

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## **Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему **Проектування віртуальної телекомунікаційної мережі на основі  
технології IP телефонії**

Виконав: студент 6 курсу, групи 601ТТ  
спеціальності 172 «Електронні комунікації та  
радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Михайленко В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Індик С.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Шефер О.В.

(прізвище та ініціали)

## Реферат

**Актуальність роботи.** У сучасному світі швидкого розвитку телекомунікаційних технологій виникає потреба у створенні мереж, що забезпечують ефективний зв'язок із високою якістю обслуговування, низькими витратами та гнучкою масштабованістю. IP телефонія є однією з найбільш перспективних технологій для побудови віртуальних телекомунікаційних мереж, оскільки дозволяє значно знизити витрати на комунікації, спростити управління мережею та розширити можливості інтеграції різноманітних сервісів. Заміна традиційних телефонних мереж мережами IP телефонії відкриває широкі можливості для корпоративного та приватного секторів, сприяючи економічному розвитку та ефективнішій комунікації. Дослідження в області проектування таких мереж є актуальним кроком до забезпечення доступного та якісного зв'язку.

**Мета роботи:** оцінка ефективності функціонування проекту віртуальної телекомунікаційної мережі IP на основі аналізу параметрів затримок.

**Структура та обсяг роботи.** Об'єм даної роботи становить: 65 сторінки друкованого тексту. Робота містить вступ, 3 розділи, висновки та список використаних джерел.

Розділи кваліфікаційної роботи:

- Перший розділ містить загальні теоретичні відомості з теорії побудови мереж загальнотехнологічного зв'язку.
- У другому розділі розглянуто архітектуру і технічний склад телефонних мереж на основі технології IP телефонії.
- Третій розділ містить розробку схеми мережі, методику розрахунку параметрів потоку даних, порівняння отриманих теоретичних та практичних результатів.

**Методи дослідження.** У дослідженні використані методи математичного моделювання, аналітичний підхід для розрахунку параметрів трафіку та якості обслуговування. Для побудови архітектури мережі застосовано системний підхід, який включає розгляд технічних компонентів мережі та аналіз стандартів протоколів і кодеків. У роботі розглядається методика розрахунку затримки на різних етапах

обробки пакетів, зокрема при інкапсуляції, декомпресії, розповсюдженні, що дозволяє оцінити загальну затримку та обрати оптимальні параметри для забезпечення якості обслуговування.

**Рекомендації щодо використання та результати впровадження.** Результати роботи можуть бути використані при проектуванні корпоративних і приватних віртуальних телекомунікаційних мереж на основі технології IP телефонії. Запропонована методика дозволяє оптимізувати затримку в мережі, що підвищує якість передачі голосового трафіку та загальну ефективність мережі. Впровадження розробленої методики дозволить забезпечити надійну якість обслуговування, знизити витрати на створення і обслуговування мережі, а також створити масштабовану і гнучку телекомунікаційну інфраструктуру.

## Overview

**Relevance of the work.** In today's world of rapidly advancing telecommunications technology, there is a growing need for networks that ensure efficient communication with high service quality, low costs, and flexible scalability. IP telephony is one of the most promising technologies for building virtual telecommunications networks, as it enables a significant reduction in communication costs, simplifies network management, and expands the possibilities for integrating various services. The replacement of traditional telephone networks with IP telephony networks opens up wide opportunities for both corporate and private sectors, promoting economic development and more efficient communication. Research in the area of designing such networks is an important step towards providing accessible and high-quality communication.

**Objective.** To assess the efficiency of a virtual IP telecommunications network design by analyzing delay parameters.

**Structure and scope of the paper.** This work comprises 65 pages of printed text and includes an introduction, 3 chapters, conclusions, and a list of references.

Sections of a master's thesis:

- The first chapter presents general theoretical information on the theory of constructing general technology communication networks.
- The second chapter examines the architecture and technical composition of telephone networks based on IP telephony technology.
- The third chapter provides the network design, methodology for calculating data flow parameters, and a comparison of theoretical and practical results.

**Research methods.** The study employs methods of mathematical modeling and an analytical approach to calculate traffic parameters and service quality. A systematic approach was used to construct the network architecture, which includes examining the technical components of the network and analyzing protocol and codec standards. The work presents a methodology for calculating delay at various stages of packet processing, including encapsulation, decompression, and distribution, allowing for the assessment of total delay and selection of optimal parameters to ensure service quality.

**Recommendations for use and implementation results.** The results of this work can be applied in the design of corporate and private virtual telecommunications networks based on IP telephony technology. The proposed methodology optimizes network delay, which improves the quality of voice traffic transmission and the overall efficiency of the network. Implementing this methodology will help ensure reliable service quality, reduce the costs of network creation and maintenance, and establish a scalable and flexible telecommunications infrastructure.

## Зміст

Перелік умовних позначень	6
Вступ	8
1 Аналіз принципів побудови загальнотехнологічних телефонних мереж	9
1.1 Технічний склад традиційної телефонної мережі	9
1.2 Основні принципи зв'язку традиційної телефонної мережі	11
1.3 Еволюція загальнотехнологічних телефонних мереж	12
1.4 Основні етапи розвитку систем комутації	14
1.5 Перехід від традиційної телефонної мережі до мереж IP телефонії	20
2 Архітектура і технічний склад телефонних мереж на основі технології IP телефонії	25
2.1 Архітектура технології IP телефонії	25
2.2 Технічний склад мережі на основі технології IP телефонії	27
2.3 Особливості та переваги технології IP телефонії	
2.4 Протоколи та кодеки в архітектурі IP телефонії	
2.5 Забезпечення якості обслуговування у мережах на основі технології IP телефонії	
3 Методика розрахунку параметрів потоку даних в мережі на основі технології IP телефонії	32
3.1 Розрахунок затримки кодека середовища IP	32
3.2 Розрахунок затримки при інкапсуляції пакетів	41
3.3 Розрахунок затримки обробки пакетів	42
3.4 Розрахунок пропускної здатності в мережі	43
3.5 Розрахунок затримки послідовного потоку пакетів	45
3.6 Розрахунок затримки розповсюдження потоку пакетів	45
3.7 Розрахунок затримки при компенсації джиттера	46
3.8 Розрахунок затримки при декапсуляції пакетів	51
3.9 Розрахунок затримки при декомпресії пакетів	52

3.10 Розрахунок затримки мережевих пристроїв

3.11 Розрахунок параметрів затримки моделі IP мережі

Висновки 56

Перелік посилань 57

## Перелік умовних позначень

Access point – точка доступу

ADPCM – адаптивна імпульсно-кодова модуляція

ADSL – асиметрична цифрова абонентська лінія

AES – розширений стандарт шифрування

BHT – зайнятий годинний трафік

BRI – інтерфейс базової швидкості

DHCP – протокол конфігурації динамічного хоста

DWDM – мультиплексування з щільним поділом довжини хвилі

DECT – цифрова поліпшена бездротова телекомунікація

ISDN – цифрова мережа інтегрального обслуговування

IP – Міжмережний протокол

IPv4 – Міжмережний протокол 4-й версії

IPv6 – Міжмережний протокол 6-й версії

LAN – локальна мережа

MP – Multipoint Processor

PoE – Power over Ethernet

PSTN – публічна комутаційна телефонна мережа

QoS – Якість обслуговування

RTP – Real-time Transport Protocol

TCP – Transmission Control Protocol

VDSL – цифрова високошвидкісна абонентська лінія

VoIP – voice over IP

WAN – Wide Area Network

WLAN – Група комп'ютерів, які зв'язані між собою однією безпроводовою мережею

ATC – автоматизована телефонна станція

BATC – віртуальна автоматизована телефонна станція

ТМЗК – телефонна мережа загального користування

КТМ – корпоративна телефонна мережа

## Вступ

З розвитком інформаційних технологій та збільшенням обсягів переданих даних зростає потреба у впровадженні нових рішень для забезпечення надійного зв'язку. IP телефонія, яка базується на принципах передачі голосу через мережі пакетної комутації, стає однією з ключових технологій сучасних телекомунікацій. Вона забезпечує ефективний, економічний і гнучкий спосіб комунікації, який, на відміну від традиційних телефонних мереж, дозволяє інтегрувати різні мультимедійні сервіси, знижує витрати на зв'язок і спрощує управління мережею.

Перехід від класичних телефонних мереж до мереж на основі IP телефонії є важливим кроком у розвитку телекомунікаційної інфраструктури. Традиційні телефонні мережі мають обмежену функціональність, яка не відповідає сучасним вимогам бізнесу і приватних користувачів. IP телефонія, у свою чергу, дозволяє не лише передавати голосовий сигнал, але й інтегрувати передачу відео, обміну миттєвими повідомленнями, забезпечувати конференц-зв'язок та інші додаткові послуги, що значно підвищує якість комунікації та продуктивність роботи в корпоративному середовищі.

Проектування віртуальної телекомунікаційної мережі на основі технології IP телефонії є актуальним завданням, яке потребує врахування низки технічних і архітектурних аспектів, пов'язаних із забезпеченням якості обслуговування, надійністю та захистом даних. Для побудови ефективної мережі необхідно знати принципи побудови традиційних телефонних мереж, розуміти особливості архітектури IP телефонії, а також враховувати специфіку розрахунку параметрів затримки, що дозволить забезпечити високу якість зв'язку і стабільну роботу мережі.

## **1. Аналіз принципів побудови загальнотехнологічних телефонних мереж**

### **1.1 Технічний склад традиційної телефонної мережі**

Традиційна телефонна мережа представляє собою складну інфраструктуру, яка забезпечує передачу голосових даних через кабельні та бездротові канали зв'язку. До ключових елементів, що формують традиційну телефонну мережу, їх функції та роль у забезпеченні стабільної та якісної передачі голосових повідомлень відносять: абонентське обладнання, лінії зв'язку, комутаційне обладнання, мережі магістрального зв'язку, системи сигналізації, а також джерела електроживлення та резервні системи.

Одним з головних елементів традиційної телефонної мережі є абонентське обладнання – телефони та модеми. Це кінцеві пристрої, що використовуються для здійснення викликів і передачі даних. Телефонні апарати можуть бути як аналоговими, так і цифровими, проте в традиційних мережах найчастіше використовуються аналогові пристрої. Ці апарати підключені до мережі через місцеві лінії зв'язку.

Лінії зв'язку є каналами для передачі голосу від абонента до центральної станції або комутаційного обладнання. В традиційних телефонних мережах використовуються два основні типи ліній: мідні та оптоволоконні кабелі. Мідні кабелі забезпечують передачу сигналу в аналоговій формі, мають обмежену пропускну здатність і чутливість до зовнішніх перешкод, але використовуються переважно завдяки своїй доступності та дешевизні. Оптоволоконні кабелі дозволяють передавати цифрові дані на великі відстані з високою швидкістю та без значних втрат якості, але вони потребують більших вкладень для розгортання інфраструктури.

Комутаційне обладнання — центральна частина телефонної мережі, яка забезпечує з'єднання абонентів під час виклику. На початкових етапах розвитку

телефонії комутація виконувалася вручну операторами. Згодом з'явилися автоматичні комутаційні системи (АТС), які значно підвищили ефективність мережі. АТС включають комутатори, що з'єднують абонентів на рівні окремих ліній або напрямків, і дозволяють автоматично встановлювати зв'язок між користувачами. У традиційних мережах використовуються аналогові та цифрові комутатори [1].

Для з'єднання між окремими АТС та передачі сигналів на великі відстані використовуються магістральні мережі. Ці мережі забезпечують зв'язок між містами, регіонами та навіть країнами. Магістральні канали також можуть використовувати оптоволоконні кабелі та мікрохвильові передавачі. Важливим елементом є вузли комутації магістрального рівня, які контролюють передачу даних та підтримують з'єднання в межах великої географічної області [2].

Сигналізація — це система передачі службової інформації, яка допомагає керувати з'єднанням між абонентами. Вона використовує спеціальні канали для передачі команд, повідомлень про зайнятість ліній, обробки запитів на встановлення та розрив з'єднання. Найпоширенішою технологією в традиційній телефонії є сигналізація за стандартом SS7 (Signaling System No. 7). Ця технологія дозволяє обробляти великі обсяги викликів і забезпечує надійний захист від можливих помилок під час передачі [3].

Для забезпечення безперебійної роботи мережі потрібні надійні джерела живлення та резервні системи. АТС та інші вузли зв'язку залежать від стабільного електропостачання, а для захисту від аварійних ситуацій використовуються акумуляторні батареї або генератори, що забезпечують резервне живлення на випадок збоїв у мережі.

Традиційна телефонна мережа — це складна система, що включає в себе абонентське обладнання, лінії зв'язку, комутаційні пристрої, магістральні канали, системи сигналізації та резервного живлення. Кожен з цих елементів відіграє важливу роль у забезпеченні стабільного і надійного зв'язку. Хоча з розвитком цифрових технологій традиційні телефонні мережі поступаються місцем IP-телефонії та іншим сучасним рішенням, їх надійність та зручність використання все ще роблять їх актуальними в багатьох регіонах та ситуаціях.

## 1.2 Основні принципи зв'язку традиційної телефонної мережі

У традиційній телефонній мережі з'єднання відбувається за рахунок механізму комутації каналів, що передбачає створення безперервного з'єднання між абонентами для забезпечення стабільної голосової передачі.

Після підняття слухавки з телефонного апарата виникає струм у лінії зв'язку, що замикає локальний контур і сигналізує автоматичній телефонній станції (АТС) про підключення абонента. Абонент, що викликає, отримує сигнал набору, що вказує на готовність системи до з'єднання. У разі неможливості встановити зв'язок, АТС передає спеціальні сигнали, які інформують абонента про стан лінії: сигнал зайнятості, помилку або звільнення лінії.

Для виклику іншого абонента абонент, що викликає, вводить його номер. Інформація про номер передається на АТС у вигляді імпульсних або тональних сигналів (DTMF). У перших системах виклику для передачі номера використовувалася імпульсний набір, який створював відповідну послідовність розривів у локальній схемі при повороті диска набору телефону. З розвитком системи набору номера було розроблено систему DTMF, яка використовує тональні сигнали, що генеруються як комбінації частот для кожної цифри на клавіатурі пристрою, що підвищило швидкість і надійність набору [4].

Після отримання виклику АТС встановлює шлях для з'єднання з викликаним абонентом. Якщо абонент не зняв слухавку, сигнал дзвінка проходить через конденсатор змінного струму, що дозволяє сигналізувати виклик навіть при розімкненому контурі. Після зняття слухавки з'єднання стає повним, і починається розмова між абонентами. Завершення дзвінка однією зі сторін призводить до розриву з'єднання, що сигналізує АТС про завершення сеансу.

Загальний принцип комутації каналів у традиційних телефонних мережах забезпечує повне виділення каналу зв'язку на час розмови. Після встановлення з'єднання канал залишається зайнятим, що гарантує незмінну якість зв'язку і

відсутність втручання інших абонентів. Недоліком є неефективність використання ресурсу мережі — якщо в певний момент зв'язок не використовується (наприклад, абоненти мовчать), канал все одно залишається зарезервованим.

Класичним прикладом мережі з комутацією каналів є первинна аналогова телефонна мережа (рисунок 1.1).

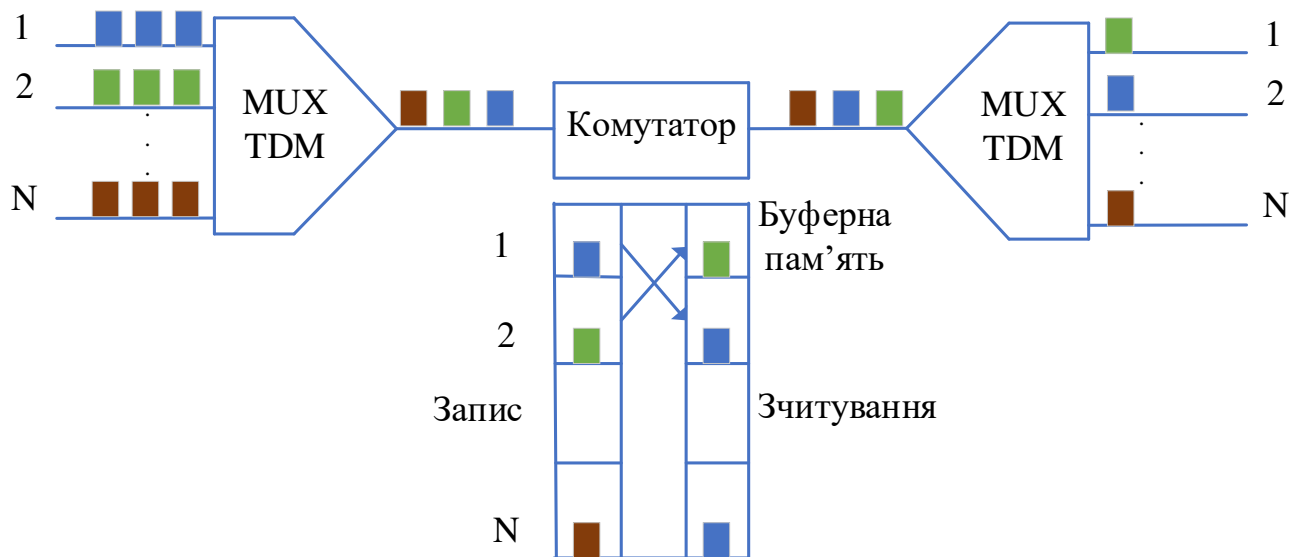


Рисунок 1.1 – Схема зв'язку з комутацією каналів

Під час здійснення дзвінка між двома телефонами комутатори телефонних станцій створюють безперервний фізичний зв'язок між абонентами на весь час розмови. На відміну від цього, комутація пакетів розбиває дані на незалежні пакети, які передаються через мережу, не маючи постійного з'єднання. У цьому випадку одні й ті ж канали можуть використовуватися для передачі пакетів від різних сеансів зв'язку одночасно, що не дозволяє гарантувати якість обслуговування так, як це робить комутація каналів.

При комутації каналів затримка передачі даних залишається постійною, на відміну від комутації пакетів, де через накопичення черг можуть виникати змінні і навіть тривалі затримки. Користувачі також не можуть зайняти канал, виділений для з'єднання, адже він залишається зарезервованим до розриву з'єднання. Навіть у разі,

коли активна передача не відбувається, канал залишається виділеним і захищеним від інших користувачів.

Перемикання віртуальної схеми є варіантом комутації пакетів, який імітує комутацію каналів. Вона встановлює з'єднання перед передачею пакетів і доставляє їх у встановленому порядку.

Комутація каналів зазвичай використовується для передачі голосових даних, але принцип виділеного з'єднання між двома комунікаційними сторонами можна застосувати і до інших видів передачі. Основна перевага такого підходу полягає у безперервній передачі без додаткових затримок, властивих комутації пакетів, що дозволяє максимально використовувати доступну пропускну здатність для зв'язку. Проте недоліком є відносна неефективність, адже резервовану ємність, яка не використовується під час розмови, не можуть використовувати інші з'єднання в мережі.

У традиційній телефонії з'єднання встановлюється через телефонну станцію виключно для передачі голосу, де голосові сигнали передаються через виділений канал. У випадку IP-телефонії стислі дані передаються мережею у вигляді пакетів із зазначенням адреси, використовуючи IP-адресацію та всі її особливості, такі як маршрутизація.

Загальнодоступна комутаційна телефонна мережа (PSTN) — це комплекс технологій та пристроїв, що забезпечують доступ до телефонних послуг для всіх користувачів. В Україні також використовується термін "уніфікована телефонна мережа" (УТФ). Інфраструктура та структура цієї мережі гарантують підключення кожного абонента незалежно від відстані. Зв'язок здійснюється між пристроями, підключеними до телефонних станцій. Зокрема, мережа PSTN надає послугу передачі голосу в реальному часі за допомогою комутуваних каналів. PSTN також включає загальнодоступну мобільну мережу, яка використовує цифрову технологію GSM2, основу на стільникових мобільних радіотелефонних системах.

Географічно загальнодоступна телефонна мережа поділяється на міжнародну та національну. Міжнародні мережі з'єднують національні мережі через транзитні

канали та схеми. Національна мережа кожної країни розподіляється на кілька рівнів в залежності від розміру країни, типу мережі та технології.

Термінальні пристрої, що підключені до загальнодоступної телефонної мережі (будь то стаціонарні, мобільні чи віртуальні мережі), мають унікальні номери. Числові адреси, присвоєні кожному пристрою, визначаються національним планом нумерації і є унікальними в межах кожної країни [6].

### **1.3 Еволюція загальнотехнологічних телефонних мереж**

Телефонія пройшла кілька важливих етапів розвитку, що стосуються як комутаційних систем, так і технологій передачі інформації. Зокрема, збільшення трафіку між автоматичними телефонними станціями (АТС) змушує телефонні компанії створювати нові рішення для передачі даних. Це дозволяє ефективно обробляти великий обсяг дзвінків, зменшуючи при цьому кількість фізичних ліній між АТС. Такі інновації в технології передачі допомагають значно підвищити пропускну здатність мережі, що є критичним для підтримки стабільного зв'язку при зростаючому попиті.

Основне завдання комутаційних систем — це забезпечення підключення введення і виведення через поле комутації або шляхом використання комутаторів. Комутаційна система повинна надавати можливість встановлення зв'язку між абонентами через різні канали, ефективно розподіляючи трафік і мінімізуючи використання фізичних ресурсів, таких як лінії зв'язку.

З точки зору технічного розвитку комутаційних систем, можна виділити кілька основних типів комутації:

Системи з просторовим перемиканням (селекторні системи з поперечними перемикачами). Ці системи використовують фізичні механізми для перемикання каналів зв'язку. Вони дозволяють зв'язати певні входи і виходи, забезпечуючи прямий зв'язок між абонентами через вибір відповідних комутаторів.

Цифрові системи з тимчасовим взаємозв'язком. У таких системах використовується цифровий метод передачі даних, що дозволяє знижувати вимоги до фізичних ресурсів за рахунок більш ефективного використання часу і ресурсів каналу. Тут часова синхронізація відіграє важливу роль, і канал комутації використовується для передачі цифрових сигналів з певним тимчасовим відрізком.

Комутація пакетів. Цей тип комутації базується на передачі даних у вигляді пакетів, що дозволяє більш ефективно використовувати мережу. В кожному пакеті міститься інформація про адресу відправника та отримувача, що дає змогу передавати великі обсяги даних, розбиваючи їх на частини, що обробляються незалежно одна від одної.

Якщо не зважати на гібридні рішення між поколіннями, системи комутації можна розподілити наступним чином [7]:

Перше покоління — це система зв'язку з повністю ручним керуванням, де маршрутизацію виконував оператор. Коли абонент телефонував, оператор фізично підключав шлях передачі, з'єднуючи штекери на панелі ручного комутатора. Виклики здійснювались через два проводи, для яких використовувались а-провідник і б-провідник. Сигнали передавались через трансформатори. Спотворення та ослаблення сигналу впливали на максимальну дальність передачі, що обмежувалась десятьма кілометрами.

Друге покоління включало автоматичні розподільні щити з синхронною комутацією каналу. Система вибору ступенів синхронного поля з'єднання була здебільшого представлена типом TESLA P51. Сигналізація та тарифікація здійснювались через імпульси струму, які генерувалися перемиканням елементів реле. Для покращення якості передачі використовувались підсилювачі та передавачі. Проте основні недоліки цієї технології полягали у низькій кількості одночасних дзвінків, низькому рівні інтелекту взаємозв'язку міжміських дзвінків, поганій якості передачі та високому ступені відмов. Технологія цього покоління залишалась в експлуатації в нашій країні до кінця 1980-х років.

Третє покоління характеризується асинхронними комутаторами, наприклад, типами TESLA PK202, PK201, PK22 або PK21, які використовують

електромеханічні поперечні комутатори. Передача сигналів відбувалася за допомогою сигналів частоти сигналізації, які передавались разом з викликом. Сигналізація була автоматизована, і основною перевагою стало підвищення незалежності використовуваної платформи. В той час транзисторні підсилювачі, хоча й менш надійні, але більш гнучкі, використовувались в системах віддаленої передачі.

Четверте покоління стало етапом повного переходу до напівпровідникових пристроїв. Комутація відбувалась за рахунок електронних пристроїв, що значно зменшило рівень відмов. Прикладом таких систем були 2N Ateus, Omega, TESLA UE20. Панелі управління стали меншими за розмірами, зменшилось споживання енергії та витрати на обслуговування. Проте проблема несумісності різних АТС залишалась. Телефонний сигнал все ще передавався в аналоговій формі, але фізичний носій передачі, як правило, складався з кількох скручених проводів, що дозволяло використовувати технологію мультиплексної передачі частоти (FDM). За допомогою FDM сигнали з різних каналів передавались в різних частотних діапазонах, що дозволяло ефективно використовувати пропускну здатність ліній. Однак обмеженням була висока загасання сигналу і зниження якості виклику.

Мультиплексування частотного поділу (FDM) полягає в тому, що мовна смуга частот модуляції переноситься в більш високу частотну область. В мультиплексорі аналоговий сигнал з різних каналів переміщається в окремі частотні діапазони, щоб уникнути їх накладання. Сигнали, зміщені за частотою, можна об'єднати в один широкий канал для передачі. Однак, на зворотному шляху, за допомогою демультіплексора, ці підсигнали відокремлюються і повертаються до початкових частотних діапазонів [8]. Основною метою FDM є ефективне використання вільних частотних смуг телефонної лінії для збереження ємності зв'язку між станціями. Кабелі з крученою парою можуть передавати сигнали на частотах до 100 кГц. Проте, ці системи мають недолік у вигляді високого загасання та обмежень на максимальну частоту передачі. Цей принцип продемонстровано на рисунку 1.2.

Проводи з крученою парою в основному були замінені коаксіальними кабелями, особливо на магістральних лініях. Коаксіальна конструкція дозволяє

передавати сигнали вищих гармонік на частотах від 100 до 1000 кГц (FDM III та IV) та забезпечує модуляцію сотень і тисяч викликів між комутаторами. Системи передачі FDM відрізняються високими частотними переходами та зниженою якістю виклику [7].

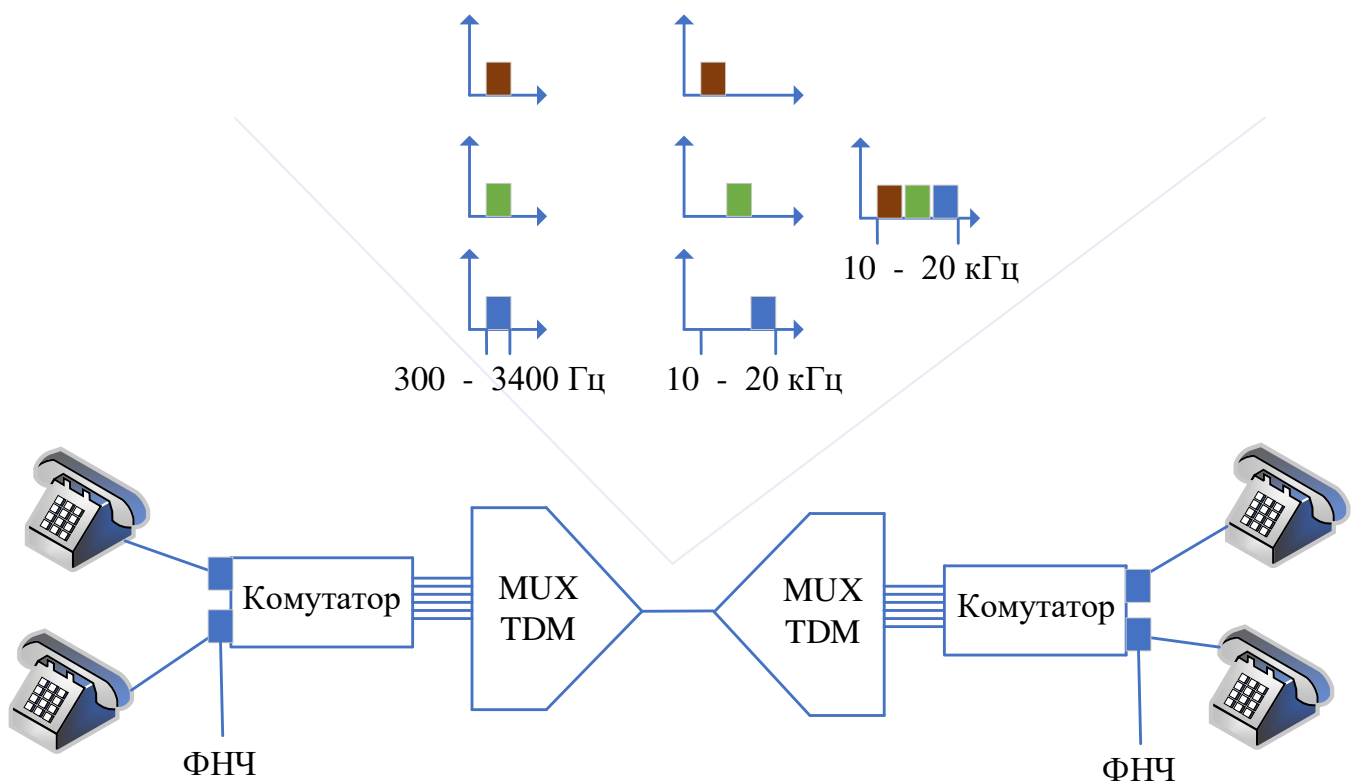


Рисунок 1.2. – Приклад мережі з комутацією каналів

П'яте покоління стало першим етапом цифрових систем комутації, які значно покращили якість передачі сигналу. Введення цифрових станцій та використання волоконно-оптичних кабелів забезпечило вищу пропускну здатність. Мультиплексування за часом (TDM — Time Division Multiplexing) замінило попередню технологію FDM. У системах TDM загальний канал передачі ділиться на менші часові інтервали, що дозволяє створювати кілька окремих каналів передачі. Сигнали передаються з різною швидкістю, але їх сума не перевищує загальну швидкість передачі.

TDM (Time Division Multiplexing - TDM) - це система, де загальний шлях передачі ділиться на однакові невеликі часові періоди. Ці розділи, які називаються

часовими інтервалами (TS), заздалегідь фіксуються для окремих підрозділів (викликів). Приклад системи, що працює за принципом часового мультиплексування наведена на рисунку 1.3.

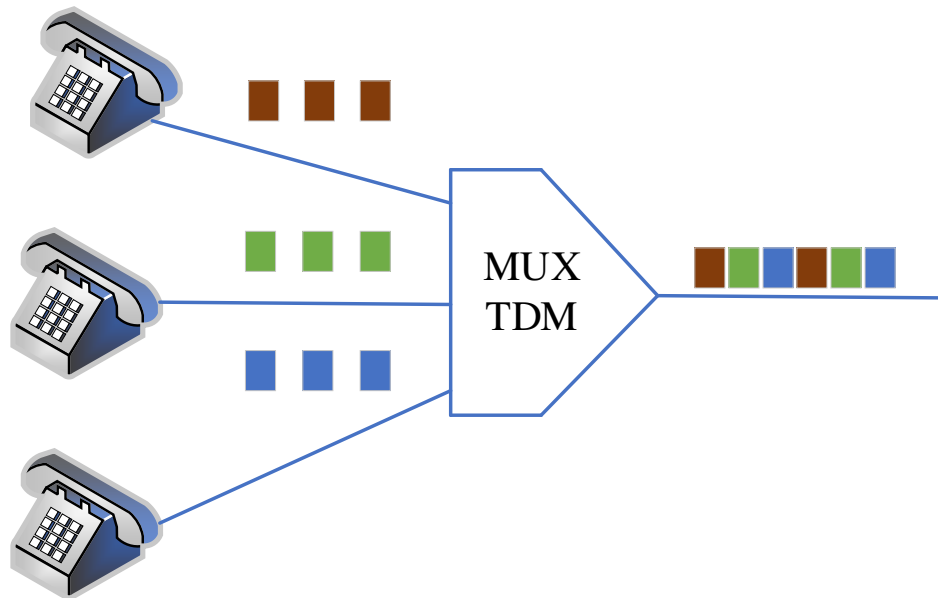


Рисунок 1.3 – Система на основі часового мультиплексування

Техніка тимчасового мультиплексування одного каналу передачі формує кілька окремих ліній зв'язку. Швидкість передачі даних у бітах за секунду може відрізнятися, проте їх загальна сума повинна бути меншою або дорівнювати загальній швидкості передачі перед її поділом. [7]

Абонентські термінальні пристрої, які підключаються, здебільшого залишаються аналоговими. Перетворення сигналу між цифровим і аналоговим інтерфейсами здійснюється за допомогою перетворювачів, розташованих на панелі керування.

Шосте покоління представило технологію ISDN (Цифрова мережа інтегрованої служби), яка забезпечує повністю цифрову передачу даних через класичну телефонну мережу. ISDN дозволяє здійснювати передачу голосових та інших даних через один канал, використовуючи В-канали для передачі голосу, факсу чи даних, а D-канал для сигналізації. Це дозволяє підключати різні

термінальні пристрої, такі як комп'ютери, телефони та факсимільні апарати. ISDN надає вищу швидкість передачі даних і забезпечує інтеграцію голосу та даних для користувача.

BRI ISDN (базовий інтерфейс швидкості) — послуга з передачею даних зі швидкістю 128 кбіт/с. Вона складається з двох В-каналів по 64 кбіт/с кожен, які зарезервовані для дзвінків, факсу, передачі даних або відео. Додатковий D-канал зі швидкістю 16 кбіт/с використовується для передачі службових даних. Загальна швидкість передачі, включаючи накладні та контрольні біти, становить 192 кбіт/с.

PRI ISDN (інтерфейс первинної швидкості) використовується для підключення великих приватних філій. Він використовує 32 канали в схемі E1: 30 каналів типу В для голосу або передачі даних, один D-канал для сигналізації та один додатковий канал для синхронізації всього кадру TDM. Загальна швидкість передачі даних — 2048 кбіт/с.

Приклад інтерфейсу ISDN представлено на рисунку 1.4.

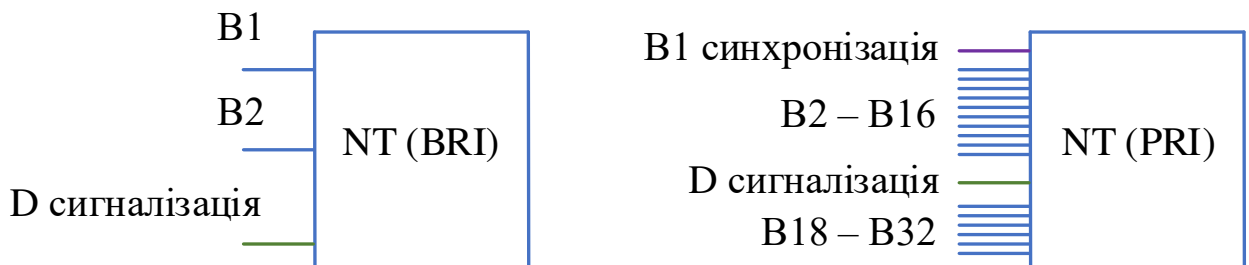


Рисунок 1.4 – Приклад інтерфейсу ISDN

На рисунку 1.4 показано користувацький кінець інтерфейсу ISDN, реалізований за допомогою мережевих адаптерів NT (мережевий термінал). Цей пристрій виконує кілька важливих функцій, таких як підключення лінії, забезпечення живлення кінцевого обладнання, діагностика тощо.

Важливою перевагою цієї технології є інтеграція голосу та даних для користувача. До підключених термінальних пристроїв можуть належати комп'ютери, телефони та факси [4].

## 1.5 Перехід від традиційної телефонної мережі до мереж IP телефонії

Перехід від традиційної телефонної мережі (PSTN) до мереж IP телефонії є одним із найважливіших етапів у розвитку комунікаційних технологій. Цей процес не лише змінює спосіб взаємодії людей, а й має значний вплив на бізнес, економіку та суспільство в цілому. IP телефонія, яка базується на Інтернет-протоколі (IP), надає нові можливості для передачі голосу, відео та даних через мережі передачі даних, зокрема Інтернет мережу.

Загальнодоступна комутована телефонна мережа (PSTN) була створена для забезпечення зв'язку між абонентами через фізичні лінії і телефонні комутатори. Протягом багатьох десятиліть ця система була основним засобом зв'язку, забезпечуючи стабільну, хоча й обмежену, передачу голосу. PSTN працює на базі аналогового сигналу, що накладає певні обмеження на якість звуку, можливість передачі даних та надання додаткових послуг. Один із головних недоліків традиційної мережі полягає в її жорсткій архітектурі, яка потребує значних витрат на обслуговування фізичної інфраструктури. Крім того, через зростання потреби у швидкій передачі великих обсягів даних, PSTN стала поступово втрачати свою актуальність і не могла забезпечити сучасні вимоги до комунікацій.

IP телефонія, або VoIP (Voice over IP), виникла як альтернатива традиційній телефонії, дозволяючи передавати голосові дзвінки через Інтернет або приватні IP-мережі. Ця технологія відкриває можливість інтеграції різних типів передачі даних, зокрема відео, текстових повідомлень та мультимедійного контенту, в єдину мережу. Основним принципом роботи IP телефонії є передача цифрових пакетів даних, що значно ефективніше порівняно з аналоговою передачею в PSTN.

Популярність IP телефонії зростає завдяки її економічній ефективності та можливості надавати широкий спектр додаткових функцій. Вартість дзвінків через IP-мережі, особливо міжнародних, значно нижча, оскільки передача даних здійснюється через Інтернет, мінаючи дорогі міжнародні комутатори. Крім того, IP телефонія дозволяє здійснювати дзвінки з будь-якого пристрою, підключеного до Інтернету, що створює гнучкіші умови для користувачів.

IP телефонія інтегрується в сучасні автоматичні телефонні станції (АТС) через використання рішень, які дозволяють поєднати традиційну телефонну інфраструктуру з новітніми технологіями передачі голосу по Інтернет-протоколу. Сучасні IP-АТС, на відміну від традиційних аналогових систем, дозволяють не тільки здійснювати дзвінки через Інтернет, але й інтегрувати різні сервіси та функції, що покращують якість та ефективність зв'язку в компаніях. Розглянемо, як саме відбувається така інтеграція.

1. Використання шлюзів для підключення до аналогових мереж. Один із способів інтеграції IP телефонії з традиційними АТС — це використання VoIP-шлюзів. VoIP-шлюзи перетворюють аналоговий або цифровий сигнал традиційної АТС у цифровий IP-формат, який передається через Інтернет. Це дозволяє інтегрувати IP телефонію в існуючу телефонну інфраструктуру без повного її заміщення. Шлюзи підтримують як аналогові (FXS і FXO), так і цифрові (E1, T1) порти, що дає змогу поєднувати різні типи мереж.

2. Використання SIP-протоколу для передачі голосу. Сучасні IP-АТС використовують SIP-протокол (Session Initiation Protocol) для встановлення, керування та завершення телефонних дзвінків через Інтернет. SIP дозволяє інтегрувати голосову, відео- та мультимедійну комунікацію в єдину IP-мережу, що спрощує роботу і знижує витрати на зв'язок. Завдяки SIP-протоколу, IP-АТС можуть взаємодіяти з іншими IP-системами та додатками, що значно розширює їх функціонал і забезпечує гнучкість у налаштуванні.

3. Інтеграція IP-АТС з корпоративними додатками. Сучасні IP-АТС підтримують інтеграцію з різноманітними корпоративними додатками, такими як CRM-системи, системи управління клієнтськими заявками, електронна пошта та інші інструменти

комунікації. Це дозволяє отримувати дані про клієнтів або історію взаємодій під час дзвінка, автоматизувати процеси обробки дзвінків та покращувати якість обслуговування клієнтів. Наприклад, оператор може бачити інформацію про клієнта ще до того, як відповідь на дзвінок, що допомагає швидше реагувати на запити.

4. Віртуальні номери та гнучкість підключень. IP-АТС дозволяє використовувати віртуальні номери, що не прив'язані до конкретного географічного місця. Це дуже зручно для компаній з філіями в різних країнах, оскільки співробітники можуть мати номери з кодами тих регіонів, де розташовані їхні клієнти, незалежно від фактичного місця розташування. Це також дозволяє створити єдину корпоративну мережу зв'язку з загальними номерами для внутрішнього зв'язку без додаткових витрат на фізичні лінії.

5. Хмарні IP-АТС. Ще одним важливим етапом інтеграції IP телефонії в сучасні АТС є використання хмарних рішень. Хмарні IP-АТС надають усі функції традиційних станцій, але при цьому розміщені в Інтернеті, що знижує витрати на обладнання та обслуговування. Хмарні системи забезпечують гнучкість та масштабованість, дозволяючи легко додавати нових користувачів або підрозділи без необхідності в додаткових капіталовкладеннях. Крім того, хмарні IP-АТС зазвичай мають вбудовані інструменти для запису дзвінків, аналітики, відеоконференцій і обміну повідомленнями.

6. Підтримка мультимедіальної комунікації. Сучасні IP-АТС підтримують мультимедіальну комунікацію, що дозволяє інтегрувати голосові дзвінки, відеодзвінки, SMS, чати та інші форми взаємодії в єдину платформу. Це дозволяє об'єднати різні канали зв'язку в одному інтерфейсі, надаючи можливість клієнтам обирати зручний для них спосіб комунікації. Також це значно спрощує роботу операторів, які можуть керувати усіма каналами з одного місця.

7. Забезпечення безпеки та захисту даних. Інтеграція IP телефонії у сучасні АТС вимагає підвищеної уваги до безпеки, оскільки передача даних через Інтернет створює ризики несанкціонованого доступу. Сучасні IP-АТС мають вбудовані механізми захисту, такі як шифрування дзвінків, аутентифікація користувачів та

фільтри для запобігання атакам типу DoS. Використання цих технологій дозволяє забезпечити безпеку даних і захистити комунікації від загроз.

8. Простота адміністрування та масштабування. Інтеграція IP телефонії дозволяє централізовано керувати налаштуваннями та користувачами системи. Сучасні IP-АТС пропонують зручні веб-інтерфейси, які дозволяють легко додавати нових користувачів, змінювати налаштування та контролювати роботу системи з будь-якого місця. Крім того, такі системи легко масштабуються, що дає змогу компаніям швидко реагувати на зміну кількості співробітників або зростання обсягу комунікацій.

Інтеграція IP телефонії у сучасні АТС відкриває безліч можливостей для бізнесу та приватних користувачів. Вона дозволяє поєднувати традиційну телефонну інфраструктуру з інноваційними функціями IP-мереж, такими як відеоконференції, мультимедійна комунікація, інтеграція з корпоративними додатками та забезпечення мобільності. Крім того, завдяки хмарним рішенням та сучасним засобам захисту даних, IP телефонія є гнучким, безпечним і економічно вигідним рішенням для компаній різного масштабу.

Разом з тим існують і недоліки, до яких слід віднести:

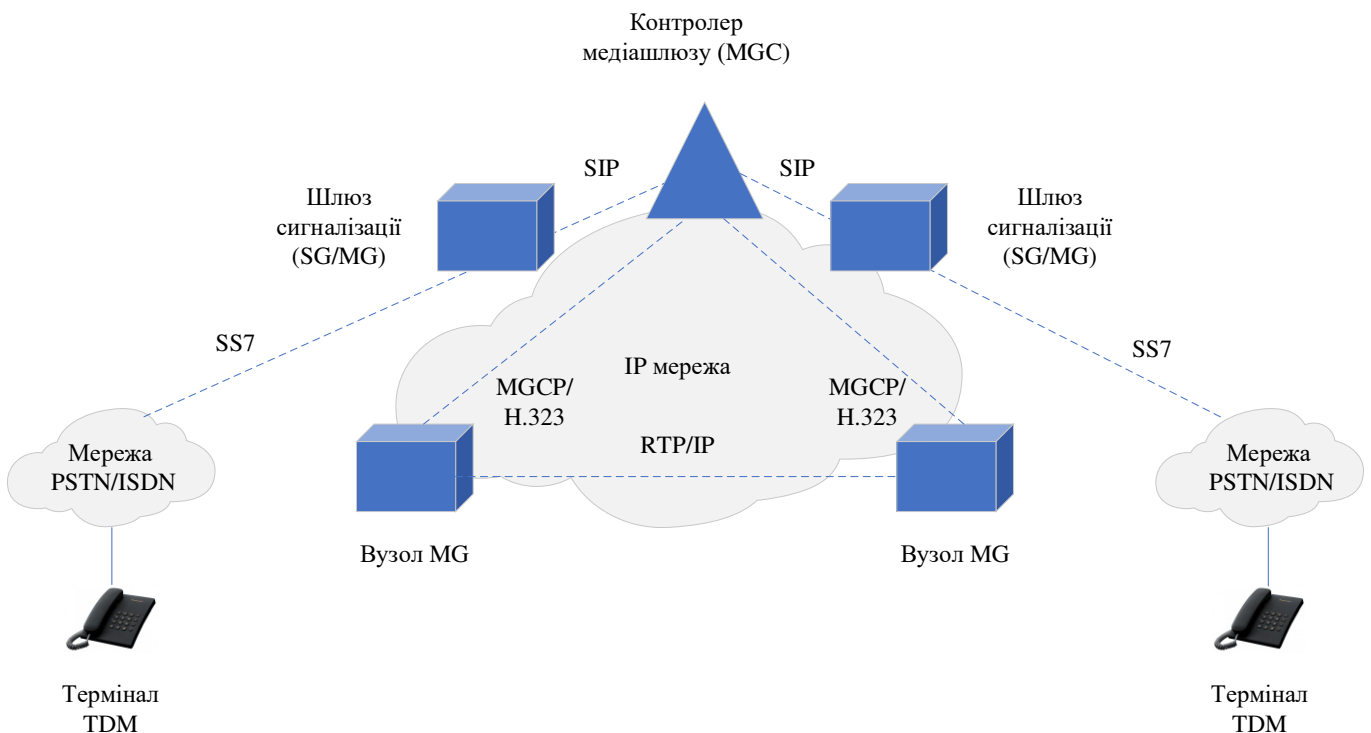
1. Залежність від якості Інтернет-з'єднання: IP телефонія потребує стабільного і швидкого Інтернету. В умовах низької якості з'єднання можуть виникати перешкоди, затримки або розриви зв'язку, що впливає на якість дзвінків.
2. Безпека: Підключення через Інтернет відкриває можливості для кіберзлочинців. Для захисту IP-дзвінків необхідно використовувати технології шифрування та інші засоби кібербезпеки, що потребує додаткових ресурсів.
3. Відмова від традиційної інфраструктури: Для багатьох компаній і користувачів відмова від традиційної телефонії є серйозним кроком, оскільки вони звикли до надійності та стабільності PSTN. Потрібен час і ресурси для повного переходу на нову технологію.

Впровадження нових технологій, таких як 5G, значно покращить якість зв'язку та забезпечить стабільне з'єднання навіть у віддалених районах. IP телефонія

також стане основою для нових інновацій, таких як віртуальна реальність у сфері комунікацій, розширення можливостей для дистанційної роботи та інші.

З розвитком IP телефонії традиційна телефонна мережа поступово втрачає свої позиції. Багато країн уже оголошують про плани з повного переходу на цифрові комунікації, що врешті-решт приведе до відмови від PSTN.

На рисунку 1.2 представлено схему інтеграції мереж IP телефонії з традиційною телефонною мережею.



Рисунку 1.2 –Схема інтеграції мереж IP телефонії з традиційною телефонною мережею

## 2 Архітектура і технічний склад телефонних мереж на основі технології IP телефонії

### 2.1 Архітектура технології IP телефонії

Архітектура IP телефонії — це комплексна система, яка забезпечує передачу голосу, відео, тексту та інших даних через мережі передачі даних, зокрема через Інтернет. Вона складається з різних компонентів, протоколів і мережевих елементів, що забезпечують ефективну та якісну передачу комунікацій.

Централізована архітектура передбачає, що основні компоненти мережі IP телефонії, такі як сервери, SIP-проксі, сервери реєстрації та контролери прикордонного сеансу (SBC), розташовані в одному місці або централізованому дата-центрі. Усі підключення користувачів здійснюються через цей центр, що забезпечує зручність управління та контролю над усією системою.

Основні компоненти централізованої архітектури:

1. **Централізований IP-PBX або сервер SIP:** основний вузол, який керує всіма викликами, реєстрацією та сигналізацією.
2. **Сервер реєстрації (Registrar Server):** зберігає інформацію про поточне місцезнаходження абонентів.
3. **Контролер прикордонного сеансу (SBC):** забезпечує безпеку та управління трафіком, а також підключення до зовнішніх IP-мереж.
4. **DNS-сервер:** для маршрутизації запитів і визначення IP-адрес.

Переваги централізованої архітектури:

1. **Спрощене управління:** централізоване управління дозволяє легко контролювати налаштування, політики безпеки, оновлення та обслуговування.
2. **Оптимізація витрат:** зменшує потребу у встановленні окремих серверів та устаткування на різних локаціях.

3. **Покращена безпека:** завдяки централізованому контролю забезпечується послідовне застосування заходів безпеки, таких як шифрування та аутентифікація.
4. **Надійність у забезпеченні якості обслуговування (QoS):** централізовані системи можуть мати пріоритети на рівні трафіку, щоб забезпечити якісну передачу голосу й уникати затримок.

Недоліки централізованої архітектури:

1. **Обмежена масштабованість:** центр обробки може бути перевантажений при значному збільшенні кількості користувачів, що потребує дорогих оновлень.
2. **Залежність від центральної точки:** якщо центральний сервер або дата-центр виходить з ладу, це може призвести до зупинки всієї системи.
3. **Затримки для віддалених користувачів:** у випадку, коли користувачі розташовані географічно далеко від централізованого сервера, можуть виникати затримки і проблеми з якістю зв'язку.

Централізована архітектура часто використовується в компаніях, де основні офіси розташовані в одному місті або країні. Це зручно, коли мережа має обмежену кількість користувачів і немає потреби у великій кількості віддалених підключень. При цьому централізована архітектура спрощує керування системою і забезпечує кращу безпеку.

Розподілена архітектура передбачає, що різні компоненти IP телефонії розподілені між кількома серверами, які можуть бути розташовані в різних місцях (регіонах, офісах). У цьому підході кожен офіс або регіон має свій локальний IP-PBX або SIP-сервер, які можуть працювати автономно один від одного, але при цьому взаємодіють через мережу.

Основні компоненти розподіленої архітектури:

1. **Регіональні IP-PBX або SIP-сервери:** кожен регіон має свій власний сервер для обробки викликів та сигналізації.
2. **Локальні контролери прикордонного сеансу (SBC):** забезпечують безпеку та управління трафіком на кожній окремій локації.
3. **Мережеві шлюзи (VoIP Gateway):** для інтеграції локальної IP телефонії з традиційною телефонною мережею.

4. **Регіональні DNS-сервери:** для маршрутизації запитів і підтримки локальної адресації.

Переваги розподіленої архітектури:

1. **Масштабованість:** легко масштабувати мережу, додаючи нові регіональні сервери або збільшуючи потужності локальних серверів.
2. **Вища надійність:** відмова одного регіонального сервера не впливає на роботу інших частин мережі, що забезпечує більшу стійкість до збоїв.
3. **Мінімізація затримок:** локальні сервери знижують затримки зв'язку для користувачів у тому ж регіоні.
4. **Автономна робота:** кожен офіс або регіон може функціонувати автономно, навіть якщо зв'язок з іншими частинами мережі тимчасово втрачено.

Недоліки розподіленої архітектури:

1. **Складність управління:** адміністрування та налаштування стає більш складним, оскільки кожен регіон потребує окремого управління.
2. **Збільшені витрати:** розгортання та обслуговування окремих серверів у кожному регіоні потребує більше ресурсів і коштів.
3. **Безпека та узгодженість політик:** ускладнюється забезпечення єдиних стандартів безпеки та політик, оскільки потрібно контролювати кілька локацій.

Розподілена архітектура є оптимальною для великих корпорацій з багатьма офісами в різних регіонах або країнах. Вона забезпечує більшу стійкість до збоїв і дозволяє знизити затримки, забезпечуючи локальний зв'язок у кожному регіоні. Розподілена архітектура також підходить для компаній, де велика кількість користувачів потребує надійного зв'язку без затримок.

Деякі компанії використовують гібридну архітектуру, яка поєднує елементи централізованої та розподіленої архітектури. Наприклад, центральний офіс може мати централізований IP-RBX, який обслуговує основну частину дзвінків, а регіональні офіси можуть мати свої локальні IP-RBX для забезпечення автономної роботи та зниження затримок. Гібридний підхід дозволяє компанії мати гнучкість, покращену масштабованість та оптимізувати витрати залежно від специфіки кожного регіону.

Вибір між централізованою, розподіленою або гібридною архітектурою IP телефонії залежить від потреб компанії, кількості користувачів, географічного розташування офісів та вимог до надійності та якості зв'язку.

Централізована архітектура є простою в управлінні і зручною для невеликих компаній або мереж, де важлива централізована безпека і контроль. Розподілена архітектура підходить для великих організацій, оскільки вона забезпечує більшу гнучкість, автономність і можливість оптимізувати якість зв'язку в регіональних офісах. Гібридний підхід дозволяє поєднати переваги обох підходів і забезпечити надійність, масштабованість та зручність управління в мережах IP телефонії різної складності.

## **2.2 Технічний склад мережі на основі технології IP телефонії**

Як зазначалося вище технологія IP телефонії активно інтегрується у існуючу загальнотехнологічну мережу телефонного зв'язку. Процес передачі мовної інформації через мережі IP має схожі функції з компонентами класичної телефонії. Пристрої та програмне забезпечення безпосередньо забезпечують передачу голосу у відповідності до рисунку 2.1.

Термінальні пристрої VoIP схожі на звичайні мережеві елементи, але з підтримкою голосових послуг. Розробники особливу увагу приділяли сумісності та модульному проектуванню для професійного використання в корпоративних середовищах. Конфігурація та розташування кожного елемента залежать від конкретних вимог клієнта та корпоративної мережевої інфраструктури.

IP-телефони інколи називають термінальними пристроями. На відміну від традиційної телефонії, їх можна реалізувати як апаратні або програмні засоби.

Програмні IP-телефони — це телефонні додатки, що працюють на комп'ютері, смартфоні або планшеті. Прикладом є X-Lite. Дзвінки здійснюються через

наушники або мікрофон і динамік. Ще один варіант програмного IP-клієнта — його інтеграція безпосередньо в операційну систему мобільного пристрою.

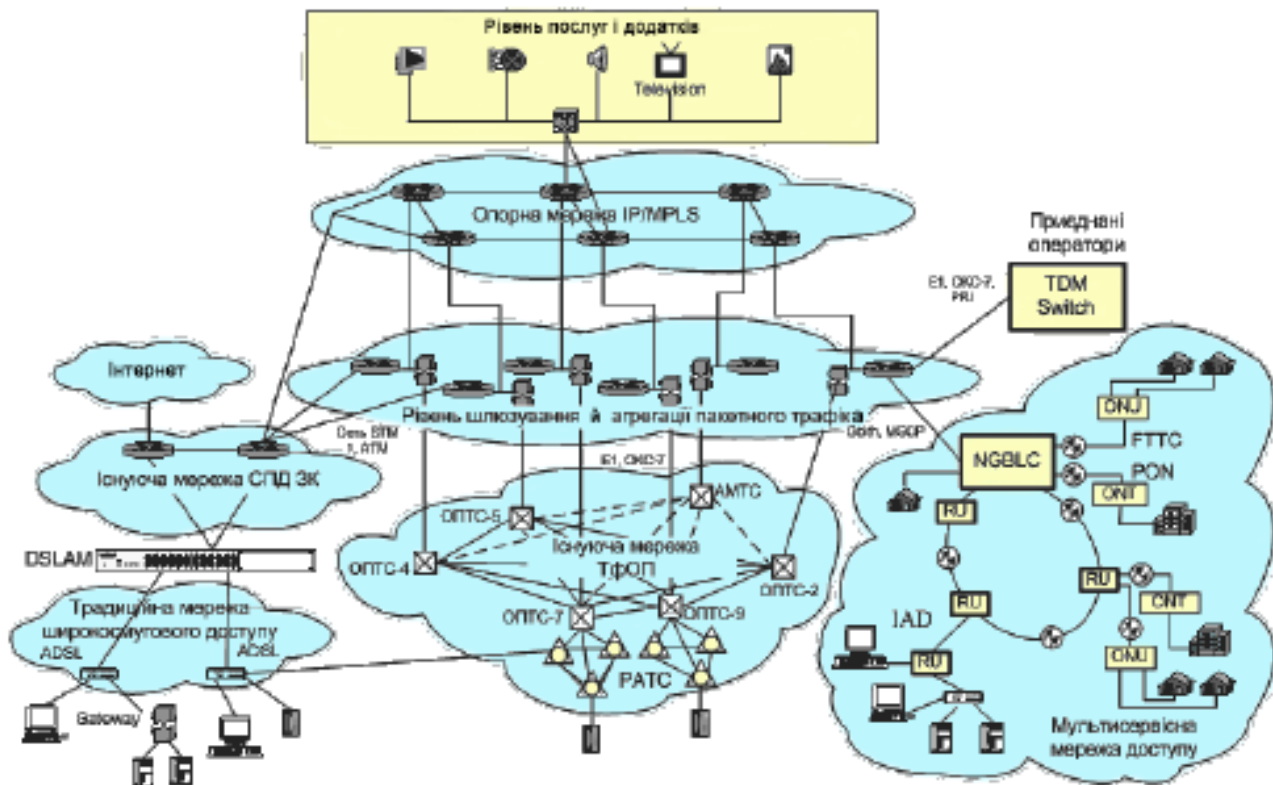


Рисунок 2.1 – Мережа розподілу інформації

Апаратні IP-телефони — це спеціально розроблені для VoIP пристрої, зовні схожі на звичайні телефони, але з додатковими функціями. Вони підключаються до мережі Ethernet через кабель UTP і роз'єм RJ-45, що може забезпечувати як передачу даних, так і живлення (за умови підтримки функції PoE, Power over Ethernet, на мережевих елементах). Якщо в мережі вже є підключення до Інтернету, VoIP-телефон можна підключити без прокладання додаткового кабелю, під'єднавши телефон із роз'ємом RJ-45 до ПК, що дозволяє економити порти роутера.

Агент виклику (VoIP) замінює традиційний телефон у VoIP-мережі та функціонує як розподільчий центр. Основні завдання цього компонента включають керування викликами, маршрутизацію, адміністрування адрес і управління

пропускною здатністю. Прикладом популярного рішення є CCM (Cisco Call Manager) — програмний компонент для серверів, сертифікованих Cisco [14].

Шлюз забезпечує трансляцію дзвінків між різними типами мереж і є точкою підключення для аналогових і цифрових пристроїв, таких як телефони, факси, АТС, шифрувальні пристрої тощо. Контролер підключення перевіряє доступну пропускну здатність мережі WAN і може накладати обмеження, наприклад, забороняти нові дзвінки при недостатній пропускну здатності. Налаштування пропускну здатності для кожного кодека вимагає конфігурації маршрутизатора і шлюзу.

Сервер додатків використовується для надання послуг, таких як голосова пошта, об'єднаний обмін повідомленнями тощо.

Контролер конференцій MCU (Multipoint Control Unit) дозволяє організовувати онлайн-спілкування для декількох учасників одночасно, що забезпечує можливість проведення голосових або відеоконференцій з різних місць. Конференц-дзвінок дозволяє всім учасникам взаємодіяти одночасно. MCU складається з двох частин: багатоточкового контролера (MC), який керує сигналізацією викликів під час конференції, та багатоточкового процесора (MP), що обробляє мультимедійні канали, змішування звуку тощо [9].

Активні компоненти, такі як комутатори та маршрутизатори, відповідають за передачу даних і забезпечують зв'язок між термінальними пристроями в окремих мережах.

Маршрутизатор — це пристрій, який здійснює передачу з функціями контролю за маршрутом пакетів до місця призначення і працює на третьому рівні моделі ISO/OSI. Його використовують для з'єднання підмереж та розділення широкомовних доменів. Периферійний маршрутизатор застосовується для підключення локальних (LAN) і глобальних мереж (WAN).

Комутатор є мережевим пристроєм у моделі шарів ISO/OSI. Його основна функція — перемикання Ethernet-кадрів на основі MAC-адреси [10].

Порт FXS (Foreign Exchange Station) виконує функції класичної телефонної лінії, забезпечуючи підключення аналогового або бездротового DECT телефону. Він

забезпечує живлення, дзвінковий сигнал і тон набору та підключається через роз'єм RJ-11.

Порт FXO (Foreign Exchange Office) — це інтерфейсний порт маршрутизатора для підключення до традиційної телефонної мережі через звичайну АТС і під'єднується через роз'єм RJ-11.

Порт BRI призначений для підключення цифрової лінії ISDN (два голосові канали). Порти BRI подібні до портів FXO і можуть використовуватись як резервний канал у разі відключення Інтернет-з'єднання.

Порт PSTN є частиною деяких шлюзів і служить виключно для підключення до аналогової телефонної лінії. Шлюз із таким портом дозволяє використовувати один телефонний пристрій як для традиційної телефонної лінії, так і для IP-мережі. Вибір типу дзвінка (VoIP або звичайна телефонна лінія) зазвичай здійснюється через прямий набір номера. У разі збоїв у мережі передачі даних порт PSTN автоматично перемикається на класичну телефонну мережу.

DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) — стандарт цифрового бездротового зв'язку, принцип якого подібний до мобільних стільникових систем. Він працює в зарезервованому для DECT частотному діапазоні, що унеможливорює взаємодію з іншими системами та стандартами [15].

### **2.3 Особливості та переваги технології IP телефонії**

Для кінцевого користувача стандартна єдина телефонна мережа на базі VoIP включає всі елементи класичної телефонної системи. При переході на технологію VoIP необхідно розуміти всі функції, компоненти та протоколи, щоб забезпечити належну роботу передачі голосу в конвергентній мережі.

Функції VoIP телефонії поділяються на обов'язкові та необов'язкові, як описано у [14].

Сигналізація — це інформація, яка генерується для встановлення, контролю та завершення з'єднань між двома кінцевими точками. У традиційній телефонії цю функцію забезпечує протокол SS7. У VoIP телефонії використовується сигналізація як однорангових, так і клієнт-серверних з'єднань.

Послуги баз даних надаються користувачам VoIP через доступ до різноманітних даних. Вони включають безкоштовну інформацію, визначення абонента, можливість дзвінка та додаткові відомості. До послуг баз даних також належать доступ до платіжної інформації, доставка імені абонента та ідентифікація SIM-карток телефонів. Постачальник може керувати цими послугами, пропонуючи унікальний набір сервісів для кожного сегменту користувачів.

Управління медіа — це система моніторингу та контролю каналів, що використовуються для передачі голосових викликів. Вона забезпечує встановлення та резервування шляху для виклику, а також належне завершення дзвінка після його закінчення. Це схоже на функції сигналізації SS7 у традиційній телефонії. Повідомлення передаються через IP-з'єднання за допомогою таких протоколів, як SIP, H.323, H.248 або MGCP.

Кодеки VoIP реалізуються як на пристроях кінцевих користувачів, так і на шлюзах. Їх можна розділити на кодеки без втрат та зі втратами. Кодеки без втрат зберігають усі значення інформаційного сигналу, наприклад, G.711 (PCM), який використовується в традиційній телефонії. Кодеки зі втратами видаляють деякі дані з мовного сигналу, які людське вухо не сприймає, що не погіршує якість звуку, як-от кодек G.729.

VoIP-мережі мають низку переваг порівняно з традиційними мережами:

- IP-телефонія є більш економічним рішенням як для оператора, так і для користувача, оскільки:

- Традиційні телефонні мережі мають надлишкову пропускну здатність, тоді як IP-телефонія використовує технології стиснення голосу, максимально використовуючи пропускну здатність ліній.

- Доступ до Інтернету зараз є практично у кожного, що дозволяє знизити витрати на підключення.

- Локальні дзвінки можуть здійснюватися через внутрішній сервер, минаючи зовнішню АТС.

IP-телефонія також покращує якість зв'язку завдяки кільком основним факторам:

- Сучасні телефонні сервери стають все надійнішими й стійкими до затримок та інших проблем IP-мереж.

- Власники приватних мереж можуть контролювати параметри, такі як ширина смуги пропускання та кількість користувачів, що впливає на затримки.

- Розвиток пакетних мереж включає нові протоколи та технології, які покращують якість зв'язку (наприклад, RSVP для резервування смуги пропускання).

IP-телефонія також дозволяє легко вирішити проблему зайнятості лінії за допомогою функцій переадресації чи режиму очікування, які можна налаштувати за кілька кроків у програмній АТС.

Технологія IP телефонії надає користувачам додаткові функції безпеки та високий рівень комфорту. Для повноцінного оцінювання переваг IP телефонії доцільно впровадити деякі з існуючих сервісів. [14]

Розширена маршрутизація дзвінків дозволяє обирати маршрут для з'єднань, враховуючи такі чинники, як час доби, завантаженість мережі, вартість з'єднання та якість дзвінків. Ця функція може значно вплинути на вартість або якість послуг IP телефонії.

Єдина система обміну повідомленнями надає центральний інтерфейс для користувачів, де вони можуть переглядати повідомлення, факси та голосову пошту з однієї поштової скриньки. Ця послуга особливо корисна для компаній, оскільки допомагає уникнути зайвих шумів і підвищити продуктивність праці.

Відміна тарифів на міжміські дзвінки в корпоративній мережі через маршрутизацію дзвінків через IP мережу дозволяє значно економити кошти. Це вигідно для користувачів, які здійснюють велику кількість дзвінків між віддаленими офісами.

Функції безпеки дозволяють адміністратору IP-мережі забезпечити надійний захист переданих даних. Передача даних може бути захищена шифруванням для

запобігання несанкціонованому доступу та використанню пакетів сторонніми особами.

Різноманітні додатки для телефонів надають користувачам ще одну альтернативу для використання IP телефонів.

Крім передачі голосу, за умови достатньої пропускної здатності, можлива передача відео (відеоконференції) та інших даних для кількох учасників.

Сучасне обладнання розподільчих пунктів IP телефонії дає змогу змінити маршрут виклику у разі перевантаження мережі WAN або несправності, переключивши з'єднання на класичну телефонну мережу.

## **2.4 Протоколи та кодеки в архітектурі IP телефонії**

Оцифрований і стиснутий мовний сигнал у вигляді потоку даних формується кодеком. Цей потік бітів необхідно розділити на пакети та передати через мережу передачі даних від абонента до приймаючої сторони.

У мережах IP телефонії фактичне з'єднання та передача даних здійснюються за допомогою протоколів (стандартів). Протокол — це визначений набір правил, згідно з якими відбувається обмін даними, що забезпечує управління синтаксисом, семантикою та синхронізацією взаємодії. Протоколи організовані по рівнях у моделі TCP/IP (Інтернет-протокол/протокол управління передачею, або TCP/IP). Ця модель є основою мережі передачі даних, заснованої на принципі пакетної передачі. Кожен протокол виконує певну функцію, забезпечуючи послуги для рівня вище в ієрархії, і при цьому використовує послуги рівня нижче [14, 16].

В обох кінцевих точках завжди застосовуються однакові протоколи на відповідних рівнях стеку. Архітектура моделі TCP/IP та її протоколи, які використовуються в мережах IP телефонії, наведені на рисунку 2.2.

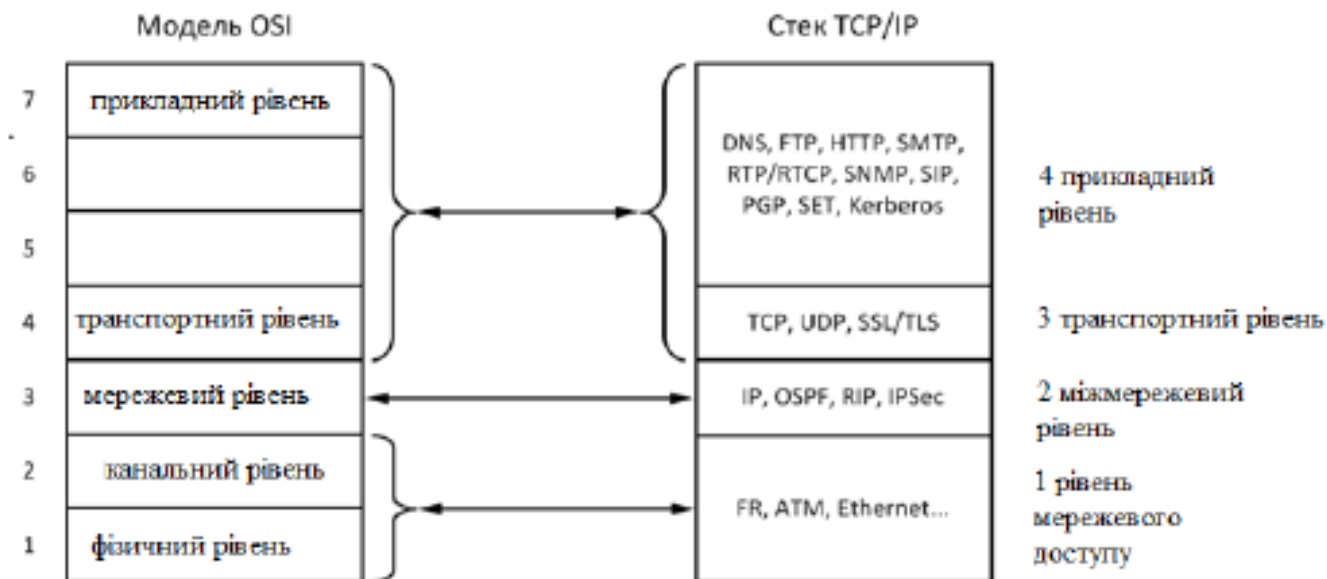


Рисунок 2.2 – Взаємозв’язок моделі OSI та стеку протоколів TCP/IP

Бітовий сигнал необхідно стискати для зменшення використання пропускної здатності. Кодеки виконують функцію кодування та декодування сигналу і можуть бути реалізовані як програмні додатки або спеціалізоване обладнання, інтегроване з іншими функціональними блоками безпосередньо на чіпі. Зручним рішенням є процесор DSP10, який дозволяє змінювати кодеки та їх версії через інструкції програмного забезпечення.

Пропускна здатність, необхідна для передачі голосу, є ключовим фактором для VoIP-телефонії. Адміністраторам локальних бізнес-мереж важливо знати точну пропускну здатність для кожного порту WAN. Вибір кодека — це процес кодування, який визначає загальне навантаження на мережу. Оптимальним є баланс між якістю голосу та витратами на пропускну здатність, де зазвичай спостерігається пропорційна залежність: чим більше пропускної здатності вимагає дзвінок, тим вищі його витрати.

Різні кодеки мають специфічні вимоги до рівня складності та пропускної здатності. Для використання в VoIP-телефонії необхідно враховувати такі основні параметри кодеків:

- Тип кодування – визначає алгоритм, за яким відбувається кодування сигналу.
- Швидкість передачі – необхідна пропускна здатність для передавання закодованих даних, виражена в кбіт/с.
- Складність обчислень – показує продуктивність процесора в мільйонах операцій за секунду (MIPS).
- Затримка сигналу під час кодування – може впливати на якість зв'язку; критичний рівень затримки не має перевищувати 200 мс. Чим менша затримка, тим краща якість голосової передачі.
- MOS (середня оцінка якості) – числовий показник, що відображає якість мовного сигналу; буде розглянуто детальніше далі.

Кодеки серії G використовуються в IP телефонії відповідно до стандартів ITU-T.

Таблиця 2.1 – Параметри основних кодеків IP телефонії

Кодеки	Алгоритми	Швидкість передачі, кбіт/с	MIPS	Затримка, мс	MOS
G.711	MP-MLQ	6,3	6,3	30	3,9
G.711	ACELP	5,3	20	30	3,65
G.726	ADPCM	32	1	1	3,85
G.728	LD-CELP	16	30	3-5	3,61
G.729.A	CS-ACELP	8	11	10	3,7
G.729	CS-ACELP	8	20	10	3,92

Кодек G.711 PCM (Pulse Code Modulation) є одним із найбільш поширених стандартів для забезпечення високоякісної передачі голосу в IP телефонії, розробленим Міжнародним союзом електрозв'язку (ITU-T). Він використовує імпульсно-кодову модуляцію для перетворення аналогового мовного сигналу в цифровий без стиснення, забезпечуючи швидкість передачі 64 кбіт/с. Такий підхід дозволяє досягти високої якості звуку, оскільки голос передається без втрат, що

надає G.711 високу оцінку за шкалою якості MOS (середній бал якості) близько 4,3 з 5, роблячи його одним з найкращих кодеків у цьому відношенні. Кодек G.711 має дуже низьку затримку, що не перевищує 0,125 мс, оскільки не застосовує стиснення і потребує мінімальних обчислень, забезпечуючи швидку реакцію звуку і, таким чином, є придатним для мереж із високими вимогами до якості зв'язку. G.711 широко застосовується в класичних телефонних мережах і VoIP-системах, що забезпечує його сумісність із багатьма пристроями і мережами. Однак цей кодек вимагає значної пропускної здатності (64 кбіт/с на канал), що може бути неефективним у мережах з обмеженими ресурсами. Існує два основних варіанти G.711: G.711  $\mu$ -law, який здебільшого використовується в Північній Америці та Японії, і G.711 A-law, що застосовується в Європі та інших регіонах. Обидва варіанти мають однакову швидкість передачі, але різні схеми квантування. G.711 PCM забезпечує високу якість звуку та низьку затримку, простий у реалізації і є зручним для застосування в багатьох сучасних VoIP-мережах і традиційних телефонних системах, але його висока потреба в пропускній здатності є певним недоліком у середовищах з обмеженим ресурсом мережі.

G.726 ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation) – кодек, розроблений ІТУ-Т для стиснення мовного сигналу в мережах, які потребують ефективного використання пропускної здатності. Він був створений як заміна для G.711 у середовищах, де потрібно зменшити витрати на передачу даних, але зберегти високу якість звуку. G.726 працює з різними швидкостями передачі — 16, 24, 32 і 40 кбіт/с, де найпопулярнішим є режим 32 кбіт/с, оскільки він забезпечує баланс між якістю звуку та економією пропускної здатності. Завдяки використанню адаптивного диференціального кодування, G.726 зменшує обсяг переданих даних, враховуючи зміни в мовному сигналі, що дозволяє значно знизити затримку при передачі [18].

G.726 часто застосовується в системах ІР телефонії і мережах із комутацією каналів, таких як цифрові мережі ISDN, а також у мобільних мережах, де економія ресурсів є критичною. MOS (Mean Opinion Score) для G.726 становить приблизно 3,8 для 32 кбіт/с, що забезпечує прийнятну якість мовлення, хоч і дещо нижчу за

G.711. Цей кодек є популярним вибором у системах з обмеженою пропускною здатністю, де важливо знайти компроміс між якістю звуку та витратами на мережеві ресурси.

G.728 LD-CELP (Low-Delay Code Excited Linear Prediction) – кодек, розроблений ІТУ-Т для забезпечення високоякісної передачі голосу з мінімальною затримкою, особливо в реальному часі. Він використовує алгоритм кодування LD-CELP, який дозволяє значно зменшити пропускну здатність до 16 кбіт/с при збереженні хорошої якості звуку. G.728 забезпечує затримку кодування лише 0,625 мс, що робить його одним із найефективніших кодеків для додатків, де затримка критична, таких як відеоконференції та інтерактивні голосові сервіси [19].

G.728 широко застосовується в ІР-телефонії, інтегрованих цифрових мережах (ISDN) та інших системах, де важливо підтримувати високу якість мовлення при мінімальному використанні пропускної здатності. За шкалою MOS (Mean Opinion Score), яка оцінює якість мовного сигналу, G.728 отримує близько 3,6, що робить його конкурентоспроможним серед інших кодеків із низькою пропускною здатністю. G.728 оптимально підходить для використання в умовах обмежених ресурсів та забезпечує хороший компроміс між якістю передачі голосу і мінімальним навантаженням на мережу.

G.729 CS-ACELP (Conjugate-Structure Algebraic Code-Excited Linear Prediction) — це популярний кодек, розроблений ІТУ-Т для забезпечення якісної передачі голосу при низькій пропускну здатності, зокрема в ІР-телефонії та мережах VoIP. Кодек працює на швидкості 8 кбіт/с, що дозволяє значно економити пропускну здатність порівняно з іншими кодеками, зберігаючи при цьому прийнятну якість звуку. G.729 використовує алгоритм кодування CS-ACELP, який аналізує мовний сигнал і передає його у вигляді стиснених голосових даних із затримкою близько 10 мс [19].

G.729 забезпечує прийнятну якість мовлення з оцінкою близько 3,7 за шкалою MOS (Mean Opinion Score), що є досить хорошим показником для кодеків зі стисненням. Завдяки ефективному використанню пропускної здатності, G.729 часто

застосовується в умовах обмежених мережевих ресурсів і високого навантаження, наприклад, у мобільних мережах і корпоративних середовищах.

Кодек також має варіант G.729a, який є спрощеною версією оригіналу і потребує менше обчислювальних ресурсів, хоча з незначним зниженням якості звуку. G.729 є ідеальним вибором для забезпечення компромісу між якістю голосу і низьким використанням пропускну здатності, що робить його широко вживаним для забезпечення ефективного голосового зв'язку в мережах VoIP.

## **2.5 Забезпечення якості обслуговування у мережах на основі технології IP телефонії**

QoS (якість обслуговування) — це механізм, що забезпечує пріоритетність певного трафіку, уповільнюючи менш важливі пакети даних, для досягнення оптимальної якості голосового зв'язку в умовах обмеженої пропускну здатності. Пріоритетні пакети, таким чином, швидше досягають кінцевої точки. Пакети з високим пріоритетом проходять через маршрутизатор із мінімальною затримкою, яку неможливо було б уникнути без QoS [13].

Налаштування QoS на маршрутизаторі може запобігти спотворенням голосу та покращити якість з'єднання. Це досягається шляхом надання пріоритету голосовому трафіку. Хоча це може обмежити можливість інших програм отримати такий самий високий рівень обслуговування, позитивним аспектом є стабільний потік даних та якісніша передача голосу.

QoS не може пришвидшити передачу даних, коли немає конкурентного трафіку, але при його наявності — надає пріоритет пакету, дозволяючи йому просуватися в черзі вперед. У мережевих пристроях використовуються буфери обміну, що тимчасово зберігають дані, коли їх неможливо передати негайно. Маршрутизатори зазвичай використовують метод FIFO (перший прийшов — перший пішов), що забезпечує черговість передачі даних.

Втрати пакетів призводять до втрати інформації в отриманому звуковому сигналі. Чим більше втрачених пакетів, тим більше може погіршитися якість звуку на приймаючій стороні. У мережах IP втрата пакетів є неминучим аспектом: маршрутизатори можуть видаляти пакети (використовуючи алгоритм раннього виявлення), щоб запобігти перевантаженню мережі.

Основними причинами втрати пакетів є:

- вичерпання терміну існування (TTL = 0);
- затримка, що перевищує обсяг джиттер-буфера;
- видалення пакету через перевантаження мережевого пристрою;
- недійсність пакету через помилки передачі.

Для передачі голосу в IP-мережах використовується протокол UDP, який має перевагу в низьких витратах і покладається на протоколи вищого рівня (RTCP/RTP) для корекції помилок або контролю потоку даних, що особливо важливо для додатків реального часу [12].

Швидкість втрати пакетів залежить від якості використовуваних каналів і розміру мережі. Для прийнятної якості мовлення швидкість втрати пакетів повинна залишатися нижчою за 20 відсотків.

Одним із можливих рішень для зменшення втрат пакетів є впровадження систем корекції помилок за допомогою надлишкового та адаптивного кодування, яке змінюється відповідно до поточних втрат пакетів, що статистично спостерігаються в мережі. Такі системи дозволяють досягати високої якості звуку навіть при передачі через Інтернет, однак створюють додаткову затримку, що слід враховувати при використанні мережі для телефонії.

Коли маршрутизатор здатен оцінити обсяг трафіку, який він може обробити, він формує трафік через пріоритизацію пакетів, затримуючи пакети з низьким пріоритетом і пропускаючи ті, що мають високий пріоритет. Теги QoS можуть мати різні рівні важливості (високий, середній, низький), або критичний та важливий, залежно від налаштувань маршрутизатора. Пріоритети можуть визначатися різними методами, серед яких використання порту Ethernet, MAC-адрес кінцевих точок або портів TCP/UDP.

Налаштування QoS на маршрутизаторі не можуть вплинути на продуктивність, яку забезпечує інтернет-провайдер. Зазвичай провайдер вже обмежує швидкість відповідно до вашого тарифного плану. Іноді реальна швидкість може бути нижчою за заявлену, що можна перевірити за допомогою тесту швидкості. Як правило, допустиме відхилення не повинно перевищувати 20%.

Інші методи оцінки якості обслуговування, особливо в IP-телефонії та IP-телебаченні, включають суб'єктивні метрики, які враховують «популярність продукту», «рівень задоволеності користувачів» і «кількість задоволених клієнтів». Цей метод відомий як середній бал думок (MOS, «суб'єктивна оцінка») або якість досвіду (QoE, «емпірична оцінка»).

Робоча група Internet Engineering Task Force (IETF) визначила низку протоколів і методів для забезпечення QoS у мережах IP, серед яких:

- корпоративні мережі з резервуванням пропускнуої здатності або комутацією в локальній мережі;
- механізми зворотного зв'язку щодо якості (наприклад, RTCP від IETF), які дають змогу контролювати та керувати трафіком;
- пріоритетність трафіку (як у чергах DiffServ);
- резервування ресурсів (RSVP, IntServ);
- сегрегація трафіку (транспорт і маршрутизація);
- моніторинг трафіку.

Окрім таких можливостей Інтернет-протоколу, як RSVP, IntServ та DiffServ, QoS для IP-телефонії можна досягти завдяки функціям мережевого обладнання від постачальників, яке пропонує налаштування черг, формування трафіку та фільтрацію, що дозволяє ефективно керувати пріоритетами трафіку та заторами у всій мережі.

Наприклад, спеціальні черги (CQ) розподіляють трафік, призначаючи різні класи пакетів для кожної черги, а потім обслуговують їх по черзі. Хоча певний протокол може виділити більше пропускнуої здатності для конкретного користувача або програми в черзі, він не здатен повністю монополізувати весь канал.

Зважене випадкове раннє виявлення (RED або WRED) поєднує IP-пріоритети з методикою Random Early Detection, що дозволяє гнучко визначати політику обробки трафіку. Це допомагає оптимально використовувати пропускну здатність навіть при перевантаженні, забезпечуючи відмінні характеристики продуктивності для різних класів обслуговування.

Дозвіл на швидкість доступу забезпечує інструменти для розподілу ресурсів пропускну здатності, а також для контролю джерел та місць призначення трафіку, дозволяючи збільшувати чи зменшувати пропускну здатність за потреби.

Слід відмітити, що жоден із наведених протоколів чи методів самостійно не здатен забезпечити належну якість голосового зв'язку, якщо тільки не йдеться про дуже специфічні та сприятливі умови. Для цього, ймовірно, буде потрібне поєднання декількох методів та протоколів у рамках комплексної мережевої інженерії.

Всі ці методи застосовуються в межах конкретного підмережевого домену; Забезпечення їхньої роботи вимагає встановлення цільового QoS для голосового дзвінка, який проходить через декілька операторських доменів. У мережах нового покоління передача мовної інформації відбувається за принципом обміну інформацією про вхідний дзвінок, що дозволяє відповідно резервувати ресурси в кожній з підключених мереж, забезпечуючи кінцевий QoS на всьому маршруті.

### **3 Методика розрахунку параметрів потоку даних в мережі на основі технології IP телефонії**

Змішування пакетів даних у мережі, як правило, призводить до зниження гарантованої якості обслуговування. Головна перевага IP мереж як транспортного середовища полягає в їхній здатності легко і гнучко розширювати комп'ютерні мережі. Однак це також породжує значні проблеми для технології IP телефонії. Основний виклик у більшості IP-мереж — це неможливість забезпечити стабільні параметри якості передачі, особливо щодо затримки в мережі, яка критично впливає на якість зв'язку в IP-телефонії.

Затримка є ключовим фактором, що впливає на кінцеву якість спілкування. Варто зазначити, що нова версія IPv6 значно покращує можливості забезпечення якості обслуговування (QoS) [13]. Деякі великі виробники вже почали випускати мережеві компоненти з підтримкою IP телефонії, що спрощує ідентифікацію та пріоритизацію обробки трафіку в IP мережах .

Гарантування якості у IP з'єднаннях є основою для успішного впровадження та масштабування цієї технології. Однак, окрім затримки, на якість з'єднання впливають інші важливі параметри, такі як вибір алгоритму стиснення, паузи та порушення послідовності пакетів.

У роботі проводиться розрахунок основних параметрів затримки, що безпосередньо впливають на якість обслуговування в мережах IP телефонії, для моделі IP мережі, що представлена на рисунку 3.1.

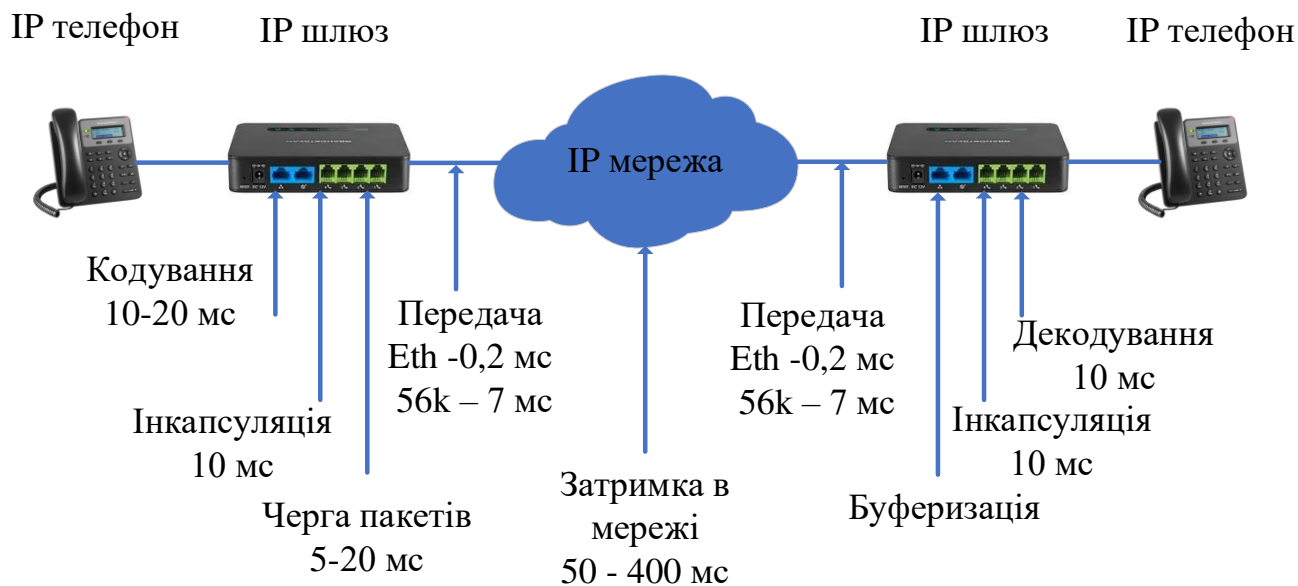


Рисунок 3.1 – Модель IP мережі із затримками

### 3.1 Розрахунок затримки кодека середовища IP

Затримка кодека визначається вибором самого кодека та продуктивністю цифрового сигнального процесора (DSP). Вона вимірюється як час, необхідний DSP для стиснення вибіркового блоку PCM (імпульсно-кодової модуляції). Кожен алгоритм декодування визначає кількість PCM-блоків, які кодуються одночасно, що створює затримку, відому як затримка стиснення кодека. Ця затримка залежить від розміру блоку, що кодується, і параметрів обраного кодека. Інша часткова затримка, що виникає під час кодування, називається алгоритмічною затримкою. Алгоритмічна затримка пов'язана з особливостями роботи кодувального алгоритму, який потребує  $N$  зразків для виконання кодування та наступних зразків  $N+1$ ,  $N+2$  тощо. За специфікацією ITU-T G.114, існують різні типи затримок кодека, що залежать від особливостей середовища, у якому використовується кодек.

$$T_{CIP} = (N + 1)T_{alg} + T_{comp}, \quad (3.1)$$

де  $T_{CIP}$  – затримка за рахунок кодування в IP середовищі,

$T_{alg}$  – алгоритмічна затримка,

$T_{comp}$  – затримка при стисненні,

$N$  – кількість кадрів.

### 3.2 Розрахунок затримки при інкапсуляції пакетів

Затримка виникає під час інкапсуляції блоку даних у пакети для передачі мережею. Оскільки IP-мережі підтримують змінний розмір пакету, можна встановити бажаний розмір пакетів у системі. Це дозволяє контролювати кількість блоків даних кодека, які будуть передаватися разом в одному IP-пакеті. Якщо передаються кілька блоків одночасно, їх необхідно зберігати в буфері до моменту, коли кодек згенерує останній блок даних для цього пакету. Лише після цього дані можуть бути інкапсульовані та відправлені мережею. Затримка інкапсуляції визначається кількістю періодів, в яких працює кодек і може бути розрахована наступним чином:

$$T_I = \frac{8 \cdot P_{kor}}{C_{prop}}, \quad (3.2)$$

де  $T_I$  – затримка інкапсуляції (мс),

$P_{kor}$  – розмір корисного навантаження (В),

$C_{prop}$  – пропускна здатність кодека (кбіт/с).

### 3.3 Розрахунок затримки обробки пакетів

Затримка обробки в маршрутизаторах – це час, потрібний для того, щоб маршрутизатор прийняв пакет через вхідний інтерфейс і передав його з буфера на вихід. Ця затримка залежить від низки факторів, таких як:

- швидкість центрального процесора (CPU),
- рівень завантаження процесора,
- режим IP-перемикання,
- архітектура маршрутизатора,
- налаштування вхідних і вихідних інтерфейсів.

### 3.4 Розрахунок пропускної здатності в мережі

Кожен протокол, що застосовується в IP-мережі для передачі даних, має заголовок, який містить інформацію, необхідну для функціонування конкретного протоколу або технології. Обсяг цієї інформації залежить від типу використовуваної технології. Кожен кінець каналу передачі може використовувати різні технології для передачі пакетів. У таких випадках, коли по шляху змінюється технологія, деякі заголовки видаляються та замінюються новими, відповідними до нових умов передачі. Додавання такої інформації потребує додаткової пропускної здатності, яку можна розрахувати. Знаючи пропускну здатність, необхідну для кодека, і інтервал вибірки кодека, можна обчислити обсяг даних в IP-пакеті:

$$P_{kor} = \frac{C_{prop} \cdot T_s}{8}, \quad (3.3)$$

де  $P_{kor}$  – розмір корисного навантаження (В),

$T_s$  – період вибірки (мс),

$C_{prop}$  – пропускна здатність кодека (кбіт/с).

Після додавання заголовку можна оцінити пропускну здатність потоку:

$$S_w = \frac{H_L \cdot 8}{T_s} + C_{prop}, \quad (3.4)$$

де  $S_w$  – загальна пропускна здатність (кбіт/с),

$H_L$  – довжина заголовка (В),

$T_s$  – період вибірки (мс).

Отже:

$$S_w = \frac{H_L \cdot C_{prop}}{P_s} + C_{prop}. \quad (3.5)$$

### 3.5 Розрахунок затримки послідовного потоку пакетів

Затримка послідовного потоку пакетів є частиною загальної затримки і залежить від швидкості передачі даних. Процес надсилання пакетів вимагає певного часу, який визначається швидкістю передачі та розміром пакета. Цей час додає негативний вплив на загальну затримку передачі. Спочатку визначаємо загальний розмір кадру:

$$F_s = H_L + P_S, \quad (3.6)$$

де  $F_s$  – загальний розмір кадру (В),

$H_L$  – довжина заголовка (В),

$P_S$  – корисне навантаження (В).

Тоді, затримка послідовного потоку пакетів:

$$T_{pp} = \frac{F_s}{L_s}, \quad (3.7)$$

де  $T_{pp}$  – затримка послідовного потоку пакетів (мс),

$L_s$  – швидкість передачі (кбіт/с).

### 3.6 Розрахунок затримки розповсюдження потоку пакетів

Затримка розповсюдження потоку пакетів пов'язана з передачею сигналу у фізичному середовищі і, зазвичай, залежить від технології, що застосовується та відстані, на яку передається сигнал. У місцевих мережах такою затримкою можна знехтувати, але якщо мова йде про транспортні мережі, які мають велику протяжність, таку затримку потрібно враховувати. Так як основним середовищем для транспортних мереж є оптичне волокно, то швидкість передачі залежить від показника заломлення цього середовища і може бути обчислена за такою формулою:

$$v = \frac{c}{\eta} = 2 \cdot 10^8 \text{ мс}, \quad (3.8)$$

де  $c = 3 \cdot 10^8$  мс – швидкість світла у вакуумі,

$\eta = 1,5$  – показник заломлення для кремнієвого склаз довжиною хвилі  $\lambda = 1,33$  нм,

$v$  – швидкість поширення світла в оптичному волокні (мс).

Тепер можна розрахувати значення поширення як:

$$T_{RP} = \frac{L}{v} \text{ мс}, \quad (3.9)$$

де  $T_{RP}$  – затримка розповсюдження,

$L$  – довжина (м).

### 3.7 Розрахунок затримки при компенсації джиттера

Затримка пов'язана з так званими завмираннями або варіаційною затримкою. Іноді для усунення впливу таких затримок використовують буфер джиттера. Його розмір обмежується варіативністю затримки, однак з іншого боку, буфер створює додаткову динамічну затримку. Тому виникає потреба оптимізувати розмір (довжину) буфера завмирань. Зазвичай, розмір затримки джиттера вибирається як 1,5-кратне значення суми всіх змінних компонентів затримки. Якщо буфер джиттера налаштовується статично, його значення зазвичай знаходиться в діапазоні від 30 до 50 мс. При динамічному налаштуванні розмір може досягати 100-150 мс. Більш точне значення можна встановити після ретельного аналізу мережевої ситуації. У нашій моделі затримки значення джиттера розглядається як адитивний компонент загальної затримки.

### 3.8 Розрахунок затримки при декапсуляції пакетів

Затримка декапсуляції подібна до затримки інкапсуляції. Якщо один пакет містить кілька блоків даних, важливо зберігати всі блоки в буфері до моменту, коли останній із них буде сформовано, після чого пакет можна надіслати мережею. На стороні отримувача відбувається аналогічний процес: одержувач отримує кілька блоків в одному пакеті. Перший блок можна декодувати негайно, але інші повинні залишатися в буфері, поки їх не можна буде декомпресувати. Це означає, що перший блок не має затримки, а останній отримує затримку, еквівалентну затримці інкапсуляції. Таким чином, значення затримки декапсуляції протилежні значенням затримки інкапсуляції. У реальних умовах кожен блок на шляху передачі має лише одне значення затримки інкапсуляції.

### 3.9 Розрахунок затримки при декомпресії пакетів

Затримка декомпресії, або затримка стиснення, залежить від обраного алгоритму стиснення. У більшості випадків середня затримка декодування становить близько 10% від затримки стиснення. Однак цей показник залежить від обчислювальної потужності декодера і, як правило, визначається з урахуванням кількості блоків, що описується як:

$$T_{DIP} = 0,1 \cdot N + T_{CIP}, \quad (3.10)$$

де  $T_{DIP}$  – затримка декодування (мс),

$N$  – кількість блоків голосових даних в одному пакеті,

$T_{CIP}$  – затримка кодека (мс).

### 3.10 Розрахунок затримки мережевих пристроїв

У мережевих пристроях численні потоки даних і голосу можуть пересікатися та передаватися у різних напрямках, що може призводити до ситуацій, коли кілька потоків голосу та даних спрямовуються через одне вихідне з'єднання. У такій ситуації важливо визначити, яким пакетам надати пріоритет для передачі через вихідне з'єднання. Вибір методу обробки пакетів може суттєво вплинути на загальну затримку. Голосові пакети повинні мати пріоритет перед іншим трафіком даних, що можна реалізувати за допомогою механізмів диференційованих або інтегрованих послуг [16]. Обробка трафіку в маршрутизаторі зазвичай контролюється методами пріоритетної черги (PQ), або комбінацією пріоритетної черги із зваженою справедливою чергою (PQ/WFQ), або іншими методами організації черги.

При оптимізації трафіку маршрутизатора за допомогою PQ (пріоритетна черга), пакети з найвищим пріоритетом, зокрема голосові, обробляються першочергово. Це означає, що затримка серіалізації застосовується до пакетів із нижчим пріоритетом, а для голосових пакетів моделюється навантаження і затримка маршрутизатора. У такій схемі затримка виникає лише у пріоритетній черзі. Механізм обробки черги пріоритетів відповідає моделі  $M/D/1/k$ , де  $k$  – це розмір буфера. Для аналітичного спрощення затримки маршрутизатора можна припустити наявність достатнього розміру буфера, що дозволяє уникнути втрати пріоритетних пакетів, замінивши модель  $M/D/1/k$  на модель  $M/D/1/\infty$ . Це дає змогу розробити аналітичне вираження ймовірності заповнення буфера маршрутизатора, а також побудувати модель затримки пакетів.

У моделі  $M/D/1/\infty$  можливий перехід лише до наступного стану, що відповідає прийому або передачі одного пакета. Модель передбачає такі припущення:

- інтервали між вхідними запитами мають розподіл Пуассона. Якщо на вході маршрутизатора є  $M$  джерел голосового трафіку, кожне з яких має пуассонівський розподіл, їх сума також матиме пуассонівський розподіл [21];

- щільність ймовірності обслуговування,  $\lambda(t)$ , є сталою. При моделюванні затримки з  $M$  вхідними голосовими потоками, які стабільні у часі, це припущення виконується;

- обробка здійснюється за принципом FIFO (First In, First Out), стандартним для черги PQ у маршрутизаторі;

- час обробки є постійним: якщо  $M$  вхідних голосових потоків використовують однаковий кодек стиснення та генерують пакети однакового розміру, час відправлення кожного пакета через вихідне з'єднання буде сталим, що забезпечує постійний час обробки.

З використанням цих припущень можна розрахувати навантаження системи, що дозволяє оцінити завантаження вихідного каналу голосовими пакетами.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}, \quad (3.11)$$

де  $\lambda$  – інтенсивність вхідних запитів (с),

$\mu$  – швидкість обслуговування (с),

$\rho$  – навантаження системи.

Для забезпечення стабільності системи навантаження повинно відповідати умовам:  $0 \leq \rho < 1$ . Припускаючи, що одне джерело трафіку має постійну швидкість передачі бітів  $C_w$  і стабільний розмір пакета даних  $P_S$ , можна виразити інтенсивність вхідних запитів таким чином:

$$\lambda = \frac{C_w}{P_S}. \quad (3.12)$$

Тоді швидкість обслуговування:

$$\mu = \frac{1}{T_{cer} + T_{pp}}, \quad (3.13)$$

де  $T_{pp}$  – затримка послідовного потоку пакетів (мс),

$T_S$  – час обслуговування пакетів в маршрутизаторі (мс).

Знайдемо ймовірність надходження  $k$  запитів очікування в системі:

$$p_k = (1 - \rho) \sum_{j=1}^k \frac{(-1)^{k-j} (j \cdot \rho)^{k-j-1} (j \cdot \rho + k - j) e^{(j \cdot \rho)}}{(k-j)!} \text{ при } k \geq 2,$$

$$p_k = (1 - \rho)(e^\rho - 1) \text{ при } k=1, \quad (3.14)$$

$$p_k = (1 - \rho) \text{ при } k=0.$$

Середній час очікування:

$$T = \frac{1}{\mu} + \frac{\rho}{2(1-\rho)\mu}, \quad (3.15)$$

де  $\frac{1}{\mu}$  – час обслуговування одного запиту.

Загальна кількість запитів:

$$N = T \cdot \lambda. \quad (3.16)$$

Виходячи з припущення, що  $M$  голосових потоків надходять до маршрутизатора і використовують властивості розподілу ймовірностей Пуассона, можна виразити інтенсивність вхідних запитів як:

$$\lambda = \sum_i^M \frac{C_{wi}}{P_{Si}}. \quad (3.17)$$

Якщо при передачі голосових даних використовується один і той же кодек і всі дані передаються через однакове середовище:

$$\lambda = M \frac{C_w}{P_S}. \quad (3.18)$$

При відомих швидкості передачі на виході і часі обслуговування пакету для конкретного маршрутизатора можна розрахувати рівень обслуговування системи:

$$\mu = \frac{L_S}{P_S + H_L + L_S \cdot T_S}, \quad (3.19)$$

де  $H_L$  – розмір заголовка пакета,

$L_S$  – швидкість зв'язку,

$T_S$  – час обслуговування пакетів в маршрутизаторі.

Отже, рівняння для завантаження системи матиме вигляд:

$$\rho = \frac{M \cdot C_w (P_S + H_L + L_S \cdot T_S)}{P_S \cdot L_S}. \quad (3.20)$$

Якщо замінити (3.19), (3.20) і (3.21) на (3.17), то отримуємо середній час обслуговування у вигляді:

$$T = \frac{1}{2} \cdot \frac{P_S + H_L + L_S \cdot T_S}{P_S} \cdot \frac{2P_S \cdot L_S - C_w \cdot M(P_S + H_L + L_S \cdot T_S)}{P_S \cdot L_S - C_w \cdot M(P_S + H_L + L_S \cdot T_S)}. \quad (3.21)$$

Замінімо (3.17), (3.18) і (3.19) на (3.14), тоді ймовірність  $k$  запитів приймає вигляд:

$$p_k = \left(1 - M \cdot C_w \cdot \frac{P_S + H_S + L_S \cdot T_S}{P_S \cdot L_S}\right) \cdot \sum_{j=1}^k [(-1)^{(k-j)} \cdot \left(j \cdot M \cdot C_w \cdot \frac{P_S + H_S + L_S \cdot T_S}{P_S \cdot L_S}\right)^{(k-j-1)} \cdot \left(j \cdot M \cdot C_w \cdot \frac{P_S + H_S + L_S \cdot T_S}{P_S \cdot L_S} + k - j\right) \cdot \frac{e^{j \cdot M \cdot C_w \cdot \frac{P_S + H_S + L_S \cdot T_S}{P_S \cdot L_S}}}{(k-j)!}] \text{ при } k \geq 2,$$

$$p_k = \left(1 - M \cdot C_w \cdot \frac{P_S + H_S + L_S \cdot T_S}{P_S \cdot L_S}\right) \cdot \left(e^{j \cdot M \cdot C_w \cdot \frac{P_S + H_S + L_S \cdot T_S}{P_S \cdot L_S}} - 1\right) \text{ при } k=1, \quad (3.22)$$

$$p_k = \left(1 - M \cdot C_w \cdot \frac{P_S + H_S + L_S \cdot T_S}{P_S \cdot L_S}\right) \text{ при } k=0.$$

Тоді якщо ми виражаємо час обслуговування від тарифу на обслуговування рівняння (3.19), маємо ймовірність затримки:

$$p_{T_k} = p_k \cdot \frac{P_S + H_S + L_S \cdot T_S}{P_S \cdot L_S} \text{ при } k < 0. \quad (3.23)$$

Рівняння (3.21), яке відображає середню затримку пакету в маршрутизаторі разом з (3.23) утворюють математичну модель затримок в маршрутизаторі.

### 3.11 Розрахунок параметрів затримки моделі IP мережі

Розглянемо приклад розрахунку затримки у мережі IP при використанні кодека G.729.

Кодек G.729 має затримку кодування приблизно 10 мс. Ця затримка виникає через обробку голосового сигналу для його стиснення.

Затримка пакетування залежить від часу, необхідного для збору вибірок голосу в один пакет. Для G.729 стандартний розмір фрейму становить 10 мс.

Джиттер-буфер використовується для компенсації коливань затримки пакетів (джиттера). Зазвичай для голосових додатків встановлюється затримка джиттер-буфера в межах 30 мс.

Затримка декодування для кодека G.729 також становить приблизно 10 мс.

Величина загальної затримки інформації в IP мережі буде визначатися сумою затримок, що описані вище:

$$T = (1 + 0,1 \cdot N)(N + 1) \cdot T_{alg} + T_{comp} \cdot \frac{8 \cdot P_S}{C_w} + \sum_{i=1}^5 \frac{L_i}{v} + \sum_{i=2}^5 T_{PRi} + T_{Dj} + T_{DPD} + \frac{1}{2} \sum_{i=2}^5 \left[ \frac{P_S + H_{Li} + L_{Si} \cdot T_{Si}}{P_{Si}} \cdot \frac{2P_S \cdot L_{Si} - C_w \cdot M_i(P_S + H_{Li} + L_{Si} \cdot T_{Si})}{P_S \cdot L_{Si} - C_w \cdot M_i(P_S + H_{Li} + L_{Si} \cdot T_{Si})} \right] = 118,4 \text{ мс}, \quad (3.24)$$

де  $N$  – число блоків у пакеті,

$T_{alg}$  – алгоритмічна затримка кодека (мс),

$T_{comp}$  – затримка стиснення кодека (мс),

$P_S$  – величина корисного навантаження (байт),

$C_w$  – пропускна здатність кодеку (кбіт/с),

$H_{Li}$  – довжина заголовка (байт),

$L_{Si}$  – швидкість  $i$ -го рядка (кбіт/с),

$L_i$  – довжина  $i$ -го рядка (м),

$v$  – швидкість світла у вакуумі,

$T_{Dj}$  – затримка де-джиттера (мс),

$M_i$  – число однакових викликів спрямованих на роутер  $i$ -го вихідного посилання,

$T_{PRi}$  – затримка обробки (мс),

$T_{DPD}$  – затримка декодування (мс).

Загальна затримка при використанні кодека G.729 у даному прикладі становить 118,4 мс. Це значення знаходиться в межах прийнятних для якісного голосового зв'язку.

Для підтвердження теоретичних розрахунків було створено програмну модель IP мережі у середовищі Cisco packet tracer, яка представлена на рисунку 3.2.

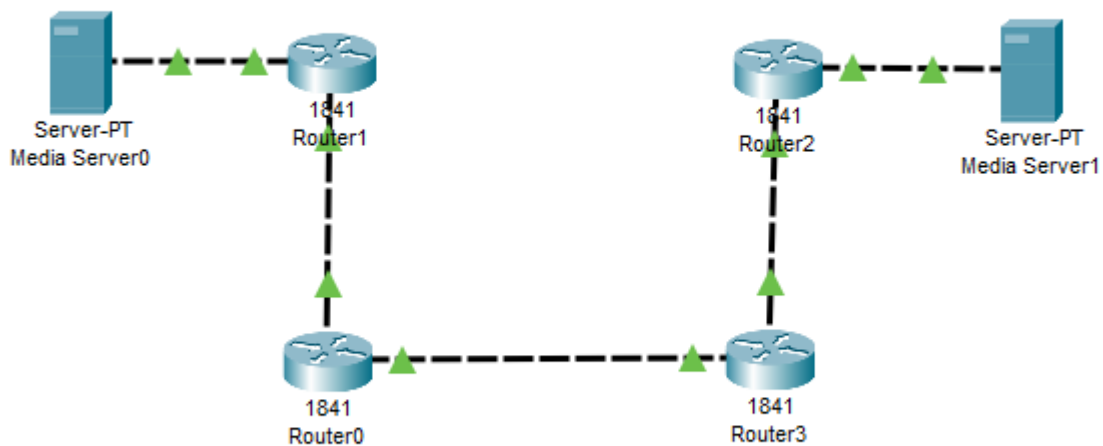


Рисунок 3.2 – Програмна модель IP мережі

Слід також відмітити:

- Затримка кодування/декодування може змінюватися залежно від продуктивності обладнання.

- Мережева затримка залежить від стану мережі та може варіюватися.
- Використання кодеків з вищим ступенем стиснення (наприклад, G.723.1) може збільшити затримку кодування/декодування.

Для більшого зниження затримки можна запропонувати:

- Використання кодеків з меншою затримкою кодування, такі як G.711, якщо дозволяє пропускна здатність мережі.
- Зменшення кількості фреймів в одному пакеті, щоб знизити затримку пакетування, але це може збільшити накладні витрати на пакетну передачу.
- Оптимізація мережевої інфраструктури для зниження мережевої затримки та джиттера (наприклад, налаштування QoS).

На рисунку 3.3 представлені результати передачі пакетів по мережі IP.

```
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=150ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=143ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=143ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=146ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=152ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=144ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=143ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=143ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=151ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=143ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=143ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=144ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=151ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=143ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=151ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=150ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=150ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=151ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=146ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=143ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=143ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=151ms TTL=116

Ping statistics for 98.142.239.91:
    Packets: Sent = 30, Received = 30, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 143ms, Maximum = 152ms, Average = 146ms
```

Рисунок 3.3 – Дослідження процесу передачі пакетів в IP мережі

Результати, отримані за допомогою теоретичного розрахунку, можуть відрізнятися від програмної моделі, коли навантаження на лінію перевищує 70%. Проте вимірювання показали, що в більшості випадків запропонований теоретичний розрахунок дає результати з точністю  $\pm 10\%$  при завантаженості лінії до 80%. Зі збільшенням кількості одночасних голосових дзвінків і зниженням навантаження на лінію точність отриманих результатів підвищується. Це пояснюється тим, що, хоча окремі голосові потоки можуть не відповідати точно моделі з пуассонівським розподілом, їх сукупність буде наближатися до цієї моделі зі збільшенням кількості дзвінків. Зважаючи на це, у більшості IP мереж прогнозована кількість одночасних з'єднань є значною, що свідчить про те, що запропонований розрахунок забезпечить достатньо точні значення середньої затримки в мережі.

## Висновки

У даній дипломній роботі було розглянуто основні аспекти проектування віртуальної телекомунікаційної мережі на основі технології IP телефонії. У ході дослідження було проаналізовано принципи побудови традиційних телефонних мереж, а також досліджено процес їхньої еволюції до сучасних мереж, що працюють на основі IP телефонії. Це дало змогу визначити ключові відмінності та переваги, які надає IP телефонія порівняно з класичними телефонними системами.

Основні результати роботи включають:

– Аналіз архітектури та технічного складу мереж IP телефонії, що дозволило виявити ключові елементи, такі як кодеки, протоколи та компоненти для забезпечення якості обслуговування. Виявлено, що IP телефонія дозволяє інтегрувати різні типи мультимедійного трафіку, забезпечуючи гнучкість та зниження витрат на комунікацію.

– Розробку методики розрахунку параметрів потоку даних, включаючи затримку, джиттер, пропускну здатність та інші фактори, що впливають на якість передачі голосового сигналу. Методика дозволяє розрахувати затримки на кожному етапі обробки пакета та оцінити їхній сумарний вплив на якість зв'язку.

– Поглиблений аналіз забезпечення якості обслуговування у мережах IP телефонії, включаючи механізми пріоритетності, використання черг та буферизації. Було показано, що ефективне управління трафіком і надання пріоритету голосовому трафіку є ключовими для забезпечення високої якості зв'язку.

– Використання математичної моделі для прогнозування затримок і пропускну здатності в мережі IP телефонії. Дослідження показало, що за умови високої кількості одночасних з'єднань результати моделі наближуються до реальних показників із високою точністю. Це дозволяє прогнозувати поведінку мережі в умовах різного навантаження і забезпечити належну якість зв'язку.

Загалом, виконана робота демонструє, що технологія IP телефонії є ефективним та економічно вигідним рішенням для створення віртуальних телекомунікаційних мереж, здатних забезпечувати високу якість обслуговування та інтеграцію мультимедійних сервісів. Методика проектування мережі, розроблена в рамках цієї роботи, дозволяє створювати мережеві інфраструктури з досить точними показниками затримки та пропускної здатності, що відповідають вимогам сучасних комунікаційних стандартів.

Впровадження запропонованої методики може бути корисним для підприємств та організацій, які прагнуть модернізувати свої телекомунікаційні системи, знижуючи витрати та забезпечуючи високу якість зв'язку. Подальше дослідження у цьому напрямку може зосередитися на розробці нових методів забезпечення якості зв'язку та оптимізації управління трафіком для досягнення ще вищих показників продуктивності та якості обслуговування.

## Перелік посилань

1. Макаров, А.В., Лазарєв, А.О. Технології зв'язку. – Дніпро: ДНУ, 2012. – 398 с.
2. Серік, І.М. Телекомунікації та мережі зв'язку. – Львів: ЛНУ, 2016. – 285 с
3. Губін, С.В., Рудаков, К.Є., Савінов, В.О. Телефонні мережі та системи. – Київ: Вища школа, 2008. – 456 с.
4. Троян, В.С. Основи побудови телефонних мереж. – Одеса: ОНУ, 2014. – 367 с.
5. Батаєв О.П., Ковтун І.В., Корольова Н.А. Теорія електричного зв'язку: Навч. посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. - 630 с.
6. Хоров, О.Е., Козаченко, В.В. Технічні основи телекомунікацій. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 288 с.
7. Сивухін, Г.Б. Курс лекцій з телефонного зв'язку. – Харків: НТУ, 2017. – 214 с.
8. ETSI. etsi.org. "ETSI DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) technology page". [Online] the European Telecommunications Standards Institute, 2011- 2015. <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/dect>.
9. Kurose, J., & Ross, K. Computer Networking: A Top-Down Approach (7th ed.). Pearson, 2021.
10. Stallings, W. Data and Computer Communications (10th ed.). Pearson, 2019.
11. RFC 3261: SIP: Session Initiation Protocol. Network Working Group, 2002. Retrieved from <https://www.ietf.org/rfc/rfc3261.txt>
12. RFC 3550: RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. Network Working Group, 2003. Retrieved from <https://www.ietf.org/rfc/rfc3550.txt>
13. Gough, B. Understanding and Implementing Quality of Service in IP Networks. Springer, 2020.
14. Minoli, D. Voice Over IP (VoIP) Security. Cisco Press, 2021.

15. Goleniewski, L. Telecommunications Essentials: The Complete Global Source (2nd ed.). Pearson, 2020.
16. Rybczynski, T. Introduction to IP Telephony: Why and How Companies are Moving Their Phone Systems to IP. NTT Press, 2018.
17. Zhang, Y., & Shafiq, M. Security for IP Telephony Networks: Threats, Solutions and Implementation. Springer, 2021.
18. ITU-T Recommendation G.711: Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies. International Telecommunication Union, 1988.
19. ITU-T Recommendation G.729: Coding of Speech at 8 kbit/s Using Conjugate-Structure Algebraic Code-Excited Linear Prediction (CS-ACELP). International Telecommunication Union, 1996.
20. Minoli, D. Voice Over IP (VoIP) Technology: Applications and Protocols for Next Generation Networks. John Wiley & Sons, 2011.
21. ITU. P.800: Methods for subjective determination of transmission quality. Recommendation, ITU. [Online] ITU. [Citece: 12. 12 2015.] <http://www.itu.int/rec/T-RECP.800-199608-I/en>.

# **Проектування віртуальної телекомунікаційної мережі на основі технології ІР телефонії**

Виконав: О.В. Михайліченко, магістрант 601 ТТ

Керівник: С.В. Індик, к.т.н., доцент

**Актуальність роботи.** Заміна традиційних телефонних мереж мережами IP телефонії відкриває широкі можливості для корпоративного та приватного секторів, сприяючи економічному розвитку та ефективнішій комунікації. Дослідження в області проектування таких мереж є актуальним кроком до забезпечення доступного та якісного зв'язку.

**Мета роботи:** оцінка ефективності функціонування проекту віртуальної телекомунікаційної мережі IP на основі аналізу параметрів затримок.

**Методи дослідження.** Для побудови архітектури мережі застосовано системний підхід, який включає розгляд технічних компонентів мережі та аналіз стандартів протоколів і кодеків. У роботі розглядається методика розрахунку затримки на різних етапах обробки пакетів, зокрема при інкапсуляції, декомпресії, розповсюдженні, що дозволяє оцінити загальну затримку та обрати оптимальні параметри для забезпечення якості обслуговування.

# Основні принципи зв'язку традиційної телефонної мережі

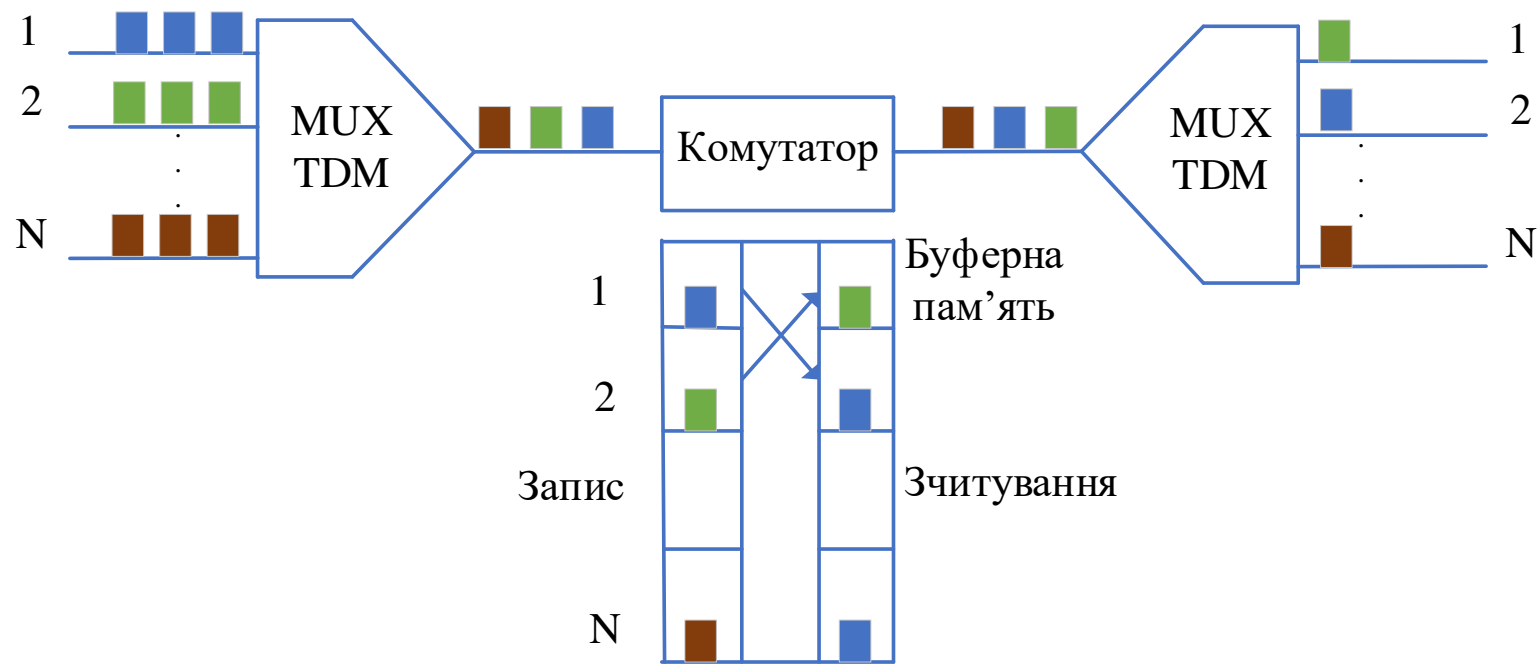


Рисунок 1 – Схема зв'язку з комутацією каналів

# Еволюція загальнотехнологічних телефонних мереж

Перше покоління	→	Система зв'язку з повністю ручним керуванням. Сигнали передавались через трансформатори
Друге покоління	→	Автоматичні розподільні щити з синхронною комутацією каналу. Сигналізація та тарифікація здійснювались через імпульси струму, які генерувалися перемиканням елементів реле
Третє покоління	→	Асинхронні комутаторами. Передача сигналів відбувалася за допомогою сигналів частоти сигналізації, які передавались разом з викликом. Сигналізація була автоматизована, і основною перевагою стало підвищення незалежності використовуваної платформи
Четверте покоління	→	Повний перехід до напівпровідникових пристроїв. Телефонний сигнал все ще передавався в аналоговій формі
П'яте покоління	→	Перший етап цифрових систем комутації. Перехід на мультиплексування за часом.
Шосте покоління	→	Технологія ISDN. Передача голосових та інших даних через один канал

# Перехід від традиційної телефонної мережі до мереж IP телефонії

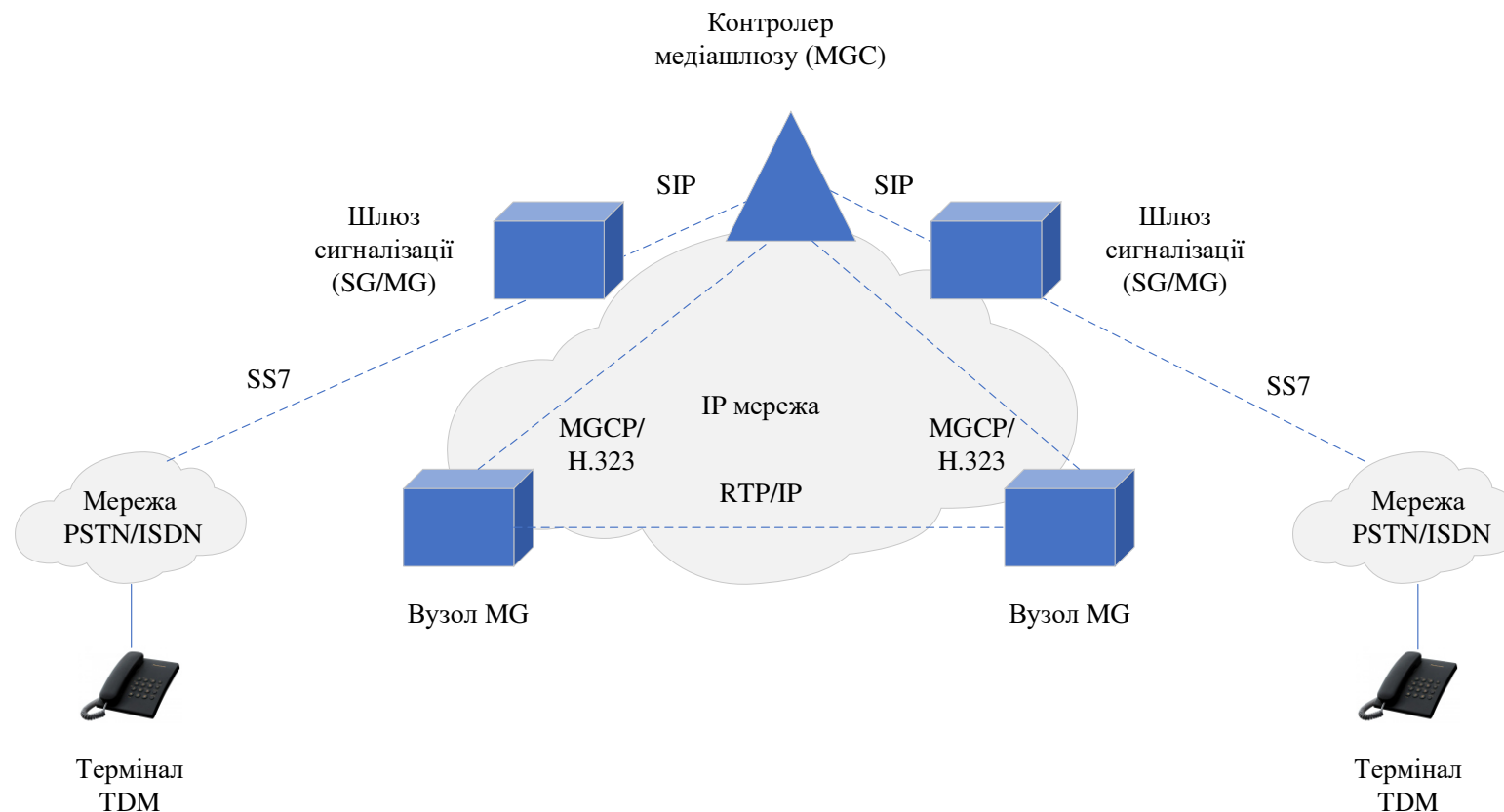


Рисунок 2 – Схема інтеграції мереж IP телефонії з традиційною телефонною мережею

## Протоколи та кодеки в архітектурі IP телефонії

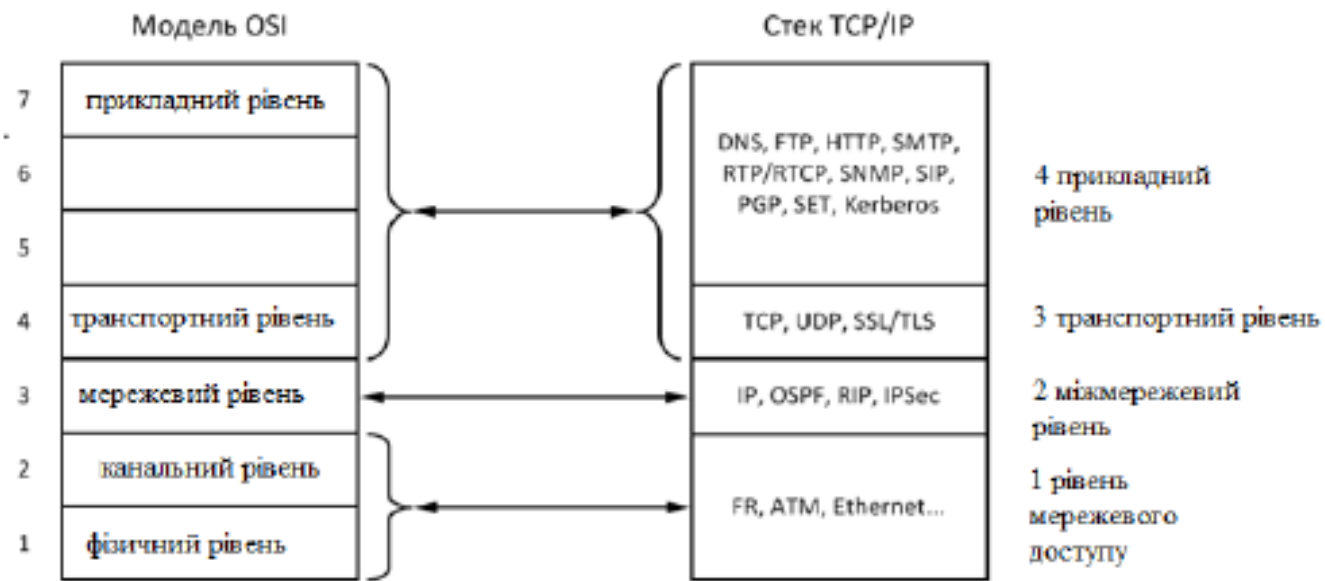


Рисунок 4 – Взаємозв'язок моделі OSI та стеку протоколів TCP/IP

# Протоколи та кодеки в архітектурі IP телефонії

Таблиця 1 – Параметри основних кодеків IP телефонії

Кодеки	Алгоритми	Швидкість передачі, кбіт/с	MIPS	Затримка, мс	MOS
G.711	MP-MLQ	6,3	6,3	30	3,9
G.711	ACELP	5,3	20	30	3,65
G.726	ADPCM	32	1	1	3,85
G.728	LD-CELP	16	30	3-5	3,61
G.729.A	CS-ACELP	8	11	10	3,7
G.729	CS-ACELP	8	20	10	3,92

# Методика розрахунку параметрів потоку даних в мережі на основі технології IP телефонії

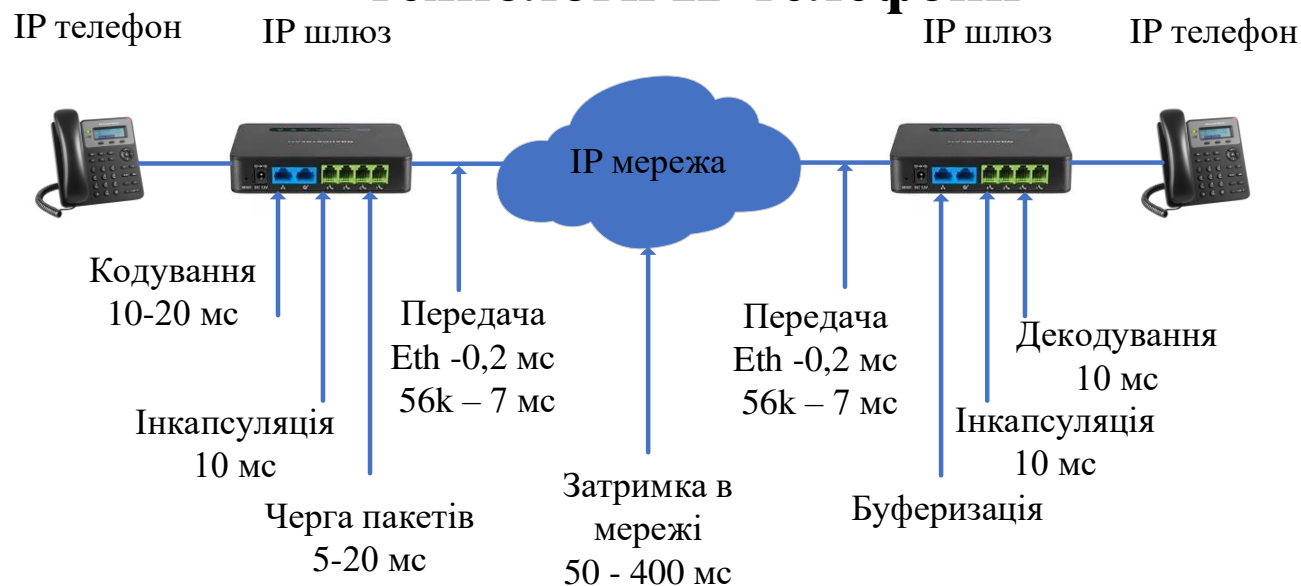


Рисунок 5 – Модель IP мережі із затримками

$$T = (1 + 0,1 \cdot N)(N + 1) \cdot T_{alg} + T_{comp} \cdot \frac{8 \cdot P_S}{C_w} + \sum_{i=1}^5 \frac{L_i}{v} + \sum_{i=2}^5 T_{PRi} + T_{Dj} + T_{DPD} + \frac{1}{2} \sum_{i=2}^5 \left[ \frac{P_S + H L_i + L_{Si} \cdot T_{Si}}{P_{Si}} \right]$$

# Методика розрахунку параметрів потоку даних в мережі на основі технології IP телефонії

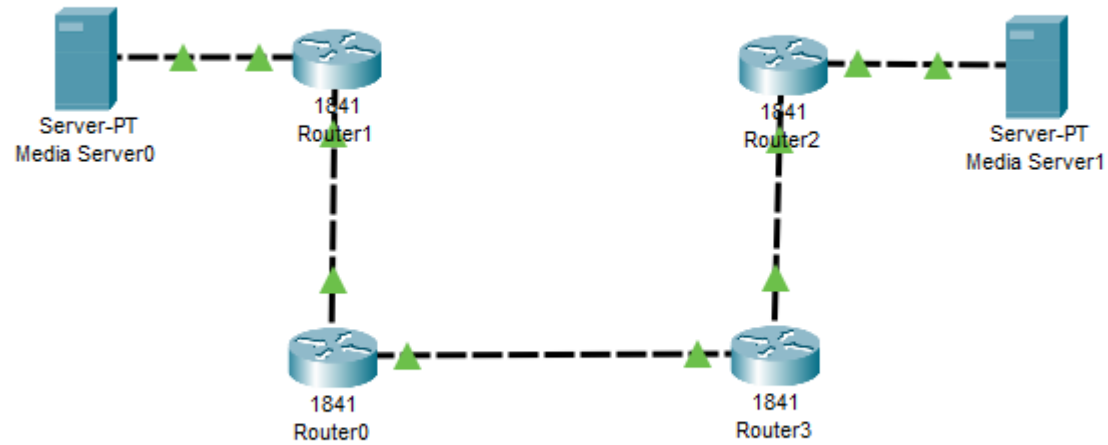


Рисунок 6 – Програмна модель IP мережі

```
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=150ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=143ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=143ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=146ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=152ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=144ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=143ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=143ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=151ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=143ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=143ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=144ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=151ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=143ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=151ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=150ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=150ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=151ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=146ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=143ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=143ms TTL=116
Reply from 98.142.239.91: bytes=32 time=151ms TTL=116

Ping statistics for 98.142.239.91:
    Packets: Sent = 30, Received = 30, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 143ms, Maximum = 152ms, Average = 146ms
```

Рисунок 7 – Дослідження процесу передачі пакетів в IP мережі

## Висновки

### *Основні результати роботи включають:*

- Аналіз архітектури та технічного складу мереж IP телефонії, що дозволило виявити ключові елементи, такі як кодеки, протоколи та компоненти для забезпечення якості обслуговування. Виявлено, що IP телефонія дозволяє інтегрувати різні типи мультимедійного трафіку, забезпечуючи гнучкість та зниження витрат на комунікацію.
- Розробку методики розрахунку параметрів потоку даних, включаючи затримку, джиттер, пропускну здатність та інші фактори, що впливають на якість передачі голосового сигналу. Методика дозволяє розрахувати затримки на кожному етапі обробки пакета та оцінити їхній сумарний вплив на якість зв'язку.
- Поглиблений аналіз забезпечення якості обслуговування у мережах IP телефонії, включаючи механізми пріоритетності, використання черг та буферизації. Було показано, що ефективне управління трафіком і надання пріоритету голосовому трафіку є ключовими для забезпечення високої якості зв'язку.
- Використання математичної моделі для прогнозування затримок і пропускну здатності в мережі IP телефонії. Дослідження показало, що за умови високої кількості одночасних з'єднань результати моделі наближуються до реальних показників із високою точністю. Це дозволяє прогнозувати поведінку мережі в умовах різного навантаження і забезпечити належну якість зв'язку.