2} \cdot \beta_2 + \dots + \beta_m$$

(4.14)

Для наших даних (беремо з матриці парних коефіцієнтів кореляції):

$$0.0339 = \beta_1 + 0.186\beta_2 + 0.463\beta_3 + 0.337\beta_4 - 0.0572\beta_5$$

$$0.755 = 0.186\beta_1 + \beta_2 + 0.866\beta_3 + 0.212\beta_4 - 0.023\beta_5$$

$$0.682 = 0.463\beta_1 + 0.866\beta_2 + \beta_3 + 0.332\beta_4 - 0.0839\beta_5$$

$$0.667 = 0.337\beta_1 + 0.212\beta_2 + 0.332\beta_3 + \beta_4 + 0.732\beta_5$$

$$0.58 = -0.0572\beta_1 - 0.023\beta_2 - 0.0839\beta_3 + 0.732\beta_4 + \beta_5$$

Цю систему лінійних рівнянь вирішуємо методом Гаусса:

$$\beta_1 = -0.286; \beta_2 = 0.365; \beta_3 = 0.483; \beta_4 = 0.168; \beta_5 = 0.49.$$

Стандартизована форма рівняння регресії має такий вигляд:

$$y^0 = -0.286x_1 + 0.365x_2 + 0.483x_3 + 0.168x_4 + 0.49x_5.$$

Знайдені з цієї системи β -коефіцієнти дають змогу визначити значення коефіцієнтів у регресії в природному масштабі за формулами:

$$b_j = \beta \frac{S(y)}{S(x_j)}, \quad a = \bar{y} - \sum b_j \bar{x}_j. \quad (4.15)$$

4.3.1. Аналіз параметрів рівняння регресії

Перейдемо до статистичного аналізу отриманого рівняння регресії: перевірки значущості рівняння і його коефіцієнтів, дослідження абсолютних і відносних помилок апроксимації.

Для незміщеного оцінювання дисперсії виконаємо такі обчислення.

Незміщена помилка $\varepsilon = Y - Y(x) = Y - X*s$ (абсолютна помилка апроксимації).

Табл. 4.5. Аналіз параметрів рівняння регресії

Y	Y(x)	$\varepsilon = Y - Y(x)$	ε^2	$(Y - Y_{cp})^2$	$ \varepsilon : Y $
8	7.94	0.0596	0.00356	3.63	0.00745
6	6.05	-0.0465	0.00216	0.00907	0.00774
4.33	4.29	0.0442	0.00196	3.1	0.0102
5.33	5.36	-0.0305	0.000933	0.58	0.00573
6.67	6.9	-0.24	0.0553	0.33	0.0353
5	4.96	0.0398	0.00159	1.2	0.00797
7.33	7.16	0.17	0.0284	1.53	0.023
		0	0.0939	10.38	0.0974

Середня помилка апроксимації:

$$A = \frac{\sum |\varepsilon : Y|}{n} 100\% = \frac{0.0974}{7} 100\% = 1.391.$$

Оцінка дисперсії дорівнює:

$$s_e^2 = (Y - X*Y(X))^T(Y - X*Y(X)) = 0.0939.$$

Незміщена оцінка дисперсії дорівнює:

$$s^2 = \frac{1}{n-m-1} s_e^2 = \frac{1}{7-5-1} 0.0939 = 0.0939.$$

Оцінка середньоквадратичного відхилення (стандартна помилка для оцінки Y):

$$S = \sqrt{s^2} = \sqrt{0.0939} = 0.31.$$

Знайдемо оцінку коваріаційної матриці вектора $k = S \cdot (X^T X)^{-1}$:

$$\begin{pmatrix} 6,5 & -40,3 & 2,69 & -8,05 & 0,0211 & -0,0311 \\ -40,3 & 2089,56 & 57,8 & -113,79 & -0,15 & 0,14 \\ 2,69 & 57,8 & 10,84 & -17,18 & 0,0114 & -0,0143 \\ -8,05 & -113,79 & -17,18 & 33,88 & -0,0318 & 0,0377 \\ 0,0211 & -0,15 & 0,0114 & -0,0318 & 0,000161 & -0,000165 \\ -0,0311 & 0,14 & -0,0143 & 0,0377 & -0,000165 & 0,000236 \end{pmatrix}$$

Дисперсії параметрів моделі визначаються співвідношенням $S_{2i} = K_{ii}$, тобто це елементи, що лежать на головній діагоналі.

4.4. Стандартизовані окремі коефіцієнти регресії

Стандартизовані окремі коефіцієнти регресії – β -коефіцієнти (β_j) показують, на яку частину свого середнього квадратичного відхилення $S(y)$ зміниться ознака-результат у зі зміною відповідного фактора x_j на величину свого середнього квадратичного відхилення (S_{x_j}) при незмінному впливі інших факторів (що входять до рівняння).

За максимальним β_j можна визначити, який фактор більше впливає на результат Y .

За коефіцієнтами еластичності і β -коефіцієнтами можуть бути зроблені протилежні висновки. Причини цього:

- а) варіація одного фактора дуже велика;
- б) різноспрямований вплив факторів на результат.

Коефіцієнт β_j може також інтерпретуватися, як показник прямого (безпосереднього) впливу j -го фактора (x_j) на результат (y). У множинній регресії j -й фактор справляє не тільки прямий, але й непрямий (опосередкований) вплив на результат (тобто вплив через інші фактори моделі).

Непрямий вплив вимірюється величиною:

$$\sum \beta_i r_{x_j, x_i}, \quad (4.16)$$

де m – кількість факторів у моделі.

Повний вплив j -ого фактора на результат, що дорівнює загальній сумі прямого і непрямого впливів, вимірює коефіцієнт лінійної парної кореляції цього чинника і результату $r_{x_j, y}$.

Так, для нашого прикладу безпосередній вплив фактора x_1 на результат Y у рівнянні регресії вимірюється β_j та становить -0.286 ; непрямий (опосередкований) вплив цього фактора на результат визначається як:

$$r_{x_1 x_2} \beta_2 = 0.186 * 0.365 = 0.06794.$$

4.5. Порівняльне оцінювання впливу аналізованих чинників на результативну ознаку

Порівняльна оцінка впливу аналізованих чинників на результативну ознаку проводиться:

- середнім коефіцієнтом еластичності, що показує, на скільки відсотків у середньому у сукупності зміниться результат у від своєї середньої величини при зміні фактора x_i на 1% від свого середнього значення;

- β -коефіцієнти, які показують, що якщо величина фактора зміниться на одне середньоквадратичне відхилення S_{x_i} , то значення результативної ознаки зміниться в середньому на β свого середньоквадратичного відхилення;

- частку кожного фактора в загальній варіації результативної ознаки визначають коефіцієнти роздільної детермінації (окремої ухвали): $d^2_i = r_{yx_i} \beta_i$.

$$d^2_1 = 0.0339 \cdot (-0.286) = -0.00969$$

$$d^2_2 = 0.75 \cdot 0.365 = 0.28$$

$$d^2_3 = 0.68 \cdot 0.483 = 0.33$$

$$d^2_4 = 0.67 \cdot 0.168 = 0.11$$

$$d^2_5 = 0.58 \cdot 0.49 = 0.28$$

При цьому має виконуватись рівність:

$$\sum d^2_i = R^2 = 0.99.$$

4.6. Множинний коефіцієнт кореляції (індекс множинної кореляції)

Тісноту спільного впливу чинників на результат оцінює індекс множинної кореляції. На відміну від парного коефіцієнта кореляції, який може набувати негативних значень, він набуває значення від 0 до 1.

Тому R не може бути використаний для інтерпретації напрямку зв'язку. Чим щільніше фактичні значення y_i розташовуються щодо лінії регресії, тим меншою є залишкова дисперсія, а отже, більшою є величина $R_{y(x_1, \dots, x_m)}$.

Таким чином, при значенні R , близькому до 1, рівняння регресії краще описує фактичні дані, і фактори дужче впливають на результат. При значенні R , близькому до 0, рівняння регресії погано описує фактичні дані, і фактори справляють слабкий вплив на результат.

$$R = \sqrt{1 - \frac{s_e^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2}} = \sqrt{1 - \frac{0.0939}{10.38}} = 0.995$$

Зв'язок між ознакою Y факторами X сильний.

Розрахунок коефіцієнта кореляції виконаємо, використовуючи відомі значення лінійних коефіцієнтів парної кореляції і β -коефіцієнтів.

$$R = \sqrt{\sum r_{yx_i} \beta_{yx_i}} = \sqrt{r_{yx1} \beta_{yx1} + r_{yx2} \beta_{yx2} + r_{yx3} \beta_{yx3} + r_{yx4} \beta_{yx4} + r_{yx5} \beta_{yx5}}. \quad (4.17)$$

Коефіцієнт детермінації:

$$R^2 = 0.995^2 = 0.991.$$

4.7. Перевірка загальної якості рівняння множинної регресії

Оцінювання значущості рівняння множинної регресії здійснюється шляхом перевірки гіпотези про те, що коефіцієнт детермінації, розрахований за даними генеральної сукупності: R^2 або $b_1 = b_2 = \dots = b_m = 0$ (гіпотеза про незначущість рівняння регресії, розрахованого за даними генеральної сукупності), дорівнює нулю.

Для її перевірки використовують F-критерій Фішера.

При цьому обчислюють фактичне (спостережуване) значення F-критерію через коефіцієнт детермінації R^2 , розрахований за даними конкретного спостереження.

За таблицями розподілу Фішера-Снедекора знаходять критичне значення F-критерію ($F_{кр}$). Для цього задаються рівнем значущості α (зазвичай його беруть таким, що дорівнює 0,05) і двома числами ступенів свободи $k_1=m$ и $k_2=n-m-1$.

$$R^2 = 1 - \frac{s_e^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{0.0939}{10.38} = 0.991$$

Чим ближче цей коефіцієнт до одиниці, тим більше рівняння регресії пояснює поведінку Y.

Більш об'єктивною оцінкою є скоригований коефіцієнт

$$\overline{R}^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{n-1}{n-m-1} \quad (4.18)$$

детермінації:

$$\overline{R}^2 = 1 - (1 - 0.991) \frac{7-1}{7-5-1} = 0.946.$$

Додавання до моделі нових пояснювальних змінних здійснюється до того часу, доки збільшується скоригований коефіцієнт детермінації.

Перевіримо гіпотезу про загальну значущість – гіпотезу про одночасну рівність нулю всіх коефіцієнтів регресії при пояснювальних змінних:

$$H_0: R^2 = 0; \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_m = 0.$$

$$H_1: R^2 \neq 0.$$

Перевірка цієї гіпотези здійснюється за допомогою F-статистики розподілу Фішера (правобічна перевірка).

Якщо $F < F_{кр} = F_{\alpha; n-m-1}$, то немає підстав для відхилення гіпотези H_0 .

$$F = \frac{R^2 (n - m - 1)}{1 - R^2 m} = \frac{0.991 \cdot 7 - 5 - 1}{1 - 0.991 \cdot 5} = 22.02.$$

Табличне значення при ступенях свободи $k_1 = 5$ и $k_2 = n - m - 1 = 7 - 5 - 1 = 1$, $F_{кр}(5;1) = 230$.

Оскільки фактичне значення $F < F_{кр}$, то коефіцієнт детермінації статистично значущий і рівняння регресії статистично ненадійне.

4.8. Результати розрахунку рівняння множинної регресії

Отримані коефіцієнти (у пункті 4.2.1 за допомогою формули 4.8) підставимо в загальне рівняння множинної регресії, отримаємо рівняння розрахунку коефіцієнта Q, яке має такий вигляд:

$$Q = -0,82 - 57,06X_1 + 2,93X_2 + 5,78X_3 + 0,00608X_4 + 0,0232X_5, \quad (4.19)$$

де X_1 – ціна,

X2 – ASR,

X3 – ASR*,

X4 – ACD,

X5 – ACD*.

Порівняльне оцінювання впливу аналізованих чинників на результативну ознаку засвідчило, що найбільш значущі змінні в цьому рівнянні – X2, X3, X5. Цей результат добре узгоджується з описом змінних у попередньому розділі. Негативне значення вагового коефіцієнта вартості є логічним, оскільки ми будуємо таку модель вибору, при якій найкращим вибором буде максимум якості за мінімум ціни.

Оскільки нас цікавить ранг провайдера, тобто відношення між Q, то значення $\epsilon = -0,82$ можна не враховувати в подальших розрахунках.

Перевірка за F-критерієм Фішера засвідчила статистичну ненадійність отриманого рівняння. Отже, це рівняння потребує доопрацювання, більш глибокого аналізу та, можливо, оптимізації отриманих коефіцієнтів при змінних.

4.9. Оптимізація отриманих параметрів і додаткові експериментальні дані

Для оптимізації отриманих під час регресійного аналізу вагових коефіцієнтів функції розрахунку Q ми промодельюємо 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. Розрахунок Q будемо здійснювати за формулою:

$$Q = -57,06 * price + 2,93 * ASR + 5,78 * ASR^* + 0,00608 * ACD + 0,0232 * ACD^* \quad (4.20)$$

Показники якості та вартості засновані на реальних даних з CDR українського провайдера VoIP телефонії, в окремих випадках ці показники будуть штучно модифіковані для моделювання випадків погіршення або поліпшення якості на різних напрямках.

4.9.1. Приклад №1, близький до нормального (ідеального) розподілу показників

У цьому прикладі показано випадок, коли всі показники якості залежать від вартості нормально, коли вища вартість відповідає вищій якості; дані були модифіковані для ідеалізації прикладу. Тут і далі в таблицях (4.6– 4.10) показано параметри якості та вартості семи провайдерів, їх ранг (порядок вибору, де 1 – найменш ймовірний вибір експерта, 7 – найбільш ймовірний вибір експерта), розраховане значення Q, ранг за розрахованим значенням Q (чим вище значення Q, тим вищим є ранг), різниця між експертним значенням рангу і розрахованим.

У цьому прикладі видно, що експерти обирають більш якісного і дорогого провайдера при невеликій різниці в ціні; різниці між вибором експертів і ранжуванням за Q немає.

Табл. 4.6. Приклад №1, нормальний розподіл

	Вартість	ASR	ASR*	ACD	ACD*	Ранг, експертний	Q	Ранг, Q	Різниця рангів
Провайдер 1	0,071	0,71	0,82	135	140	7	6,84	7	0

Провайдер 2	0,069	0,68	0,78	135	135	6	6,52	6	0
Провайдер 3	0,065	0,64	0,7	127,5	89	5	5,05	5	0
Провайдер 4	0,064	0,58	0,5	121,5	78	4	3,49	4	0
Провайдер 5	0,061	0,55	0,4	114	50	3	2,30	3	0
Провайдер 6	0,055	0,5	0,3	90	35	2	1,42	2	0
Провайдер 7	0,05	0,43	0,21	37,5	15	1	0,20	1	0

4.9.2. Приклад №2, без розрахунку показників якості за короткий проміжок часу

У цьому випадку показано не модифіковані дані, без розрахунку ASR* та ACD*, значення ASR* та ACD* дорівнюють значенням ASR і ACD.

Табл. 4.7. Приклад №2 ASR* і ACD*дорівнюють ASR и ACD

Провайдер 2	Вартість					Ранг, експертний	Q	Ранг, Q	Різниця рангів
Провайдер 2	0,038	0,522	0,522	151	151	6	6,80	5	-1
Провайдер 3	0,033	0,519	0,519	105	105	7	8,477	7	0
Провайдер 4	0,031	0,542	0,542	111	111	4	6,20	3	-1
Провайдер 5	0,03	0,539	0,539	110	110	3	6,20	4	1
Провайдер 6	0,027	0,645	0,645	110	110	5	7,30	6	1
Провайдер 7	0,026	0,428	0,428	130	130	2	6,05	2	0

Тут ми моделюємо роботу OR систем (Optimization of Routing), які зараз замінюють LCR і у своїй більшості є пропрієтарними розробками,

недоступними для загального використання. Наша модель не повинна поступатися даними системам у плані оптимальності обраного маршруту.

У цьому випадку спостерігаються розбіжності між вибором експертів і ранжуванням за Q.

4.9.3. Приклад №3, з розрахунком показників якості за короткий проміжок часу

Цей приклад аналогічний Прикладу №2, але з розрахунком показників якості за короткий проміжок часу. Розрахунок здійснювався за принципами, описаними в другому розділі, на підставі даних CDR.

Тут видно, що у Провайдера №5 і №6 знизилися показники ASR* та ACD*, що свідчить про тимчасове погіршення якості зв'язку в цих операторів.

Табл. 4.8. Приклад №3, з ASR*, ACD*

	Вартість	ASR	ASR*	ACD	ACD*	Ранг, експертний	Q	Ранг, Q	Різниця рангів
Провайдер 1	0,039	0,724	0,87	150	180	7	10,01	7	0
Провайдер 2	0,038	0,522	0,68	151	196	6	8,76	6	0

Провайдер 3	0,032	0,519	0,47	105	101	4	5,39	4	0
Провайдер 4	0,031	0,542	0,49	111	111	5	5,89	5	0
Провайдер 5	0,03	0,539	0,30	110	62	2	3,71	2	0
Провайдер 6	0,027	0,645	0,29	100	45	1	3,68	1	0
Провайдер 7	0,026	0,428	0,36	130	111	3	5,23	3	0

Розбіжностей між вибором експертів і ранжуванням за Q немає.

4.9.4. Приклад №4, з різною вартістю хвилини розмови

У прикладі №4 у всіх провайдерів показники якості аналогічні, а вартість різна. Логічно, що вони мають бути ранжовані відповідно до вартості: від найдешевшого (Q максимальне) до найдорожчого (Q мінімальне).

Табл. 4.9. Приклад №4, вартість

	Вартість	ASR	ASR*	ACD	ACD*	Ранг, експертний	Q	Ранг, Q	Різниця рангів
Провайдер 1	0,039	0,724	0,72	150	150	7	8,47	7	0
Провайдер 2	0,045	0,724	0,72	150	150	6	8,13	6	0
Провайдер 3	0,051	0,724	0,72	150	150	5	7,79	5	0
Провайдер 4	0,057	0,724	0,72	150	150	4	7,45	4	0
Провайдер 5	0,063	0,724	0,72	150	150	3	7,10	3	0
Провайдер 6	0,069	0,724	0,72	150	150	2	6,76	2	0

Провайдер 7	0,075	0,724	0,72	150	150	1	6,42	1	0
-------------	-------	-------	------	-----	-----	---	------	---	---

Розбіжностей між вибором експертів і ранжуванням за Q немає.

4.9.5. Приклад №5, з зміною показників якості одного Провайдера

Цей приклад аналогічний прикладам №2 та №3. Різниця є в зміні показників якості у Провайдера №1. Ці зміни мають впливати на роботу моделі. Розбіжності між вибором експертів і ранжуванням за Q існують.

Табл. 4.10. Приклад №5

	Вартість	ASR	ASR*	ACD	ACD*	Ранг, експертний	Q	Ранг, Q	Різниця рангів
Провайдер 1	0,039	0,724	0,57	140	60	4	5,43	5	1
Провайдер 2	0,038	0,522	0,68	151	196	7	8,76	7	0
Провайдер 3	0,032	0,519	0,47	105	101	5	5,39	4	-1

Провайдер 4	0,031	0,542	0,49	111	111	6	5,89	6	0
Провайдер 5	0,03	0,539	0,30	110	62	2	3,71	2	0
Провайдер 6	0,027	0,645	0,29	100	45	1	3,68	1	0
Провайдер 7	0,026	0,428	0,36	130	111	3	5,23	3	0

4.10. Оптимізація вагових коефіцієнтів

Цільовою функцією оптимізації цього завдання є сума абсолютних значень різниці між експертними значенням рангу i значенням рангу розрахованих значень Q .

$$F(a, b, c, d, e) = \sum_{i=1}^N |Q_i - q_i|, \{Q_i, q_i \in Z\}, \quad (4.21)$$

де a, b, c, d, e – вагові коефіцієнти при параметрах у формулі розрахунку метрики (4.2); N – кількість доступних провайдерів за запитуваним напрямком; Q_i – ранг від 1 до N провайдера з вибірки доступних провайдерів за запитуваним напрямком, визначений групою експертів; q_i – ранг від 1 до N провайдера з вибірки доступних провайдерів за запитуваним напрямком, розрахований за формулою (4.20); Z – безліч цілих чисел.

На цей момент значення цільової функції дорівнює 6. Нам необхідно знайти такі значення вагових коефіцієнтів, за яких значення цільової функції буде 0 або мінімальним. Змінюваними параметрами будуть значення вагових коефіцієнтів у формулі розрахунку Q.

Для оптимізації параметрів з використанням такої цільової функції ми скористаємося вбудованим в Microsoft Excel інструментом «Пошук Рішення». Застосунок «Пошук рішення» є частиною набору команд, які іноді називають засобами аналізу «що – якщо». За допомогою цієї аплікації можна знайти оптимальне значення (максимум або мінімум) формули, що міститься в одній комірці, що називається цільовою, з урахуванням обмежень на значення в інших комірках з формулами на аркуші. Застосунок «Пошук рішення» працює з групою комірок, які називаються комірками змінних рішень, що використовуються при розрахунку формул у цільових комірках і комірках обмеження. Застосунок «Пошук рішення» змінює значення в комірках змінних рішення згідно з межами комірок обмеження та виводить результат у цільовій комірці. Застосунок «Пошук рішення» можна використовувати для визначення впливу комірок на екстремальні значення залежної. Це ПЗ дає змогу здійснювати оптимізацію трьома методами:

- Нелінійний метод узагальненого знижувального градієнта;
- Симплекс-метод;
- Еволюційний метод.

Оскільки всі ці методи вже реалізовані в цьому ПЗ, нам не важко буде перевірити роботу всіх трьох методів під час пошуку кращого результату. Необхідно встановити обмеження, описані в підрозділі 4.8 для позитивних значень коефіцієнтів при параметрах якості і від'ємного значення коефіцієнта при параметрі вартості, а також обмеження на зміну початкових коефіцієнтів не більше, ніж на порядок.

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

$$Q = -50,38432924*Price+6,369977219*ASR+8,452990907*ASR*+ \\ +0,009819983*ACD+0,059696346*ACD*. \quad (4.22)$$

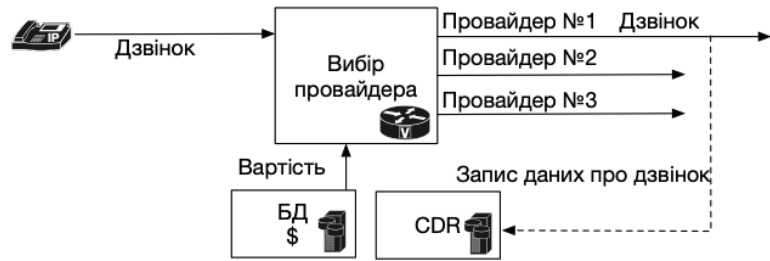
4.11. Розробка алгоритму вибору оптимального маршруту в VoIP мережах

Алгоритм вибору провайдера, через якого здійснюється телефонний дзвінок, зазвичай ґрунтувався тільки на загальному міжнародному телекомунікаційному плані нумерації (рекомендація ІТУ-Т Е.164). Маршрутизація відбувалася за заздалегідь підготовленою таблицею відповідності номерів і напрямків. Такий підхід є практичним, коли в оператора телефонії був тільки один вихід на певну мережу. З появою ІР-телефонії в операторів телефонії з'явилася можливість пов'язувати свої мережі одну з одною без використання дорогих каналних підключень, тепер в одного оператора може бути безліч варіантів підключення до різних мереж за різною вартістю і з різною якістю надання послуг.

При такому різноманітті вибору маршрутів проходження телефонного дзвінка потрібен алгоритм вибору цього маршруту. Технологія LCR (Least Cost Routing) дає змогу автоматизувати цей процес. LCR вибирає маршрут за критерієм найменшої вартості, дзвінок направляється через провайдера, який запропонував мінімальний тариф. Використання LCR може негативно позначитися на якості зв'язку за рядом напрямків, оскільки в гонитві за найменшими тарифами деякі провайдера можуть економити на якості послуг, що надаються. У такій ситуації адміністратор змушений вручну змінювати маршрутизацію викликів. Це тільки один приклад, коли адміністратору доводиться втручатися в маршрутизацію дзвінків в VoIP системі, але таких прикладів безліч. Сучасні VoIP системи не працюють без «ручного» контролю й управління адміністратором.

Для усунення цього недоліку був розроблений алгоритм вибору найкращого маршруту з урахуванням критеріїв якості та вартості.

LCR
Least Cost Routing



Q
Ранжування за значенням
гібридного коефіцієнта

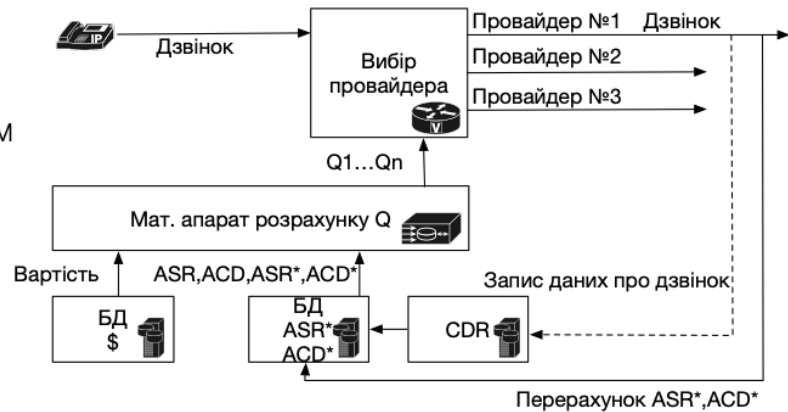


Рис. 4.1. Порівняння маршрутизації дзвінків за LCR і за допомогою ранжування за Q

Пропонований алгоритм автоматизує вибір провайдера для маршрутизації виклику від одного абонента до іншого за маршрутом, що забезпечує як найменшу вартість (найменшу вартість за хвилину розмови), так і прийнятну якість телефонного з'єднання. Принцип роботи запропонованого алгоритму вибору провайдера і його порівняння з LCR показані на рис. 4.1.

У верхній частині рис. 4.1 показано існуючий метод динамічної маршрутизації голосового трафіку за критерієм найменшої вартості.

Згідно з методом, провайдером 1-го вибору стає провайдер P_k (ASR_k , ACD_k) з максимальною величиною Q , яка обернено пропорційна тарифу на напрямком.

$$Q_{LCR\ k} = \max_{i=1, \dots, n} \{ 1/\text{price} [P_i (ASR_i, ACD_i)] \}, \quad (4.23)$$

де $\text{price} [P_i (ASR_i, ACD_i)]$ – тариф i -го провайдера за обраним для маршрутизації напрямком.

Провайдером 2-го вибору стає провайдер з меншим рангом

$$Q_{LCR\ m} = \max_{i=1, \dots, n (i \neq k)} \{ 1 / \text{price} [P_i (ASR_i, ACD_i)] \}. \quad (4.24)$$

де $\text{price} [P_i (ASR_i, ACD_i)]$ – тариф i -го провайдера за обраним для маршрутизації напрямком.

Аналогічним чином ранги присвоюються всім доступним для маршрутизації провайдерам.

У разі втрати стійкості зв'язку (падіння показників ASR_k, ACD_k є нижчим за допустимий рівень) адміністратор системи на певний час вручну обнуляє ранг провайдера $Q_{LCR\ k} = 0$, що рівносильно виключенню його з числа доступних для маршрутизації голосового виклику.

У пропонованому вдосконаленому методі при обчисленні рангу провайдера разом з тарифом враховуються параметри $ASR_i, ASR^*i, ACD_i, ACD^*i$, що змінюються в часі. Таким чином, ранг i -го провайдера визначається виразом, заснованим на описаній раніше математичній моделі.

$$Q_{P\ i} = a * \text{price } P_i + b * ASR_i + c * ASR^*i + d * ACD_i + e * ACD^*i \quad (4.25)$$

За умови, що ранги всіх доступних для маршрутизації провайдерів визначені, провайдером 1-го вибору стає k -й провайдер з максимальною величиною

$$Q_{P\ k} = \max_{i=1, \dots, n} \{ Q_{P\ i} \} \quad (4.26)$$

Іншим доступним для маршрутизації провайдерам порядок вибору присвоюється у міру зниження $Q_{P\ i}$.

Далі ми, враховуючи різні параметри, опишемо алгоритм вибору найкращого каналу зв'язку для проходження голосового виклику з безлічі можливих, заснований на описаному вище концепті.

4.11.1. Вимоги до алгоритму

У праці [1] детально розглянуто й аргументовано принципи вибору маршруту з урахуванням вимог якості та вартості, а також викладено рекомендації щодо алгоритму вибору маршруту. Наведемо їх список.

Під час розробки алгоритму вибору найкращого маршруту в VoIP мережах слід враховувати такі рекомендації:

- маршрутизацію розглядати як одношляхову;
- алгоритм повинен бути простим і відзначатися низькою вимогливістю до обчислювальних ресурсів;
- розраховувати тільки найбільш завантажені напрямки;
- розрахунок ресурсомістких завдань (розрахунок найбільш завантажених напрямків Answer Seizure Ratio (ASR), Average Call Duration (ACD)) здійснювати в періоди найменшої завантаженості системи з певною періодичністю;
- перед вибором маршруту перевірити додаткові вимоги (підтримку факсових повідомлень – T.38, G711; підтримку шифрування голосового зв'язку SRTP/TLS) та виключити невідповідні маршрути з вибору;
- перед вибором маршруту перевірити доступну кількість вільних ліній на напрямку;
- розраховувати показники якості з урахуванням короткострокових змін (ASR*, ACD*);
- з певною періодичністю прирівнювати значення ASR*, ACD* до ASR, ACD;
- з певною періодичністю оновлювати список найбільш завантажених напрямків.

На сучасному етапі розвитку мереж IP-телефонії цей алгоритм може використовуватися на софтверних і програмованих цифрових АТС з підтримкою VoIP як провайдерів, так і великих компаній для поліпшення маршрутизації голосового трафіку всередині власної мережі і для виходу на провайдерів міжнародного, міжміського, мобільного зв'язку. Під

поліпшенням маршрутизації розуміють можливість використання економічних переваг маршрутизації за критерієм найменшої вартості в симбіозі з маршрутизацією за показниками якості послуг, що надаються.

Задоволення вищеназваних вимог дасть змогу при збереженні конкурентних переваг IP-телефонії підняти якість обслуговування на вищий рівень.

4.11.2. Вимоги, засновані на обчислювальних ресурсах

З одного боку, апаратні пристрої комутації і маршрутизації VoIP не мають високої обчислювальної потужності, а з іншого – завантаженість телефонних мереж відзначається явною циклічністю і має свої піки навантаження і свої спади. Періоди піків і спадів для корпоративних мереж і мереж загального користування будуть різними, але час циклів – однаковим (24 години, тиждень, місяць). Періоди спадів навантаження можна використовувати для виконання ресурсомістких операцій, таких як розрахунок і аналіз бази даних викликів з CDR (Call Detail Record). Багато софтверів мають можливість зберігати CDR у CSV-файлі, або в БД. Для зручності роботи цю базу слід зберігати тільки у вигляді БД (MySQL, MS SQL, PostgreSQL, або інші). З праці [2] випливає, що в процесі виконання алгоритму нам є необхідними такі дані:

- список напрямків операторів, через які спрямовується понад 50% всього трафіку (TOP N напрямків);
- значення ASR і ACD для всіх операторів і напрямків.

Розрахунок цих значень – ресурсомісткий процес. Наприклад, для розрахунку ACD необхідно розрахувати середнє арифметичне тривалості всіх дзвінків за цим напрямком, а таких напрямків у таблиці тарифікації одного оператора може бути більше ніж 20 000. Усі ці розрахунки пропонується здійснювати в період найменшого навантаження раз на добу, найчастіше це нічний час. Період найменшого навантаження легко визначає адміністратор із CDR.

4.12. Алгоритм вибору маршруту

Крок 1. Попередня перевірка напрямку дзвінка (рис. 4.2):

- Для передачі факсів через VoIP необхідна підтримка протоколу T.38 або кодека G711. Якщо дзвінок ініційований для передачі факсу, то маршрутизувати його через лінію, яка не відповідає цим критеріям, немає сенсу. Отже, першим кроком алгоритму буде перевірка теоретичної можливості отримати необхідну послугу на обраному напрямку. Якщо дзвінок ініційований абонентом, Caller-ID якого прив'язаний до факсового апарату, слід внести булево значення істини в таблицю вимог до дзвінка у відповідну колонку;

- За необхідності шифрування голосового виклику слід перевірити підтримку й використання протоколів SRTP/TLS на лініях, доступних для маршрутизації. Якщо дзвінок ініційований абонентом, Caller-ID якого занесений у список абонентів, які потребують шифрування, слід внести булево значення істини в таблицю вимог до дзвінка у відповідну колонку.



Рис. 4.2. Крок 1

Крок 2 (рис. 4.3). На наступному етапі слід перевірити, чи належить необхідний напрямок дзвінка до найчастіше використовуваних з попередньо складеного списку TOP N напрямків. Якщо цей напрямок входить до цього списку, то під час вибору провайдерів слід враховувати короткострокові зміни параметрів якості ASR і ACD, розрахованих за короткий проміжок часу (12 годин), ASR* та ACD*. Принцип їх розрахунку аналогічний до оригінальних

ASR і ACD, різниця полягає лише в тому, що для розрахунку ми беремо не всі записи із CDR, а тільки за останні 12 годин.

Далі складається таблиця з провайдерів, які підходять за умовами з Кроку 1. До таблиці вносять значення вартості, ASR, ACD, ASR*, ACD*. Для напрямку, що не входить до списку TOP N напрямків, складається аналогічна таблиця без значень ASR*, ACD*.

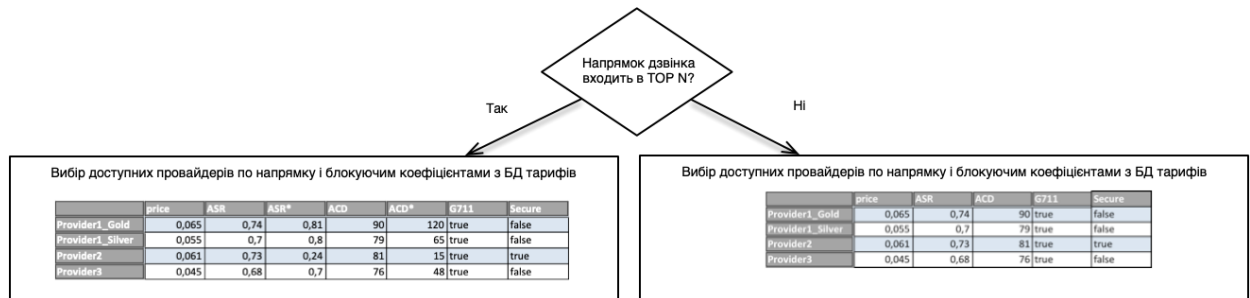


Рис. 4.3. Крок 2

Крок 3 (рис. 4.4). На третьому етапі на основі таблиці з Кроку 2 для кожного напрямку розраховується гібридний коефіцієнт Q за формулою

$$Q = a * price + b * ASR + c * ASR^* + d * ACD + e * ACD^*, \quad (4.27)$$

де a, b, c, d, e – розраховані раніше вагові коефіцієнти параметрів. Для різних мереж вони можуть відрізнятися.

Для деяких адміністраторів якість є важливішою за вартість, для інших, навпаки. Для напрямку, що не входить до списку TOP N напрямків, розраховується аналогічний гібридний коефіцієнт Q без урахування значень ASR*, ACD*: $Q = a * price + 2 * b * ASR + 2 * d * ACD$. Складають таблицю «Напрямок – коефіцієнт Q».

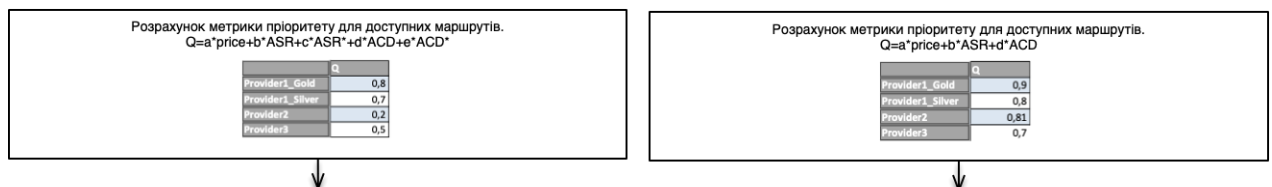


Рис. 4.4. Крок 3

Крок 4 (рис. 4.5). На четвертому етапі здійснюють вибір трьох (більше ніж три спроби дзвону робити немає сенсу, оскільки час очікування

абонентом дозвону буде занадто великим) провайдерів з найбільшими коефіцієнтами Q та їх сортування згідно зі зменшенням значення цього коефіцієнта.

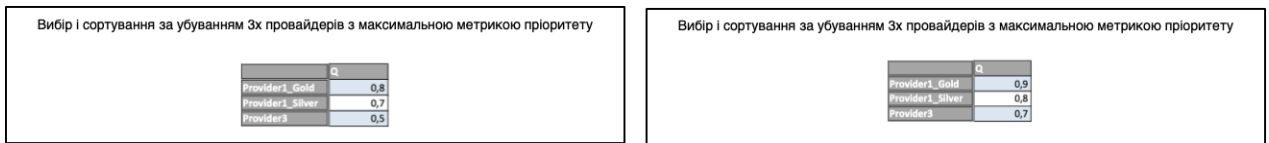


Рис. 4.5. Крок 4

Після цих нехитрих маніпуляцій ми отримуємо список з трьох провайдерів, які можуть нам надати необхідну послугу з найкращою якістю за найменшою вартістю.

Крок 5. Для ліній з обмеженою кількістю одночасно можливих голосових викликів (E1/T1 потоки, GSM шлюзи і т.д.) на етапі дозвону слід перевіряти кількість вільних ліній. Для таких ліній перед початком дзвінка і після його закінчення необхідно змінювати кількість вільних ліній на одиницю.

На цьому етапі алгоритму слід після кожного дзвінка (як вдалого, так і невдалого) записувати результат до БД CDR. Якщо додзвонитися не вийшло, то слід спробувати повторити процедуру для наступного провайдера зі списку, складеного на етапі Крок 4.

Після кожного дзвінка слід перевіряти, чи входить цей напрямок до списку TOP N. Якщо так, то значення ASR* та ACD* слід перерахувати з урахуванням даних про останній дзвінок і записати до БД. Ці значення характеризують зміни параметрів якості, їх актуальне значення. Перерахунок цих значень дасть змогу відстежувати зміну якості в режимі реального часу. На рис. 4.6 подано блок-схему всього алгоритму.

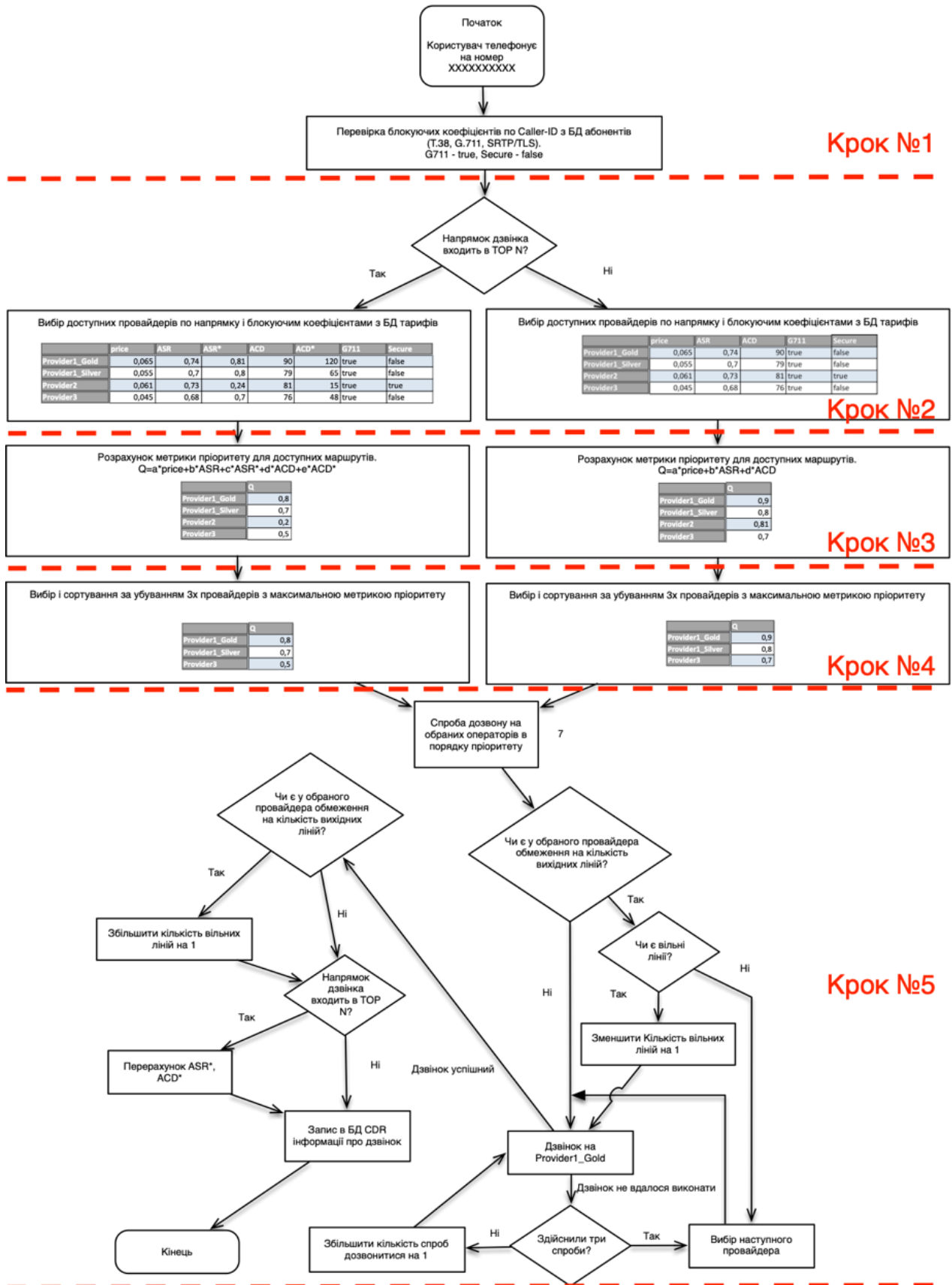


Рис. 4.6. Блок-схема алгоритму вибору маршруту

4.13. Висновки

Впровадження цього алгоритму в систему маршрутизації голосового трафіку в VoIP мережі дасть змогу значно зменшити необхідність втручання адміністратора в процес роботи обладнання VoIP мережі, а також автоматизувати вибір маршруту слідування голосового дзвінка. З огляду на параметри, що характеризують вартість, якість і її зміну (ASR*, ACD*) можна не лише надавати абоненту більш якісні послуги за мінімальною ціною, а й оперативно реагувати на поломки й погіршення якості послуг провайдерів, які надають послуги телефонії, без втручання адміністратора.

Це рішення перетворює систему голосової IP-телефонії зі статичної системи на гнучку й динамічну, що відповідає сучасним вимогам.

Розраховані параметри вагових коефіцієнтів є дійсними тільки для описаних вище випадків та для адміністраторів, що беруть участь в експерименті, тому з метою підтвердження роботи моделі з цими коефіцієнтами необхідно промодельовати роботу телефонної системи й проаналізувати результат використання запропонованих рішень на практиці.

5. ПЕРЕВІРКА ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ

5.1. Моделювання маршрутизації

У цьому розділі буде здійснено моделювання запропонованого алгоритму і розрахованих коефіцієнтів з погляду адекватності та порівняння отриманих результатів з існуючими технологіями маршрутизації.

Найбільш очевидним шляхом перевірки запропонованого алгоритму вибору найкращого маршруту є його впровадження в уже працюючу систему маршрутизації й білінгу оператора телефонного зв'язку на базі VoIP. Але цей підхід, крім очевидної небезпеки зупинити роботу оператора неперевіреним алгоритмом у разі невдачі, приховує в собі ще одну проблему. На результати роботи оператора до та після впровадження алгоритму будуть впливати безліч факторів, основними з яких є попит на цей напрямок у конкретний момент і непостійні показники якості у провайдерів вищого рівня (які надають послуги оператору, на базі якого можна провести експеримент). У цьому випадку ми не зможемо отримати однакою вибірку запитуваних абонентом з'єднань, однакові вхідні дані для роботи нашого алгоритму. У разі різних вхідних даних отримані результати не можуть бути використані для порівняння якості роботи алгоритму.

Іншим способом перевірки запропонованих рішень є їх програмне моделювання. У цьому випадку ми зможемо при однакових вхідних даних перевірити роботу системи з використанням запропонованого алгоритму і без нього. На базі цих даних можна зробити висновки щодо ефективності й необхідності використання цього алгоритму в системах маршрутизації голосового трафіку.

5.2. Вихідні дані

Як вихідні дані для дослідження будуть використані 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. Дзвінки для чистоти експерименту розподілялися по черзі. Дані були систематизовані в три таблиці р1, р2, р3, які відповідають дзвінкам через Провайдера №1, №2 та №3 відповідно. З метою конфіденційності й нерозголошення персональних даних номери абонентів, яких викликають, номери абонентів, які ініціювали виклик, час початку виклику та інші стандартні поля CDR-записів будуть приховані, вони нам і не знадобляться. Вибірка складається всього з трьох параметрів: порядковий номер виклику, успішність виклику та його тривалість. Приклад вихідних даних наведено в табл. 5.1.

Табл. 5.1. Вихідні дані

№ з/п	Три вал ість	Усп ішн ий	Три вал ість	Усп ішн ий	Три вал ість	Усп ішн ий
1	15	1	82	1	152	1
2	0	0	106	1	17	1
3	36	1	49	1	15	1
4	915	1	21	1	0	0
5	246	1	115	1	0	0
6	230	1	41	1	56	1
7	140	1	36	1	10	1
8	0	0	10	1	48	1
9	44	1	483	1	14	1
10	0	0	96	1	0	0
11	318	1	80	1	3	1

12	27	1	160	1	134	1
----	----	---	-----	---	-----	---

...

11839	5	1	107	1	72	1
11840	75	1	95	1	0	0
11841	51	1	20	1	0	0
11842	0	0	183	1	36	1
11843	0	0	42	1	0	0
11844	0	0	242	1	303	1
11845	103	1	33	1	0	0
11846	0	0	16	1	678	1
11847	0	0	0	0	0	0
11848	0	0	118	1	18	1
11849	81	1	7	1	74	1
11850	32	1	0	0	140	1
11851	0	0	35	1	49	1
11852	130	1	134	1	242	1
11853	0	0	0	0	0	0

Використовуючи ці дані, ми можемо розрахувати необхідні нам для моделювання дані: ASR, ACD, ASR*, ACD*. Для алгоритму також необхідна вартість хвилини розмови за обраним напрямком у наявних трьох провайдерів (табл. 5.2).

Табл. 5.2. Вартість хвилини розмови

	Провайдер №1, p1	Провайдер №2, p2	Провайдер №3, p3
Вартість хвилини розмови, \$/хв Price	0,05	0,052	0,065

Розрахуємо необхідні нам параметри якості на підставі вихідних даних (табл. 5.3).

Табл. 5.3. Параметри якості

	Провайдер №1, p1	Провайдер №2, p2	Провайдер №3, p3
ASR	0,7185	0,693706	0,763620
ACD	105,6439	148,5597	159,242

Для наочності зв'язків між різними описаними вище даними на рис. 5.1 наведено блок-схему імітаційної моделі.

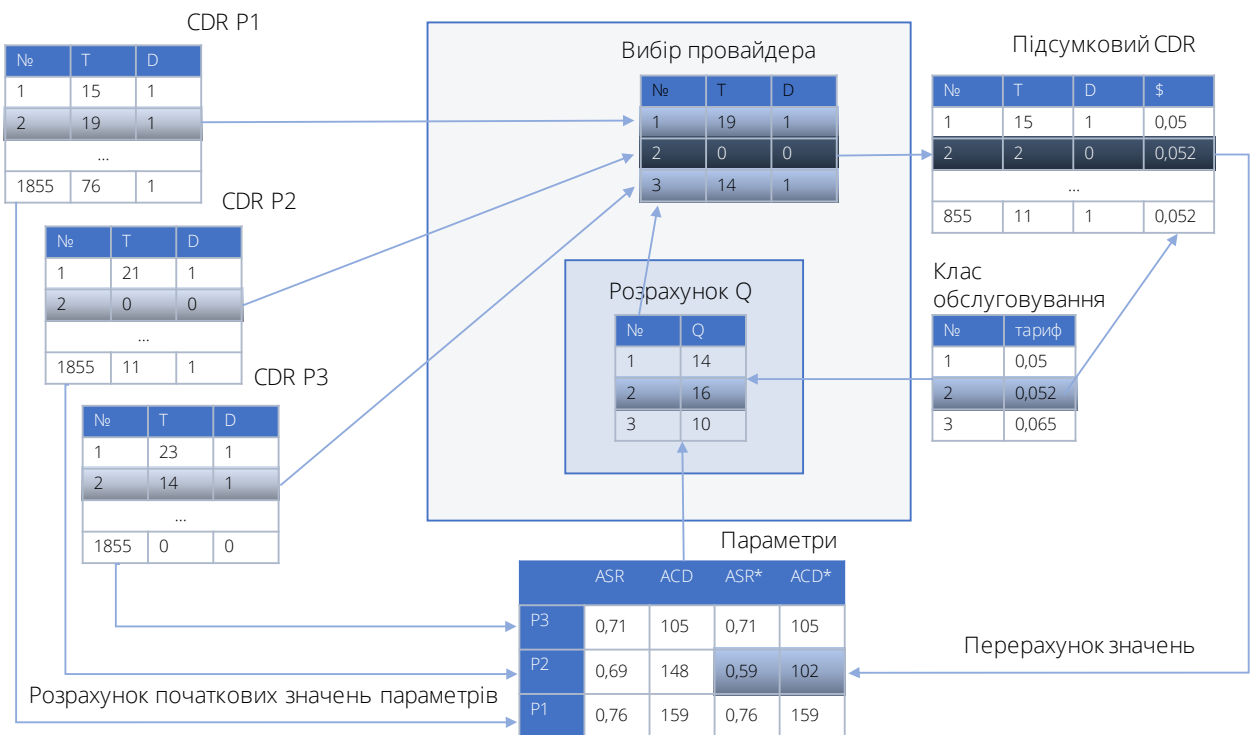


Рис. 5.1. Імітаційна модель, обробка даних

5.3. Програмне забезпечення для аналізу алгоритму та моделювання маршрутизації голосових викликів

Гнучкість у пропонований алгоритм маршрутизації вносить використання параметрів якості, а саме ASR^* та ACD^* , які враховують короткострокові зміни показників якості надання послуг провайдерів вищого рівня та дають змогу алгоритму швидше реагувати на зміни.

Для дослідження пропонованого алгоритму було розроблено програмне забезпечення на мові Matlab. Вибір цієї мови зумовлений необхідністю роботи з великими матрицями.

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

Для розуміння принципу роботи ПЗ опишемо функції, що відповідають за розрахунок різних параметрів і вибору маршруту. Блок-схему алгоритму роботи імітаційної моделі наведено на рис. 5.2. Повний текст програми буде подано в додатках (додаток А).

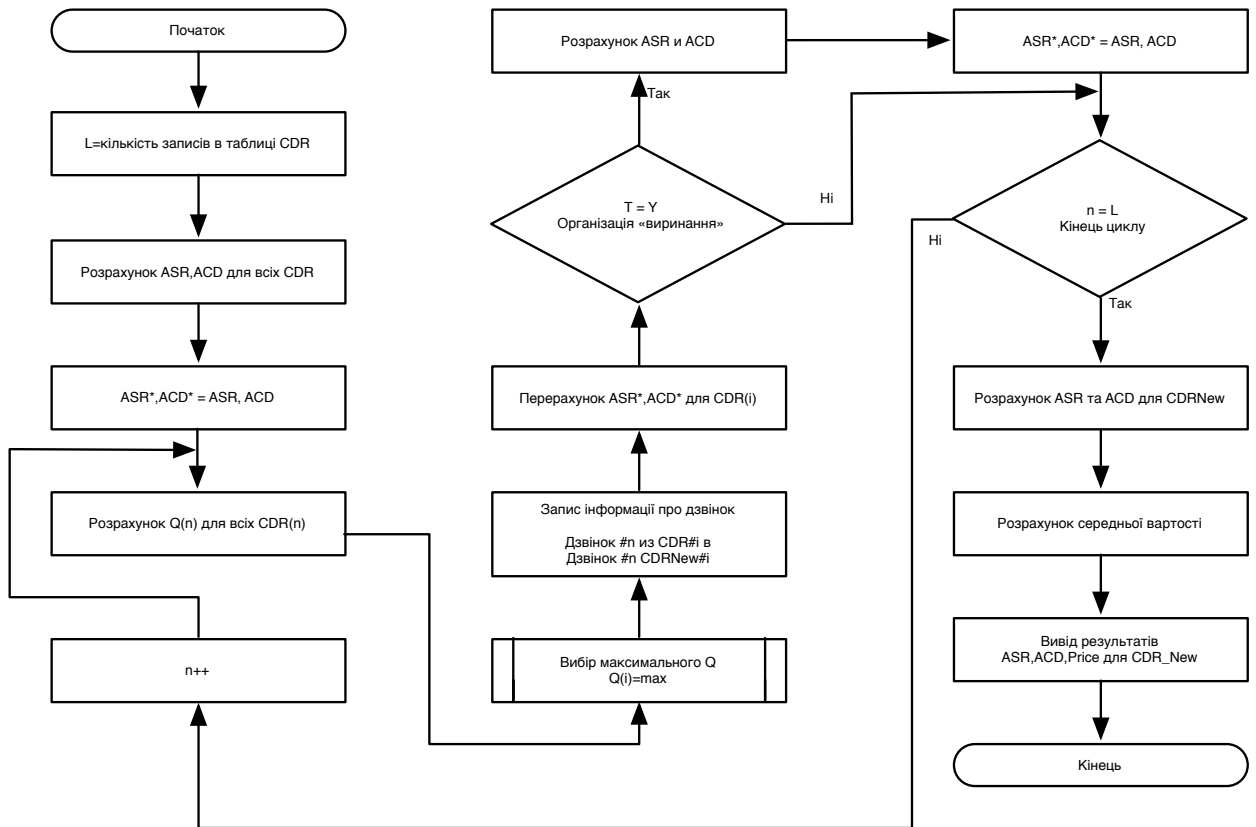


Рис. 5.2. Імітаційна модель, алгоритм

5.3.1. Розрахунок ASR, ASR *

ASR розраховується, відповідно до рекомендації ITU, відношенням кількості успішних дзвінків (сума одиниць у колонці disposition) до загальної кількості дзвінків (кількість записів).

```
function f = ASRsmallcalc(p)
f = (sum(p(:,2)))/(length(p));
end
```

Для знаходження поточних значень ASR слід враховувати в розрахунку не тільки ті виклики, що відбулися після початку аналізу (нові виклики (p1)), але й уже наявні в CDR-записи щодо цього провайдера (старі виклики (p)).

```
function f = ASRcalc(p,p1)
f = (sum(p(:,2))+sum(p1(:,2)))/(length(p)+length(p1));
end
```

ASR* має враховувати тільки останні виклики за невеликий проміжок часу. X – кількість досліджуваних викликів.

```
function f = ASRNcalc(p)
f = sum(p([length(p)]-x:[length(p)],2))/x;
end
```

5.3.2. Розрахунок ACD, ACD*

ACD розраховується, відповідно до рекомендації ІТУ, відношенням суми тривалості дзвінків до їх кількості (сума одиниць у колонці disposition).

```
function f = ACDsmallcalc(p)
f = (sum(p(:,1)))/(sum(p(:,2)));
end
```

Для розрахунку поточних значень ACD слід враховувати в розрахунку не тільки ті виклики, що відбулися після початку аналізу (нові виклики (p1)), але й уже наявні в CDR-записи щодо цього провайдера (старі виклики (p)).

```
function f = ACDcalc(p,p1)
f = (sum(p(:,1))+sum(p1(:,1)))/(sum(p(:,2))+sum(p1(:,2)));
end
```

ACD* має враховувати тільки останні виклики за невеликий проміжок часу. X – кількість досліджуваних викликів.

```
function f = ACDNcalc(p)
a=0;
sum1=0;
a1=length(p);
    while (a<x) && (a<sum(p(length(p)-1,5*x:length(p),2)))
        if p(a1,2)==1
            sum1=sum1+p(a1,1);
            a1=a1-1;
            a=a+1;
        else
            a1=a1-1;
        end
    end
end
f=sum1/a;
end
```

Враховувати треба тільки успішні виклики.

5.3.3. Розрахунок гібридного коефіцієнта Q

Досить проста функція, вихідними даними для якої служать показники вартості, ASR, ACD, ASR*, ACD*, розраховує значення Q, використовуючи отримані в третьому розділі вагові коефіцієнти. Розраховане значення Q використовується для вибору найкращого провайдера для проходження дзвінка.

```
function f = Qcalc(Price, ASR, ASRN, ACD, ACDN)
f = -
50.38432924*Price+6.369977219*ASR+8.452990907*ASRN+0.009819983*ACD+0.05969634
6*ACDN;
end
```

Поведінка функції Q на рис. 8 підтверджує адекватність розробленої імітаційної моделі, точки зміни маршруту знаходяться поряд з точками

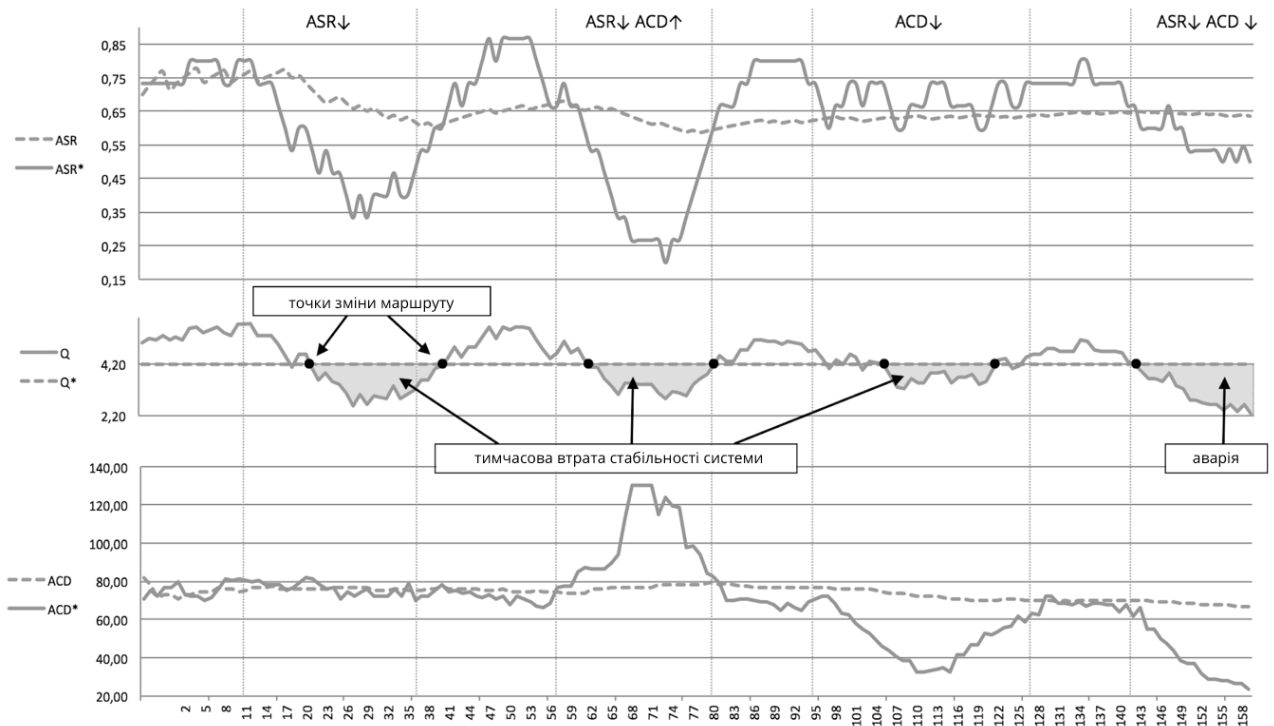


Рис. 5.3. Імітаційна модель, поведінка функції Q

значного зниження або підвищення параметрів якості.

5.3.4. Цикл вибору провайдера

Цикл вибору провайдера після порівняння значень Q імітує дзвінок записом значень з матриці r_x в матрицю r_{x1} , що відповідають номеру циклу (i), де x – номер «провайдера-переможця». Цей крок дасть змогу розрахувати

отримані показники якості. Після вибору найкращого значення ASR і ACD цього дзвінка перераховуються.

```
for i = 1:1:(length(p1))
    Q=[0,0,0];
    for k = 1:1:3
        Q(k)=Qcalc(price(k),ASR(k),ASRN(k),ACD(k),ACDN(k));
        Q1(:,i)=Q;
    end
    if Q(1) == max(Q)
        i1=i1+1;
        p1n(i1,:)=p1(i,:);

        ASR(1)=ASRcalc(p1,p1n);
        ACD(1)=ACDcalc(p1,p1n);
        ASRN(1)=ASRNcalc(p1n);
        ACDN(1)=ACDNcalc(p1n);

    elseif Q(2) == max(Q)
        i2=i2+1;
        p2n(i2,:)=p2(i,:);

        ASR(2)=ASRcalc(p2,p2n);
        ACD(2)=ACDcalc(p2,p2n);
        ASRN(2)=ASRNcalc(p2n);
        ACDN(2)=ACDNcalc(p2n);

    elseif Q(3) == max(Q)
        i3=i3+1;
        p3n(i3,:)=p3(i,:);

        ASR(3)=ASRcalc(p3,p3n);
        ACD(3)=ACDcalc(p3,p3n);
        ASRN(3)=ASRNcalc(p3n);
        ACDN(3)=ACDNcalc(p3n);

    end
    if mod(i,y)==0 || i==1
        ASRN(1)=ASRcalc(p1,p1n);
        ACD(1)=ACDcalc(p1,p1n);
        ASRN(2)=ASRcalc(p2,p2n);
        ACD(2)=ACDcalc(p2,p2n);
        ASRN(3)=ASRcalc(p3,p3n);
        ACD(3)=ACDcalc(p3,p3n);
    end
end
```

Відповідно до опису алгоритму з четвертого розділу цієї роботи, необхідно значення ASR* та ACD* прирівнювати до значень ASR і ACD раз на Y циклів, що реалізовано в останній умові циклу.

Після обробки вихідних даних програма формує вихідний файл, що має такий вигляд:

ASR_Result = 0.752532

ASR_LCR = 0.718458

Stoimost_Result = 0.056445

Stoimost_LCR = 0.050000

ACD_Result = 171.850546

ACD_LCR = 105.643902

5.4. Аналіз отриманих результатів

Спочатку у нас було три Провайдери, які умовно можна позначити як дорогий, середній і дешевий. Теоретично запропонований алгоритм має обрати кращого з трьох провайдерів, не дуже збільшивши витрати. Далі наведено графіки порівняльних результатів за кожним з параметрів.

5.4.1. 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% (рис. 5.4).

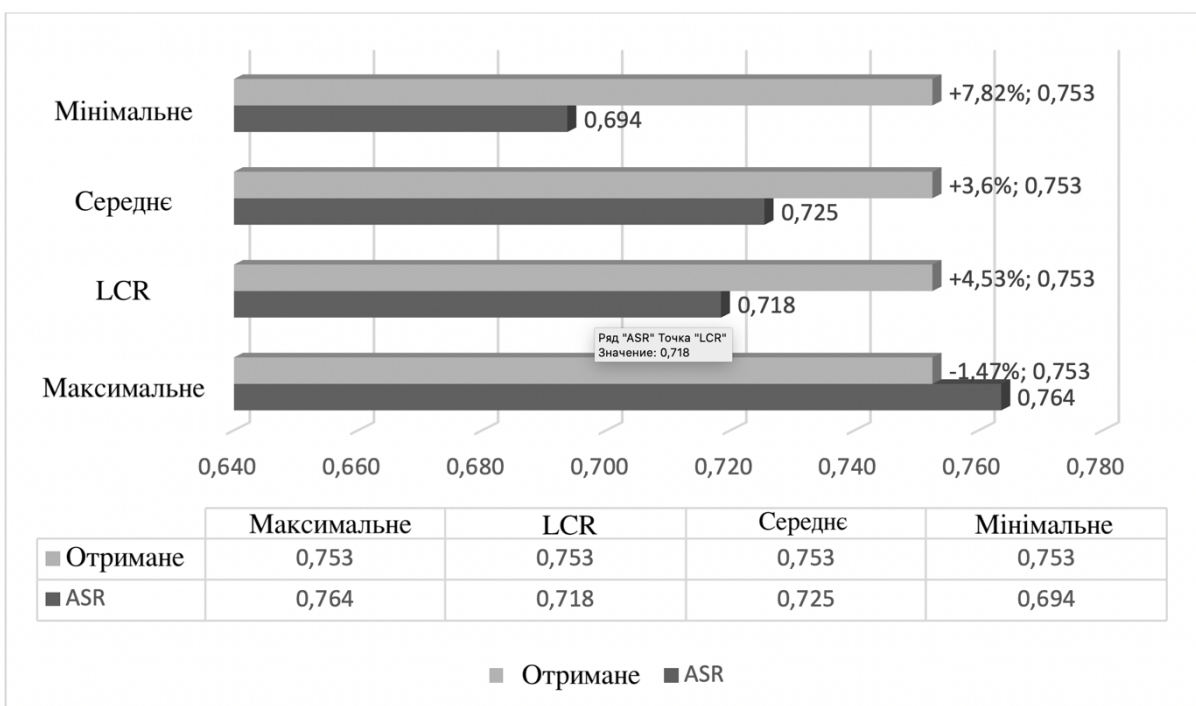


Рис. 5.4. Порівняння початкових і підсумкових значень ASR

Значення ASR результативне нижче, ніж значення ASR максимальне (у найдорожчого провайдера) на 1,47%.

5.4.2. Порівняння значень ACD

Значення ACD під час використання запропонованого алгоритму значно перевищує як початкові значення, які отримані під час використання LCR, так і максимальні (рис. 5.5). Саме на цьому прикладі можна переконатися в коректності роботи алгоритму, зокрема використання ASR* та ACD*. Без

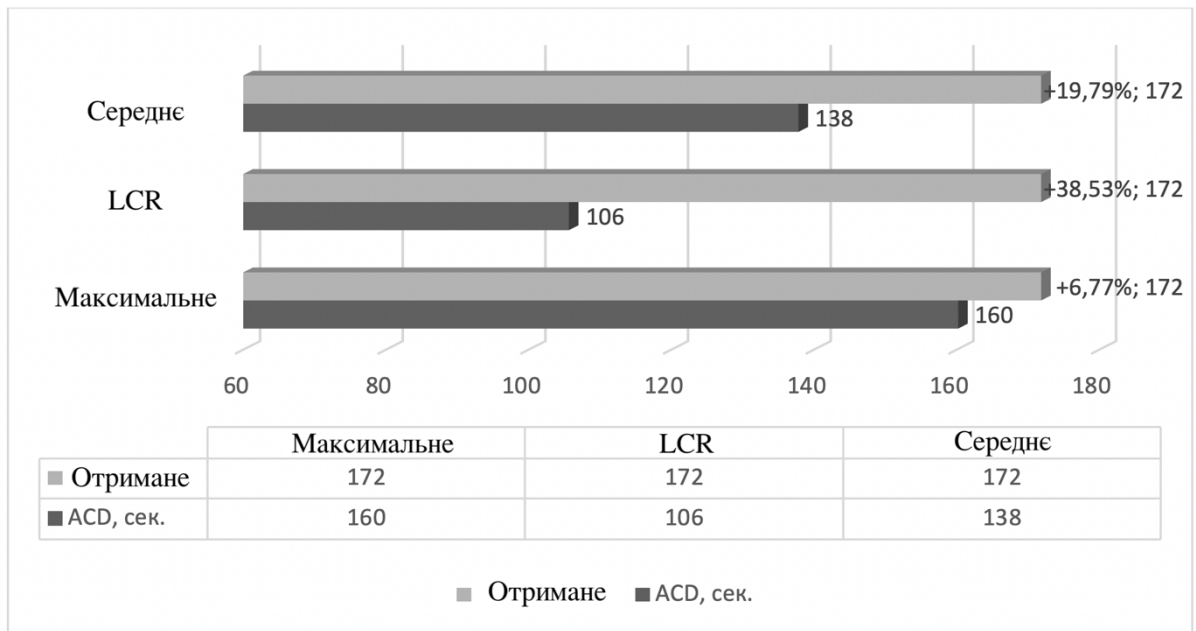


Рис. 5.5. Порівняння початкових і підсумкових значень ACD

урахування короткострокової зміни показників якості ACD не міг би бути вищим за максимальне значення ACD (у найдорожчого провайдера).

5.4.3. Порівняння значень вартості

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. 5.6).

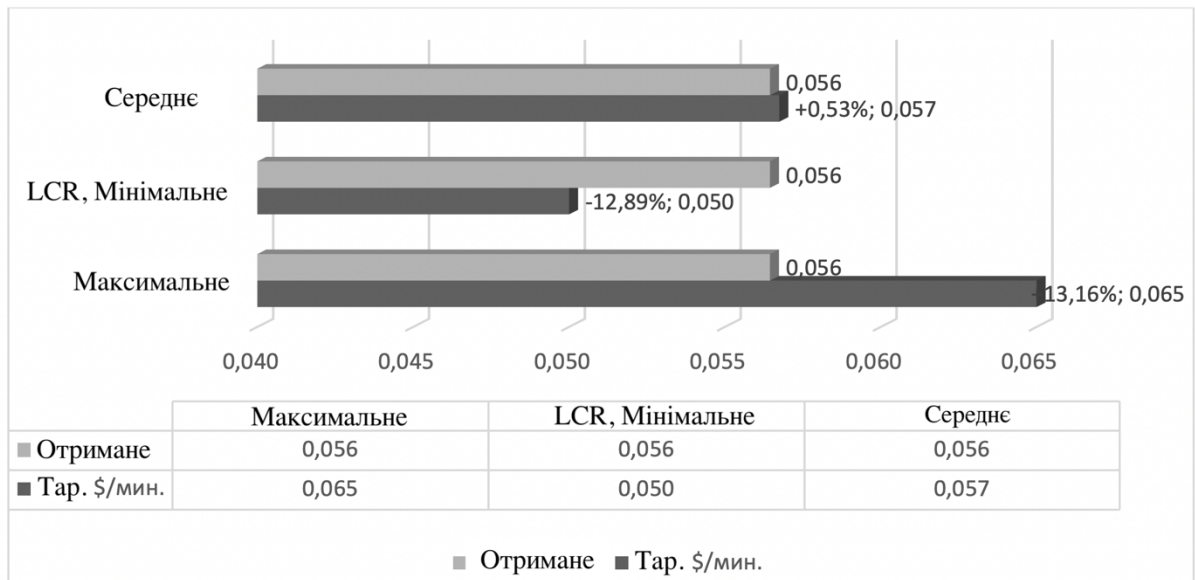


Рис. 5.6. Порівняння початкових і підсумкових значень вартості

5.5. Метод оптимізації функціонування VoIP мережі на основі вибору маршруту голосового виклику

Грунтуючись на отриманих у розділах 1–5 результатах, згідно з розробленими моделями, запропоновано метод оптимізації функціонування VoIP мережі на основі вибору маршруту голосового виклику (рис. 5.7) як розвиток методу багатокритеріальної оптимізації систем управління телекомунікаційними мережами. Запропонований метод включає в себе такі основні етапи й процедури, які ми детально розглянули у попередніх розділах:

- Перевірка вимог опорної IP-мережі.
- Визначення завдань оптимізації.
- Аналіз існуючих аналогових і цифрових сегментів телефонної мережі та IP-мережі
- Реорганізація мережі
- Впровадження Softswitch
- Впровадження журналювання викликів у вигляді БД CDR.
- Аналіз вихідних даних, розрахунок необхідних параметрів.
- Первинне налаштування математичної моделі розрахунку метрики для вибору провайдера.

- Визначення коефіцієнтів перед параметрами моделі за допомогою регресійного аналізу експертних оцінок.

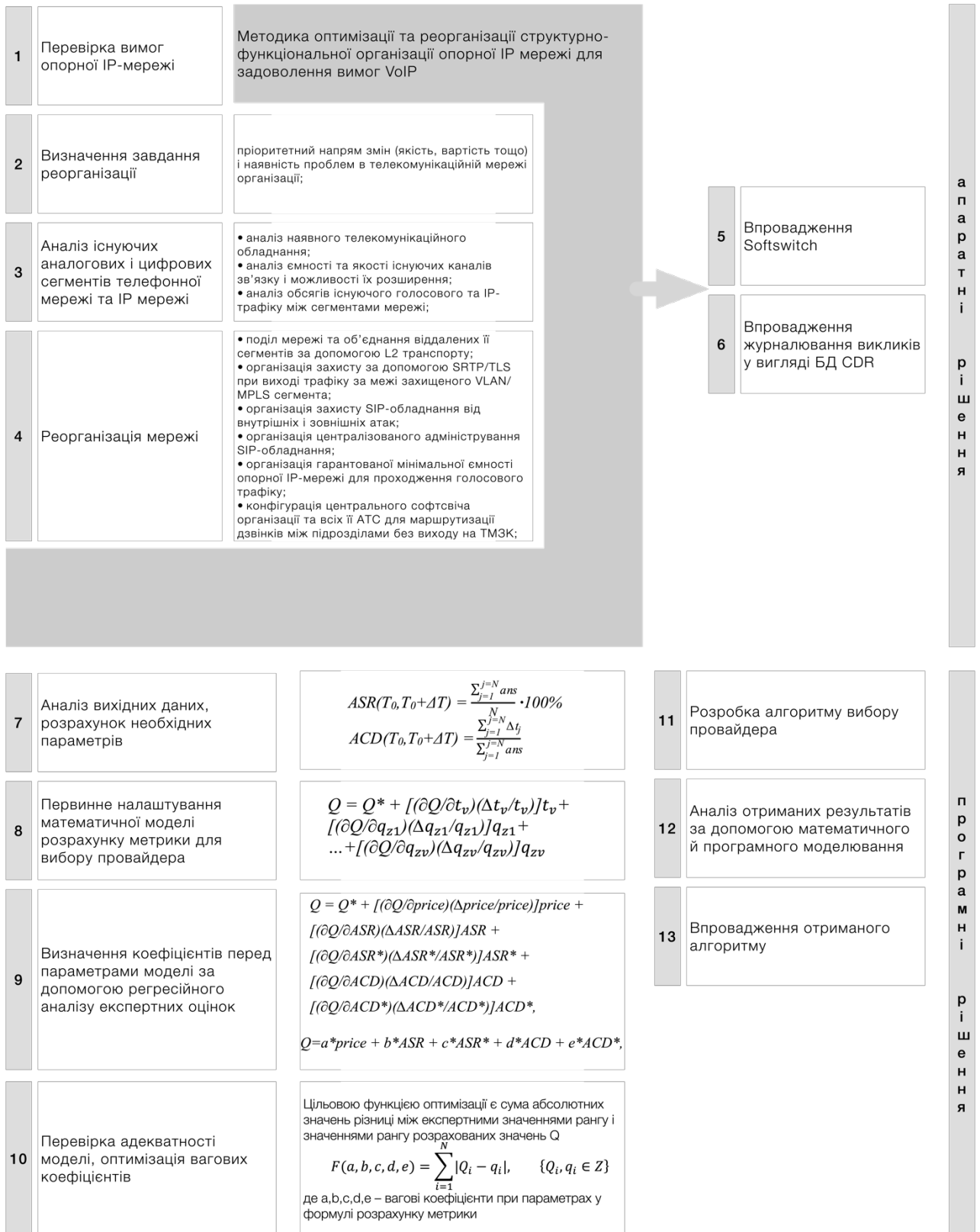


Рис. 5.7. Метод оптимізації функціонування VoIP мережі

- Перевірка адекватності моделі, оптимізація за допомогою генетичних алгоритмів.
- Розробка алгоритму вибору провайдера.
- Аналіз отриманих результатів за допомогою математичного й програмного моделювання.
- Впровадження отриманого алгоритму.

5.6. Висновки

Описані вище результати свідчать про працездатність запропонованого алгоритму вибору найкращого 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 стало 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%.

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. Проведено аналіз існуючих принципів побудови VoIP мереж і технологій маршрутизації голосового та IP-трафіку, що дало змогу встановити 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. Застосування для аналізу провайдерів перед самою маршрутизацією параметрів ASR, ACD і вартості, розрахованих або отриманих із CDR, дасть змогу використовувати вже існуючі і широко застосовувані в роботі цифрових VoIP мереж технології, що спростить впровадження та зменшить обчислювальне навантаження на VoIP обладнання. 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. У сучасних VoIP мережах якість зв'язку істотно залежить від обраного способу маршрутизації голосових викликів. Аналіз сучасних підходів до маршрутизації голосових викликів засвідчив, що основним недоліком існуючих технологій є неможливість автоматичного вибору іншого провайдера при падінні якості послуг, що надаються, без втручання адміністратора. У разі погіршення якості послуг, що надаються провайдером вищого рівня, кінцевий користувач буде отримувати неякісну послугу доти, доки адміністратор не змінить маршрут для цього напрямку вручну після того, як помітить погіршення показників якості, або після скарг користувачів. 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 з методом багатокритеріальної оптимізації систем управління телекомунікаційними мережами, 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. 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.

Таким чином, можна стверджувати, що поставлені завдання вирішені та основну мету дисертаційної роботи досягнуто.

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 софтверів таких підприємств, як SKD Kutna Hora a.s. (Чеська Республіка) та ТОВ «Укрспецком» (Україна). Впровадження та використання результатів роботи підтверджено відповідними актами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Chołda P., Kantor M., Jajszczyk A. Least Cost Routing in Inter-Carrier Context, 2006 IEEE Global Telecommunications Conference GLOBECOM'06, San Francisco, CA, USA, 1 Dec. 2006.
2. Sharp A. Principles of Least Cost Routing (LCR) for Calls. URL. :<http://automation.binarysage.net/?p=472> (дата звернення: 22.12.15).
3. Sripanidkulchai J K., Shae Z., Saha D. Call Routing Management in Enterprise VoIP Networks, Conference ACM SIGCOMM 2007, Kyoto, Japan, 2007.
4. Стеклов В. К., Костік Б. Я., Беркман Л. Н. Сучасні системи управління у телекомунікаціях. Київ: Техніка, 2005. 400 с.
5. 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. 112–117.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Соловьев А. В., Бондаренко В. Н. Обеспечение качества и безопасности VoIP связи путем реорганизации корпоративной TSP/IP сети. *Проблеми інформатизації та управління* : зб. наук. пр. Київ : НАУ, 2012. Вип. 4(40). С. 83–88.

10. 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.
11. 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.
12. Соловьев А. В. Маршрутизация голосовых вызовов в IP-сетях. *Электроника 2012*: материалы IV Міжнародної конференції молодих вчених. Київ : НТУУ «КПИ», 2012. С. 287–291.
13. Соловьев А. В. Усовершенствование динамической маршрутизации голосового трафика. *Электроника 2014*: материалы VII Міжнародної конференції молодих вчених. Київ : НТУУ «КПИ», 2014. С. 191–194.
14. Соловьев А. В. Моделирование маршрутизации голосовых вызовов в VoIP системе. *Электроника 2015*: материалы VIII Міжнародної конференції молодих вчених» Київ : НТУУ «КПИ», 2015. С. 262–266.
15. 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.
16. Гольдштейн Б. С., Гольдштейн А. Б. Softswitch. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2006. 368 с.
17. Гольдштейн Б. С., Пинчук А. В., Суховицкий А. Л. IP-Телефония. Москва: Радио и Связь, 2001. 336 с.
18. Гольдштейн Б. С. Протокол SIP. Справочник. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2005. С. 456.
19. Международный союз электросвязи. Сектор стандартизации электросвязи МСЭ. Рекомендация МСЭ-Т E.164 Международный план нумерации электросвязи общего пользования. Женева, 2010.

- URL. :https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-E.164-201011-I!!PDF-R&type=items (дата звернення: 22.12.15).
- 20.The Internet Engineering Task Force (IETF) RFC Document # 4271. A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4) URL.: <https://tools.ietf.org/html/rfc4271> (дата звернення: 22.12.15).
- 21.Левичев А. Динамическая маршрутизация телефонных звонков с помощью SAF/CCD. URL. : [http:// dbenda.blogspot.com/2011/12/saf-ccd-1.html](http://dbenda.blogspot.com/2011/12/saf-ccd-1.html) (дата звернення: 22.12.15).
- 22.Cisco Service Advertisement Framework Fundamentals, Cisco Systems, Inc. 2010 URL. : https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/ios-nx-os-software/service-advertisement-framework-saf/whitepaper_c11-622512.pdf (дата звернення: 22.12.15).
- 23.The Internet Engineering Task Force (IETF) RFC Document # 2328. OSPF Version 2. URL. : <https://tools.ietf.org/html/rfc2328>. (дата звернення: 22.12.15).
- 24.Кузнецов Н. А., Фетисов В. Н. Алгоритм дейкстры с улучшенной робастностью для управления маршрутизацией в IP-сетях. *Автоматика и телемеханика*. 2008. №2. С. 80–85;
- 25.Бондаренко В. М., Бондаренко Н. О. Розширення функціональності CALL-центру за рахунок інтегрованого додатку IP-телефонії. *Проблеми інформатизації та управління* : зб. наук. пр. 2010. Вип. 1(29). С. 20–23.
- 26.Robinson G. Speeding net traffic with tiny mirrors. URL. : https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1142186 (дата звернення: 22.12.15).
- 27.Андерсон Дж. LSI. Взгляд изнутри: почему для ИТ-инфраструктур следующего поколения необходимы более «интеллектуальные» микросхемы. URL. : <https://www.osp.ru/dcworld/2012/10/13017740.html> (дата звернення: 22.12.15).
- 28.Международный союз электросвязи. Сектор стандартизации электросвязи МСЭ. Рекомендация МСЭ-Т G.114 СЕРИЯ G: СИСТЕМЫ

- И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ, ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ. Женева, 2003. URL. : https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.114-200305-I!!PDF-R&type=items (дата звернення: 22.12.15).
29. Diffie W., Hellman M. E. New Directions in Cryptography. *IEEE Transactions on information theory*. 1976. Vol. IT-22. No. 5. URL. : <http://www-ee.stanford.edu/~hellman/publications/24.pdf>. (дата звернення: 22.12.15).
30. McPherson D., Dykes B. VLAN Aggregation for Efficient IP Address Allocation. *IETF*. 2001. February. URL. : <http://www.ietf.org/rfc/rfc3069.txt> (дата звернення: 22.12.15).
31. Horak R. Telecommunications and data communications handbook / Wiley-Interscience, A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION, Mt. Vernon, WA 2008. 791 с.
32. Asterisk Project. CDR Variables. *Digium, Inc.* URL. : <https://wiki.asterisk.org/wiki/display/AST/CDR+Variables>. (дата звернення: 15.10.16).
33. Международный союз электросвязи. Сектор стандартизации электросвязи МСЭ. Рекомендация МСЭ-Т E.437 SERIES E: OVERALL NETWORK OPERATION, TELEPHONE SERVICE, SERVICE OPERATION AND HUMAN FACTORS. Quality of service, network management and traffic engineering – Network management – Checking the quality of the international telephone service. Женева, 1999. URL. : <https://www.itu.int/rec/T-REC-E.437/recommendation.asp?lang=en&parent=T-REC-E.437-199905-I> (дата звернення: 22.12.15).
34. Международный союз электросвязи. Сектор стандартизации электросвязи МСЭ. Рекомендация МСЭ-Т E.426 QUALITY OF SERVICE, NETWORK MANAGEMENT AND TRAFFIC ENGINEERING. Женева, 1992.

- URL. : https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-E.426-199210-I!!PDF-E&type=items (дата звернення: 22.12.15).
- 35.Международный союз электросвязи. Сектор стандартизации электросвязи МСЭ. Рекомендация МСЭ-Т E.437 SERIES E: OVERALL NETWORK OPERATION, TELEPHONE SERVICE, SERVICE OPERATION AND HUMAN FACTORS. Quality of service, network management and traffic engineering – Network management – Checking the quality of the international telephone service. Женева, 1999. URL. : <https://www.itu.int/rec/T-REC-E.437/recommendation.asp?lang=en&parent=T-REC-E.437-199905-I> – (дата звернення: 22.12.15).
- 36.Международный союз электросвязи. Сектор стандартизации электросвязи МСЭ. Рекомендация МСЭ-Т E.425 SERIES E: OVERALL NETWORK OPERATION, TELEPHONE SERVICE, SERVICE OPERATION AND HUMAN FACTORS. Quality of service, network management and traffic engineering – Network management – Checking the quality of the international telephone service. Internal automatic observations. Женева, 1998. URL. : <https://www.itu.int/rec/T-REC-E.425/recommendation.asp?lang=en&parent=T-REC-E.425-200203-I> – (дата звернення: 22.12.15).
- 37.Международный союз электросвязи. Сектор стандартизации электросвязи МСЭ. Рекомендация МСЭ-Т E.411 SERIES E: OVERALL NETWORK OPERATION, TELEPHONE SERVICE, SERVICE OPERATION AND HUMAN FACTORS. Quality of service, network management and traffic engineering – Network management – International network management. Женева, 2000. URL. : https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-E.411-200003-I!!PDF-E&type=items (дата звернення: 22.12.15).
- 38.Basic N., Lipovac V., Lipovac A. Practical Analysis of xDR Based Signaling Network Performance and End-toEnd QoS. *2018 Networked Digital*

- Technologies*, Part II, 4th International Conference, NDT 2012, Proceedings, Part II 2012, Dubai, UAE, April 24–26, 2012. pp. 34–45.
39. Kezys M. Answer-Seizure Ratio (ASR) and Average Call Duration (ACD). *Kolmisoft*. URL. : <https://blog.kolmisoft.com/answer-seizure-ratio-asr-and-average-call-duration-acd/>. (дата звернення: 15.10.16).
40. Holub J. Beerends J. G., Šmíd R. A Dependence between Average Call Duration and Voice Transmission Quality: Measurement and Applications. *IEEE 2004 Symposium on Wireless Telecommunications* : Conference proceedings, 2014, Pomona, CA, USA, USA – 14–15 May 2004.
41. Analysis of the Dependency of Call Duration on the Quality of VoIP Calls / J. Holub, et al. *2018 IEEE WIRELESS COMMUNICATIONS LETTERS*. 2018. Vol. 7. №4. P. 638–641.
42. Таран В. В. Апроксимаційна модель варіацій основних параметрів якості VoIP-зв'язку у часі. *Електроніка-2017* : зб. статей 10-ї міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених. Київ : НТУУ «КПІ», 2017. С. 197–200.
43. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Москва : Физматлит, 2006. 816 с.

ДОДАТОК А

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ



phone: +420 327 506 111
fax: +420 327 506 222
e-mail: info@ckdkh.cz

Karlov č. p. 197
284 49 Kutná Hora
Czech Republic

The company is registered in the Business Register at the Municipal Court in Prague, section B, entry 224.

Certificate of the Implementation

The results of research described in dissertation by Oleksandr Soloviov "Optimization of VoIP network operation based on voice call routing and network reorganization" were used in the project of IP and phone networks modernization at CKD Kutná Hora a.s. in the following way:

1. Implementation of voice traffic routing and network reorganization methods.
2. Optimization of external voice traffic routing based on the mathematical model of voice call routing.
3. Implementation of algorithm based on the mathematical model of voice call routing.

The use of these results allowed to: reduce communication expenses without loss of quality parameters, to use the existing IP network as a base for VoIP system design.

2. 03. 2017

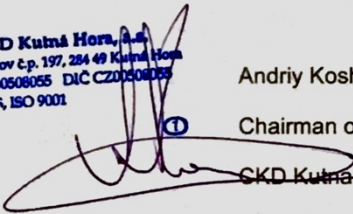


ČKD Kutná Hora, a.s.
Karlov č.p. 197, 284 49 Kutná Hora
IČ 00508055 DIČ CZ00401025
IRIS, ISO 9001

Andriy Koshelyuk

Chairman of the Board

CKD Kutná Hora a.s.





УКРСПЕЦКОМ

ТОВ «УкрСпецКом»
01042, м. Київ, вул. П. Лумумби, 4/6, корп. А, 311
ЄДРПОУ: 38758393, р/р 26006057000774
в ПАТ КБРУ «Приватбанк» в м. Києві, МФО 321842
www.ukrsc.com

Вих. №4 від 17.11.15 року

ТОВ «УКРСПЕЦКОМ»
«УЗГОДЖЕНО»

ТЕХ. ДИРЕКТОР
КОМЕРЦ-ВІДДАТ

Бісес Т.В.

Довідка

про практичне впровадження результатів дисертаційної роботи Соловйова Олександра Віталійовича «Оптимізація функціонування VOIP мережі на основі вибору маршруту голосового виклику» на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 - телекомунікаційні системи та мережі

ТОВ «УкрСпецКом» розглянуло результати дисертаційного дослідження Соловйова О.В. на тему: «Оптимізація функціонування VoIP мережі на основі вибору маршруту голосового виклику» та підтверджує, що вони є актуальними, становлять практичний інтерес і використані у діяльності товариства, зокрема, при розробці плану модернізації телефонної та IP мережі підприємств CKD Kutna Hora a.s. та SCB Foudry a.s., Чеська Республіка. Наразі робота по модернізації мереж підприємств триває.

Виконані Соловйовим О.В. дослідження маршрутизації голосового трафіку у VoIP мережах та запропоновані ним концепція побудови VoIP мережі, методика вибору провайдера, математична та імітаційна моделі становлять наукову цінність та можуть бути використані для подальшого розвитку систем VoIP зв'язку.

Розроблена Соловйовим О.В. на базі математичної моделі методика вибору провайдера та алгоритм побудованих на її основі становлять практичну цінність для підприємств телекомунікаційної галузі. Запропонований у роботі принцип обліку змін параметрів якості, де пропонується враховувати не тільки існуючі довгострокові параметри якості, але і короткострокові зміни цих параметрів, дозволить системі швидко реагувати на перебої в роботі провайдерів зв'язку. Використання цих рішень дозволить операторам VoIP зв'язку значно зменшити свої витрати на обслуговування та адміністрування VoIP систем, а також надавати своїм клієнтам більш якісний зв'язок.

Довідка видана до пред'явлення по місцю вимоги.

З повагою,
Директор ТОВ «УкрСпецКом»



Спасенко О.В.



НАУКОВО - ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"

03056, Україна,
м.Київ, вул. Політехнічна, 16

Тел. / факс + 380 (44) 236-96-76

ЗАТВЕРДЖУЮ

в.о. Директора

НДІ Прикладної електроніки

Д.Д. Татарчук

27 грудня 2016 р.

ДОВІДКА

про практичне впровадження

результатів дисертаційної роботи Соловйова Олександра Віталійовича
"Оптимізація функціонування VoIP мережі на основі вибору маршруту голосового виклику"
на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 -
телекомунікаційні системи та мережі

У зв'язку із зростанням обсягів голосового трафіку в IP-мережах (VoIP) і великою кількістю пропозицій від провайдерів IP-телефонії, маршрутизація голосових викликів з урахуванням вимог до якості та вартості каналу зв'язку стає актуальною задачею для галузі телекомунікацій. Основною проблемою, розв'язуваною в рамках роботи Соловйова О.В., є відсутність достатнього рівня автоматизації маршрутизації голосових викликів, при якій враховуються не тільки фактори вартості або якості, а і їх співвідношення.

Результати наукової роботи Соловйова О.В. застосовано для визначення об'єктивної методики вибору провайдера, який найбільше відповідає суб'єктивним експертним оцінкам якості роботи провайдера. Основна відмінність запропонованої методики вибору маршруту від існуючих - облік параметрів якості та вартості маршруту і вибір оптимального варіанту перед маршрутизацією. В роботі пропонується враховувати не тільки існуючі довгострокові параметри якості, але і короткострокові зміни цих параметрів, що дозволяє системі швидко реагувати на перебої в роботі провайдерів. Розроблено алгоритм вибору провайдера, який значно зменшує необхідність втручання адміністратора в процес роботи обладнання VoIP мережі і автоматизує вибір маршруту проходження голосового виклику, що призводить до надання абоненту найбільш якісних послуг за мінімальною ціною та швидкої реакції на несправності. Дисертантом запропоновано математичну модель вибору провайдера, покладену в основу розробки алгоритму, та проведено оптимізацію параметрів моделі.

Результати експериментальних досліджень, проведених з використанням розробленої Соловйовим О.В. імітаційної моделі, довели працездатність запропонованих методики та алгоритму вибору провайдера. Отримані результати використано під час виконання науково-дослідної роботи "Дослідження факторів та ступеню їх впливу на якість, вартість VoIP зв'язку, безпеку та продуктивність корпоративних IP мереж з підтримкою технології VoIP" (№ ДР 0113U001495). В межах цієї роботи також розроблено практичні рекомендації щодо технічних вимог під час побудови IP мережі для розгортання систем VoIP зв'язку.

Виконані безпосередньо Соловйовим О.В. дослідження маршрутизації голосових викликів у VoIP мережах та запропоновані рішення з оптимізації функціонування VoIP мережі дозволяють покращити характеристики якості роботи системи VoIP зв'язку в середньому на 11% в порівнянні з системою, де таке керування здійснює кваліфікований адміністратор.

Заступник директора

О.В. Богдан



Міністерство освіти і науки України
ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ
(ЗДА)

пр. Соборний, 226, Запоріжжя, 69006, Україна
E-mail: admin@zgia.zp.ua

тел./ факс (061) 283-08-38 тел. 236-90-34
Код ЄДРПОУ 05402565

18.10.16 № 01-28/1487

На № _____ від _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
аспіранта кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури,
факультет електроніки
Національного технічного університету України
«Київський Політехнічний Інститут»
Соловійова Олександра Віталійовича

Довідка засвідчує, що основні теоретичні положення, висновки, рекомендації, які містяться в дисертаційному дослідженні О.В. Соловійова на тему «Оптимізація функціонування VoIP мережі на основі вибору найкращого маршруту голосового виклику» на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, враховані та частково використані в навчальному процесі кафедри інформаційних технологій і економічної безпеки бізнесу на факультеті економіки та менеджменту Запорізької державної інженерної академії протягом 2015-2016 навчального року.

Зокрема, матеріали розділу 3 дисертації щодо методіки вибору найкращого маршруту проходження голосового VoIP виклику, оптимізації співвідношення ціна/якість зв'язку, практики використання параметрів якості, розрахованих за короткий проміжок часу, використані при підготовці навчально-методичних матеріалів з дисциплін «Інформаційні системи і технології в управлінні організацією». Матеріали розділу 4 щодо способу знаходження і оптимізації коефіцієнтів математичної моделі, яка описує вибір провайдера VoIP зв'язку, використані при підготовці навчально-методичних матеріалів з дисциплін «Ефективність інформаційних систем».

Ректор,
д.т.н., професор



В.А. Банах



ДОДАТОК Б

ЛІСТИНГ ПЗ

1. ПЗ моделювання. Model.m:

```
ASR(1)=ASRsmallcalc(p1);
ASR(2)=ASRsmallcalc(p2);
ASR(3)=ASRsmallcalc(p3);
ACD(1)=ACDsmallcalc(p1);
ACD(2)=ACDsmallcalc(p2);
ACD(3)=ACDsmallcalc(p3);
ASRN=ASR;
ACDN=ACD;
i1=0;
i2=0;
i3=0;
p1n=[0,0];
p2n=[0,0];
p3n=[0,0];
p1n(1:15,1:2)=p1(1:15,1:2);
p2n(1:15,1:2)=p2(1:15,1:2);
p3n(1:15,1:2)=p3(1:15,1:2);
Q=[0,0,0];
ASRi=[0,0,0];
ACDi=[0,0,0];
ASRN=[0,0,0];
ACDN=[0,0,0];

for i = 1:1:(length(p1))
    ASRi(i,:)=ASR;
    ACDi(i,:)=ACD;
    ASRNi(i,:)=ASRN;
    ACDNi(i,:)=ACDN;
    Q=[0,0,0];
    for k = 1:1:3
        Q(k)=Qcalc(price(k),ASR(k),ASRN(k),ACD(k),ACDN(k));
        Q1(:,i)=Q;
    end
    if Q(1) == max(Q)

        i1=i1+1;
```

```

    p1n(i1,:) = p1(i,:);

    ASR(1) = ASRcalc(p1, p1n);
    ACD(1) = ACDcalc(p1, p1n);
    ASRN(1) = ASRNcalc(p1n);
    ACDN(1) = ACDNcalc(p1n);

elseif Q(2) == max(Q)
    )
    i2 = i2 + 1;
    p2n(i2,:) = p2(i,:);

    ASR(2) = ASRcalc(p2, p2n);
    ACD(2) = ACDcalc(p2, p2n);
    ASRN(2) = ASRNcalc(p2n);
    ACDN(2) = ACDNcalc(p2n);

elseif Q(3) == max(Q)

    i3 = i3 + 1;
    p3n(i3,:) = p3(i,:);

    ASR(3) = ASRcalc(p3, p3n);
    ACD(3) = ACDcalc(p3, p3n);
    ASRN(3) = ASRNcalc(p3n);
    ACDN(3) = ACDNcalc(p3n);

end
if mod(i, 100) == 0 || i == 1
    ASRN(1) = ASRcalc(p1, p1n);
    ACD(1) = ACDcalc(p1, p1n);
    ASRN(2) = ASRcalc(p2, p2n);
    ACD(2) = ACDcalc(p2, p2n);
    ASRN(3) = ASRcalc(p3, p3n);
    ACD(3) = ACDcalc(p3, p3n);
end
end
end

```

1.2. Функція розрахунку гібридного коефіцієнта Q:

```
function f = Qcalc(Price, ASR, ASRN, ACD, ACDN)
```

```
f = -
50.38432924*Price+6.369977219*ASR+8.452990907*ASRN+0.009819983*ACD+0.059696346*ACD
N;
end
```

1.3. Функції розрахунку ASR, ASR*:

```
function f = ASRsmallcalc(p)
f = (sum(p(:,2)))/(length(p));
end
```

```
function f = ASRNcalc(p)
f = sum(p([length(p)]-10:[length(p)],2))/10;
end
```

```
function f = ASRcalc(p,p1)
f = (sum(p(:,2))+sum(p1(:,2)))/(length(p)+length(p1));
end
```

1.4. Функції розрахунку ACD, ACD*:

```
function f = ACDsmallcalc(p)
f = (sum(p(:,1)))/(sum(p(:,2)));
end
```

```
function f = ACDNcalc(p)
a=0;
sum1=0;
a1=length(p);
    while (a<8) && (a<sum(p(length(p)-12:length(p),2)))

        if p(a1,2)==1
            sum1=sum1+p(a1,1);
            a1=a1-1;
            a=a+1;
        else
            a1=a1-1;
        end
    end
f=sum1/a;
end
```

```
function f = ACDcalc(p,p1)
```

```
f = (sum(p(:,1))+sum(p1(:,1)))/(sum(p(:,2))+sum(p1(:,2)));
end
```

2. ПЗ виведення отриманих результатів на екран. Chesh.m:

```
model;
ACD_Srednee=(ACDsmallcalc(p1)+ACDsmallcalc(p2)+ACDsmallcalc(p3))/3;
ACD_LCR=ACDsmallcalc(p1);
ACD_Nash=(ACDsmallcalc(p1n)+ACDsmallcalc(p2n)+ACDsmallcalc(p3n))/3;
Stoimost_LCR=((sum(p1n(:,1))*price(1)+sum(p2n(:,1))*price(1)+sum(p3n(:,1))*p
rice(1))/((sum(p1n(:,1))+sum(p2n(:,1))+sum(p3n(:,1)))));
Stoimost_Srednee=((sum(p1(:,1))*price(1)+sum(p2(:,1))*price(2)+sum(p3(:,1))*p
rice(3))/((sum(p1(:,1))+sum(p2(:,1))+sum(p3(:,1)))));
Stoimost_Nash=((sum(p1n(:,1))*price(1)+sum(p2n(:,1))*price(2)+sum(p3n(:,1))*p
rice(3))/((sum(p1n(:,1))+sum(p2n(:,1))+sum(p3n(:,1)))));
ASR_Srednee=(ASRsmallcalc(p1)+ASRsmallcalc(p2)+ASRsmallcalc(p3))/3;
ASR_LCR=ASRsmallcalc(p1);
ASR_Nash=(ASRsmallcalc(p1n)+ASRsmallcalc(p2n)+ASRsmallcalc(p3n))/3;

fprintf('ASR_Nash = %f\n', ASR_Nash);
fprintf('ASR_LCR = %f\n', ASR_LCR);
fprintf('ASR_max = %f\n', ASR_max);
fprintf('ASR_Srednee = %f\n', ASR_Srednee);
fprintf('ASR_min = %f\n', ASR_min);
fprintf('Stoimost_Nash = %f\n', Stoimost_Nash);
fprintf('Stoimost_LCR = %f\n', Stoimost_LCR);
fprintf('Stoimost_max = %f\n', Stoimost_max);
fprintf('Stoimost_Srednee = %f\n', Stoimost_Srednee);
fprintf('Stoimost_min = %f\n', Stoimost_min);
fprintf('ACD_Nash = %f\n', ACD_Nash);
fprintf('ACD_LCR = %f\n', ACD_LCR);
fprintf('ACD_max = %f\n', ACD_max);
fprintf('ACD_Srednee = %f\n', ACD_Srednee);
fprintf('ACD_min = %f\n', ACD_min);
```