

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

## **Пояснювальна записка**

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: **“ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІРТУАЛЬНОЇ АТС В  
ДІЯЛЬНОСТІ КОМПАНІЇ ТОВ «БІНОТЕЛ»”**

Виконав: студент 6 курсу, групи РТДМ-61  
спеціальності 172 Телекомунікації і  
радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

**Шульга О.А.**

(прізвище та ініціали)

Керівник **Дакова Л.В.**

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Київ - 2019

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Кафедра	Мобільних та відеоінформаційних технологій
Ступінь вищої освіти	Магістр
Спеціальність	172 Телекомунікації і радіотехніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри МВТ

В.І. Кравченко

\_\_\_\_\_ 2019 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Шульзі Олександрю Андрійовичу

1. Тема роботи: “Дослідження параметрів віртуальної АТС в діяльності компанії ТОВ «Бінотел»”, керівник роботи Дакова Лариса Валеріївна, доцент кафедри МВТ, затверджені наказом вищого навчального закладу від 14.11.2019 року №518.
2. Строк подання студентом роботи 20.12.2019 р.
3. Вихідні дані до роботи:
  1. Класичні телефонні мережі, віртуальна АТС;
  2. Генерація систем комутації мережах передачі голосу.
  3. Інтеграція VoIP-мережі з існуючою телефонною інфраструктурою, затримки у VoIP-мережах.
  4. Науково-технічна література.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
  1. Огляд підходів до структурної будови телефонних систем різного типу.
  2. Дослідження характеристик голосового трафіку в мережах передачі даних і впливу підключеної інфраструктури на якість зв'язку.
  3. Проведення розрахункової роботи і моделювання впливу затримок на якість передачі сигналу в мережах VoIP.

5. Перелік графічного матеріалу (назва слайдів презентації):

1. Мета роботи;
2. Вступ;
3. Можливості віртуальної АТС;
4. Взаємний вплив чинників, що визначають якість передачі мови;
5. Недоліки методу комутації пакетів
6. Схеми стиснення звукових даних;
7. Схема організації телефонної мережі для компанії-клієнта;
8. Схема тестування VoIP-шлюза;
9. Висновки.

6. Дата видачі завдання 02.09.2019 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір науково-технічної літератури	03.10.19	
2.	Огляд теоретичних відомостей щодо розвитку комутаційних систем.	21.10.19	
3.	Дослідження структури VoIP-мереж.	12.11.19	
4.	Вибір рішень щодо модернізації телефонної інфраструктури шляхом впровадження віртуальної АТС, розрахування параметрів мережі.	26.11.19	
5.	Висновки, вступ, реферат	10.12.19	
6.	Розробка презентації	15.12.19	

**Студент**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Шульга О.А.**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Дакова Л.В.**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

# ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА

по магістерській кваліфікаційній роботі

Студента Шульги Олександра Андрійовича

**на тему: «ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІРТУАЛЬНОЇ АТС В ДІЯЛЬНОСТІ КОМПАНІЇ ТОВ «БІНОТЕЛЬ»**

**Актуальність:**

За останні роки сфера телекомунікаційних технологій зайняла дуже важливе місце в сучасному суспільстві. Телефонія використовується в усіх сферах і є важливим інструментом не тільки для пересічного користувача, а, більше, навіть для компаній. IP-телефонія є прогресивним засобом в корпоративному середовищі, де вже майже повністю витіснила мобільний зв'язок.

Тому магістерська робота студента, що присвячена дослідженню параметрів в мережах віртуальної телефонії, є актуальною і своєчасною.

**Позитивні сторони:** Робота дозволяє досить повно оцінити загальну характеристику, сутність та структуру поставленої проблеми. Розглянуто структуру VoIP-мереж, яка дає розуміння як в подальшому її можна застосувати. Здійснено розрахунки затримок різного роду та зроблено висновок, що узагальнює і відображає середнє значення всіх розрахованих параметрів.

**Недоліки:**

1. Робота не дає чіткого пояснення щодо удосконалення вже існуючих систем IP-телефонії.
2. В оформленні роботи наявні незначні структурні розбіжності.

**Висновки:**

Незважаючи на дрібні недоліки магістерська кваліфікаційна робота заслуговує оцінку відмінно, а студент Шульга Олександр Андрійович - присвоєння кваліфікації інженер стільникового мережевого зв'язку, викладач вищих навчальних закладів.

Якість проекту (роботи)	
Виконано на замовлення підприємства	
Виконано за тематикою НДР	
Виконано з макетом	
Виконано з застосуванням ЕОМ та МПТ	√
Має практичну цінність	√
Проект-частина комплексної теми	

Підпис рецензента

(    ПІБ    )

# ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

## ПОДАННЯ ГОЛОВІ ДЕРЖАВНОЇ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ ЩОДО ЗАХИСТУ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Направляється студент Шульга О.А. до захисту магістерської роботи  
(прізвище та ініціали)  
за спеціальністю 172 Телекомунікації і радіотехніка  
(шифр і назва спеціальності)  
на тему: «Дослідження параметрів віртуальної АТС в діяльності компанії ТОВ «Бінотел»»

Магістерська робота і рецензія додаються.

Директор інституту \_\_\_\_\_ Мельник Ю.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

### Довідка про успішність

Шульга О.А. за період навчання в Навчально-науковому інституті телекомунікацій  
(прізвище та ініціали)  
з 2018 року до 2019 року повністю виконав (ла) навчальний план за напрямом підготовки,  
спеціальністю з таким розподілом оцінок за:  
національною шкалою: відмінно \_\_\_\_\_%, добре \_\_\_\_\_%, задовільно \_\_\_\_\_%;  
шкалою ECTS: A \_\_\_\_\_%; B \_\_\_\_\_%; C \_\_\_\_\_%; D \_\_\_\_\_%; E \_\_\_\_\_%.

Провідний фахівець інституту \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

### Висновок керівника магістерської роботи

Студент Шульга Олександр Андрійович показав гарну теоретичну та інженерну підготовку, уміння володіти новими комп'ютерними технологіями, користуватися навчальною, довідковою і науково-технічною літературою, в тому числі рекомендаціями МСЕ. Працюючи над завданнями, які доручались керівником, проявив ініціативність, сумлінність та хист до інженерної роботи.

Магістерська робота виконана на високому рівні і заслуговує оцінку "відмінно", а студент Шульга Олександр Андрійович - присвоєння кваліфікації «інженер стільникового мережевого зв'язку, викладач вищих навчальних закладів.»

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Дакова Л.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

«    » \_\_\_\_\_ 2019 року

### Висновок кафедри про магістерську роботу

Магістерську роботу розглянуто. Студент Шульга О.А.  
(прізвище та ініціали)

допускається до захисту даної роботи в Державній екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри  
Телекомунікаційних технологій \_\_\_\_\_ Кравченко В.І.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

«    » \_\_\_\_\_ 2019 року

## РЕФЕРАТ

Текстова частина магістерської роботи: 68 сторінок, 8 рисунків, 1 таблиця, 29 джерел.

*Об'єкт дослідження* – віртуальна АТС на базі систем цифрового зв'язку загального користування.

*Предмет дослідження* - математична модель впливу затримок на різні ланки мережі.

*Мета роботи* – збір теоретичного матеріалу, щодо проблем пов'язаних з побудовою мереж IP-телефонії, зосередження уваги на затримках, - проблемах, які суттєво впливають на кінцеву якість з'єднання в мережах VoIP . Забезпечення детального вивчення природи та механізмів затримок методом аналітичних розрахунків і побудови математичної моделі, розв'язання комплексу науково-технічних питань, пов'язаних з побудовою віртуальної мережі на базі віртуальної АТС Бінотел, аналіз технічних рішень і технологічної доцільності розширення корпоративної телефонної мережі на основі технологій IP-телефонії.

*Методи дослідження:* методи теорії інформації, аналітичний метод, методи теорії системного аналізу, метод моделювання.

Для практичного проектування будуть створені моделі, які відображатимуть функціональні можливості і недоліки різних ланок в мережі. Практична частина дипломної роботи спирається на знання з попередньої теорії.

На підставі визначеного будуть висунуті вимоги до впровадження технології VoIP. Частина тематичних досліджень – це впровадження технології в компанії та перехід її на передачу голосових даних по мережевому трафіку.

*Галузь використання* – сучасні системи хмарної IP-телефонії в Україні.

ВІРТУАЛЬНА АТС, IP-ТЕЛЕФОНІЯ, VOIP-ЗВ'ЯЗОК, КОМУТАЦІЯ ПАКЕТІВ, БАГАТОКАНАЛЬНІСТЬ, КОДУВАННЯ, МЕРЕЖА ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ, КОРПОРАТИВНА ТЕЛЕФОННА МЕРЕЖА, ІНТЕГРАЦІЯ, SIP-ПРОТОКОЛ, КОДЕК, ШЛЮЗ, ДЖИТТЕР, ЗАТРИМКА, ПРОТОКОЛИ СТЕКУ TSP/IP.

# ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	10
ВСТУП .....	12
1. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ РОЗВИТКУ VOIP-ТЕЛЕФОНІЇ .....	15
1.1. Основні компоненти класичної телефонної мережі .....	15
1.2. Принцип зв'язку в класичній телефонній мережі .....	16
1.3. Сучасна загальновикористовувана телефонна мережа .....	19
1.4. Структура класичної телефонної мережі в Україні .....	19
1.5. Загальна розробка комутаційних систем .....	20
1.6. Генерація систем комутації та передачі в телефонії .....	21
1.7. Безпекова складова в мережах IP-телефонії.....	26
2. АРХІТЕКТУРА І КОМПОНЕНТИ МЕРЕЖІ VOIP.....	30
2.1. Архітектура IP-телефонії.....	30
2.1.1. Розподілена архітектура .....	30
2.1.2. Централізована архітектура .....	30
2.2. Основні компоненти мережі VoIP.....	31
2.2.1 Середовище VoIP .....	33
2.3. Функціонал та переваги технології VoIP .....	34
2.3.1 Додаткові (розширені) функції VoIP.....	36
2.4.1. Протоколи VoIP.....	37
2.4.2. Кодеки.....	38
2.5. Налаштування QoS для VoIP-з'єднань.....	40
2.6. Технічні рішення щодо забезпечення QoS через IP-мережі.....	43
2.7. Технічні аспекти впровадження VoIP в компанії .....	44
2.7.1. Асиметричне з'єднання ADSL/VDSL і симетричне з'єднання SHDSL...44	
3. РОЗРАХУНКИ ВПЛИВУ ЗАТРИМОК НА VOIP-ТЕЛЕФОНІЮ.....	47
3.1. Затримка кодека в середовищі IP.....	49
3.2. Затримка пакетизації.....	49
3.3. Затримка обробки .....	50
3.4. Варіація пропускнуої здатності.....	50
3.5. Затримка серіалізації.....	52
3.6. Затримка розповсюдження.....	52
3.7. Затримка De-Jitter.....	53
3.8. Затримка депакетизації.....	54

3.9. Затримка декомпресії.....	54
3.10. Затримка маршрутизації.....	55
3.11. Характеристика загальної затримки маршрутизатора.....	55
3.12. Постійна математична модель, загальна затримка в мережі VoIP.....	60
ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	65
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ .....	68



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ADPCM	адаптивна імпульсно-кодова модуляція ADPCM
AES	розширений стандарт шифрування (Advanced Encryption Standard)
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
WAN	Wide Area Network
ADSL	асиметрична цифрова абонентська лінія
VDSL	цифрова абонентська лінія з дуже високою швидкістю
IPv4	Internet Protocol version 4
IPv6	Internet Protocol version 6
ТМЗК	телефонна мережа загального користування
КТМ	корпоративна телефонна мережа
MP	Multipoint Processor
МПД	мережа передачі даних
LAN	Local Area Network
ЛОМ	локальна обчислювальна мережа
PBX	Private Branch Exchange
ЦМІО (ISDN)	цифрова мережа інтегрального обслуговування
PSTN	публічна комутаційна телефонна мережа
SLA	угода про рівень обслуговування
TDM	мультиплексування по часу
FXS	Foreign Exchange Station

FXO	Foreign eXchange Office
GSM	Global System for Mobile Communications
PoE	Power over Ethernet
TCP	Transmission Control Protocol
RTP	Real-time Transport Protocol
RJ11	Registered Jack №11 (Зареєстрований роз'єм №11)
RJ45	Registered Jack №45 (Зареєстрований роз'єм №45)
SDP	Session Description Protocol
SIP	Session initiation protocol
STP	точка передачі сигналу
VoIP	voice over IP
FMC	Fixed Mobile Convergence
CRM	Customer relationship management
ATC	автоматизована телефонна станція
BATC	віртуальна автоматизована телефонна станція
QoS	якість обслуговування (Quality of Service)

## ВСТУП

За 140 років розвитку телефонія стала невід'ємною частиною життя людей на планеті. Якісна телекомунікаційна та мережева інфраструктура передачі інформації є важливою функцією економіки кожної країни.

Мобільний стільниковий зв'язок пов'язаний з найдавнішою класичною телефонією кінця ХХ століття. З винаходом Інтернету відбувається паралельно оцифровка класичної телефонії, що розвиває інфраструктуру мережі передачі даних. Практична можливість повної інтеграції голосу і даних поверх загальної інфраструктури обчислювальних мереж привела до появи так званої «пакетної телефонії» - технології передачі аналогових телефонних сигналів по мережах передачі даних. Злиття двох окремих інфраструктур телекомунікаційної та мережі передачі даних називається терміном конвергенції. Цей процес в основному мотивований технологіями та економічними причинами.

Розгортання VoIP-телефонії сьогодні є частим рішенням, особливо в корпоративних умовах. Можливість вибору технології передачі та відносно невибагливе розширення існуючої ділової мережі є причинами цього рішення. Не лише підприємства, але й домогосподарства та окремі користувачі можуть використовувати VoIP-додаток, що дає змогу значно заощадити на іноді завищених послугах класичних операторів телефонії.

Основна мета роботи – зібрати теоретичні дані, щодо проблем пов'язаних з побудовою мережі IP-телефонії, зробити вибір найбільш ефективних кодеків для обробки голосових даних, для реалізації всіх функціональних можливостей дослідити основні параметри, такі як затримки в мережах, які можуть впливати на якість передачі голосових даних, провівши чисельні обрахунки.

Будуть пояснені функції окремих компонентів та принципи протоколів передачі голосу в мережі передачі даних. Наступним кроком буде опис кодеків, які будуть слугувати для обробки голосових даних. Вибір VoIP рішення для передачі голосового трафіку в мережі невеликої компанії буде обгрунтовано з технічної точки зору порівняно з класичною телефонією.

Користувачі Інтернет-телефонії повинні знати про класичну телефонію, що є фундаментом знань для розуміння принципу VoIP. Робота також спрямована на підтримку технічних працівників та всіх людей, які вивчають питання VoIP-телефонії. Для користувачів це може бути розширенням знань у цій галузі.

Тема дипломної роботи, яка присвячена дослідженню функціональних характеристик віртуальної АТС, розробці унікальних рішень та багатокритеріальній оптимізації і розрахунку параметрів телефонії є актуальною.

Не достатньо проаналізовані методи поліпшення показників якості зв'язку IP-телефонії, які впливають на ефективність проектування і реалізацію таких мереж. Потребують вдосконалення методики мінімізації затримок і спотворення сигналу в IP-мережах для кінцевого абонента. Не достатньо проаналізовані методи оптимізації безперервного надання послуг зв'язку в IP-телефонії, а саме створення різних ступенів захисту серверного обладнання, які дозволятимуть при відмові одного сервера користуватись іншими до відновлення першого.

Вирішуються такі задачі:

- проведення теоретичного аналізу щодо розвитку телефонії як явища і її дослідження як ефективного інструменту для бізнес-сегменту, розробка рекомендацій щодо реалізації параметрів IP-телефонії в мережах зв'язку України;
- визначення основних параметрів якості в мережах IP-телефонії, необхідних для їх оптимального проектування; порівняння методів забезпечення якості обслуговування;
- здійснення аналізу характеристик і проведення обчислень, які пов'язані з дослідженням ефективності даної технології.

*Перший розділ* присвячений розвитку класичної АТС, на основі якої відбувся технічний прогрес. Порівняно підходи до створення корпоративної телефонної мережі. Детально описано генерації цифрових АТС, переваги і недоліки кожної з них, що дає нам можливість зробити оцінку потреби в віртуальних мережах. Зроблено огляд характеристик мереж і їх сумісність на предмет підключеного обладнання.

У *другому розділі* визначено, яких рівнів якості надання послуг можна

досягти з урахуванням використаних технологічних можливостей. Досліджено, як погіршується зв'язок при користуванні різним вузловим обладнанням, наприклад, шлюзами; як кінцеве обладнання і характеристики мережі впливають на якість зв'язку в IP-телефонії. Також описано методи забезпечення якості обслуговування і характеристики продуктивності мережевого обладнання.

*У третьому розділі* розраховано параметри різних варіацій затримок в мережі при її інтеграції з уже наявною телефонною інфраструктурою. Досягнуто результатів, які відображають точність значень, отриманих з математичної моделі.

Проведено узагальнення до загальної моделі, яка виражає усереднене значення всіх параметрів і дає бачення комплексної функціональної характеристики для впроваджуваної мережі.

## **1 ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ РОЗВИТКУ VOIP-ТЕЛЕФОНІЇ**

VoIP – це технологія передачі голосу в мережі передачі даних на основі протоколу IP. В загальному розумінні використовується поняття Інтернет-телефонія або IP-телефонія, які є іншими синонімами VoIP [1].

Цей механізм також визначає спосіб передачі голосових потоків, включаючи оцифрування і подальшу пакетизацію. Мережа даних (комп'ютерна) стає загальним середовищем передачі голосу. Більш ефективно використання шляхів передачі призводить до так званої конвергованої мережі, де голосовий трафік проходить разом з іншими даними через мережу з комутацією пакетів. Спочатку у випадку класичної телефонії фізичний шлях встановлювався для голосу, у випадку IP-телефонії створюється лише логічний зв'язок між приймальною і передавальною сторонами. Для передачі потрібно перетворити голос відправника в цифрову форму, а з іншого боку, одержувач для отримання цього голосу в оригіналі після розкодування має отримати в найменш спотвореному і незмінному вигляді. В даний час це рішення є альтернативою звичайній телефонії, яка будується в окремих мережах з комутацією каналів. В обох технологіях багато спільного і працюють вони аналогічно [2].

Отже, для розуміння принципу передачі голосу через комп'ютерну мережу потрібно спочатку описати функцію класичної телефонії.

### **1.1 Основні компоненти класичної телефонної мережі**

Для здійснення телефонного зв'язку між віддаленими користувачами телефонної мережі необхідно спочатку скласти шлях передачі. Для цього потрібно, щоб пристрої кінцевих користувачів з'єдналися через телефонні станції.

Основними компонентами звичайної телефонної мережі є термінальні пристрої (телефони, факси тощо), які підключаються до телефонної станції за допомогою локальної петлі. Петля, як правило, пара кручених провідників, що в телефонії називають a-провідником і b-провідником.

Перемикач АТС з'єднує локальний цикл виклику та сторони, що викликаються, набравши номер телефону пункту призначення. Вимикачі з'єднують між собою з'єднувальні канали, які здатні передавати кілька одночасних дзвінків.

## **1.2 Принцип зв'язку в класичній телефонній мережі**

Після підняття слухавки, витікає струм і закривається локальний цикл для того, щоб підключити абонента, що дзвонить, до комутатора АТС. Абонент, що телефонує, повідомляє про це з'єднання за допомогою сигналу циклу - отриманням сигналу набору. Іншими варіантами інформації про стан дзвінка можуть бути, наприклад, зайняті тони, помилка, або сигнал про те, що лінія звільнилась.

Набравши номер телефону викликаного абонента, відбувається адресна сигналізація для встановлення шляху виклику. Інформація про викликаний номер для перемикача АТС надсилається пристроєм абонента у форматі імпульсу чи тону. Принцип більш старого імпульсного набору полягав у формуванні викликаного номера, коли набір телефонного апарата повертався у вихідне положення. Це призводить до розриву релейних контактів в локальній схемі циклу. Новіший варіант DTMF1 використовує комбінацію двох генерованих частот залежно від набраного номера на клавіатурі пристрою [5]. Після того, як комутатор АТС знайде і встановить шлях зв'язку, шляхи передачі між АТС будуть з'єднані між собою. Сторона, що викликається, приймає сигнал дзвінка, навіть якщо ланцюг постійного струму -48В відкритий (на гачку). Це пов'язано з підключенням до ланцюга конденсатора змінного струму. У випадку відповіді викликаної сторони з'єднується шлях між абонентами і починається дзвінок. Відключення одного з абонентів перериває локальний цикл і розриває з'єднання. Загальний принцип цього телефонного зв'язку схожий на різних етапах розвитку

класичної телефонії до сучасності.

Комутація каналу - це спосіб реалізації телекомунікаційної мережі, в якій два вузли мережі встановлюють виділений канал (ланцюг) зв'язку через мережу, перш ніж вузли можуть зв'язатися. Схема гарантує повну пропускну здатність каналу і залишається підключеною протягом тривалості сеансу зв'язку. Схема функціонує так, ніби вузли були фізично пов'язані, як з електричним ланцюгом.

Визначальним прикладом мережі з комутованою схемою є рання аналогова телефонна мережа. Коли дзвінок здійснюється з одного телефону на інший, комутатори всередині телефонних станцій створюють безперервний провід між двома телефонами на тривалість дзвінка.

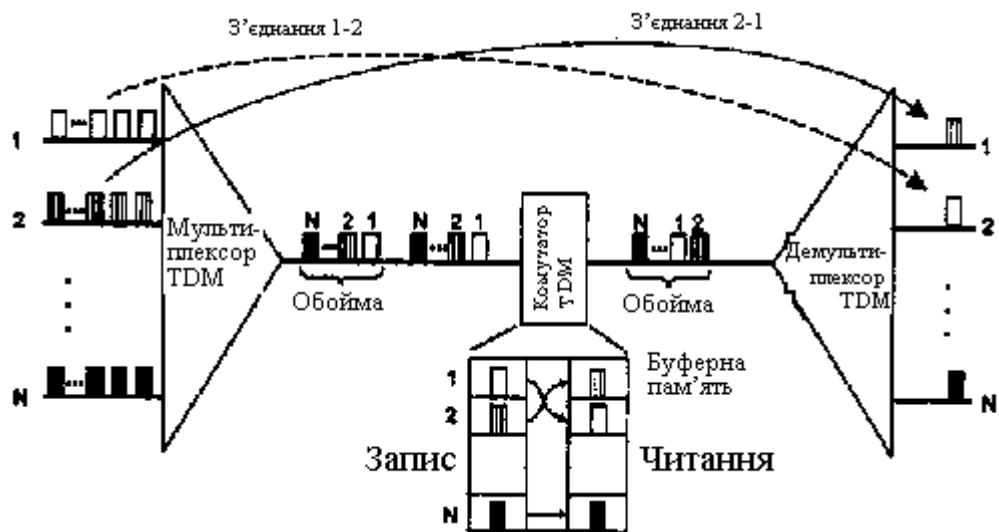


Рис.1.1. Комутація каналів

Комутація ланцюга контрастує з комутацією пакетів, яка розділяє дані, що підлягають передачі, на пакети, що передаються через мережу незалежно. При комутації пакетів, замість того, щоб присвячуватися одному сеансу зв'язку одночасно, мережеві послання спільно використовуються пакетами з кількох конкуруючих сеансів зв'язку, що призводить до втрати гарантій якості обслуговування, які надаються комутацією ланцюга.



При комутації ланцюгів бітова затримка є постійною під час з'єднання, на відміну від комутації пакетів, де черги пакетів можуть спричиняти різні та потенційно невизначено довгі затримки передачі пакетів. Користувачі не можуть погіршити з'єднання ланцюга, оскільки він захищений від використання іншими абонентами до моменту виходу ланцюга та встановлення нового з'єднання. Навіть якщо фактичного спілкування не відбувається, канал залишається зарезервованим та захищеним від конкуруючих користувачів.

Перемикання віртуальної схеми - це технологія комутації пакетів, яка емулює комутацію ланцюгів, в тому сенсі, що з'єднання встановлюється до передачі будь-яких пакетів, і пакети доставляються в порядку.

Хоча комутація ланцюга зазвичай використовується для підключення голосових ланцюгів, концепція виділеного шляху, що зберігається між двома комунікаційними сторонами або вузлами, може бути поширена на інші сигнали, окрім голосу. Перевага використання схеми комутації полягає в тому, що вона забезпечує постійну передачу без накладних витрат, пов'язаних з пакетами, максимально використовуючи доступну пропускну здатність для цього зв'язку. Один недолік полягає в тому, що він може бути відносно неефективним, оскільки невикористана ємність, гарантована до з'єднання, не може бути використана іншими з'єднаннями в тій самій мережі.

У традиційній телефонії з'єднання відбувається за допомогою телефонної станції і переслідує виключно мету розмови. Тут голосові сигнали передаються по телефонних лініях, через виділене підключення. У разі ж IP-телефонії, стислі пакети даних поступають в глобальну або локальну мережу з певною адресою і передаються на основі даної адреси. При цьому використовується вже IP-адресація, з усіма притаманними їй особливостями (такими як маршрутизація).

### **1.3 Сучасна загальновикористовувана телефонна мережа**

Загальнодоступна комутаційна телефонна мережа (PSTN) - це сукупність технологій та пристроїв, що надають загальнодоступні телефонні послуги. У нашій країні також використовується термін уніфікована телефонна мережа (далі - УТФ). Інфраструктура та макет мережі гарантують підключення будь-якого абонента цієї мережі незалежно від відстані. Зв'язок відбувається між термінальними пристроями, підключеними до загальнодоступних телефонних станцій. Зокрема, мережа PSTN забезпечує послугу передачі голосу в режимі реального часу, використовуючи комутовані схеми. PSTN також включає загальнодоступну мобільну мережу, що використовує цифрову технологію GSM2, засновану на стільникових мобільних радіотелефонних системах [4].

Географічно загальнодоступна телефонна мережа може бути поділена на міжнародну та національну. Міжнародні мережі з'єднують національні мережі через міжнародні транзитні канали та схеми. Потім національна мережа кожної країни поділяється на кілька рівнів відповідно до розміру країни, типу мережі, використовуваної технології тощо.

Термінальні пристрої загальнодоступної телефонної мережі, незалежно від того, підключені до стаціонарної, мобільної чи віртуальної мережі, мають фіксовані номери. Присвоєні числові адреси задаються планом нумерації національної мережі кожної країни та є унікальними. [5]

### **1.4 Структура класичної телефонної мережі в Україні**

Сучасна архітектура мережі, що складається з класичних автоматичних телефонних станцій, має трирівневу ієрархію в Україні. Її верхній шар складається з декількох транзитних телефонних станцій - основних пунктів з'єднання магістральної телефонної мережі. Другий шар складається з понад 140 місцевих

вузлів (HOST). Користувацькі термінали підключаються до хостів через тисячі локальних петель.

Локальні петлі - це переважно пари взаємно скручених дротів. Такі фізичні властивості, як загасання та ємність між лінійними провідниками, викликають ослаблення передаваного сигналу. Тому локальні петлі не можуть бути занадто довгими. Це близько кілометра. Однак зазвичай лінія не довше п'яти кілометрів. Третя частина ієрархії складається приблизно з трьох тисяч локальних телефонних комутаторів, які також називають RSU. Це невеликі розподільні щити, кожен з яких містить сотні учасників, які з'єднують петлі в населених пунктах менших міст та сіл.

Велика та економічно важлива частина - приватна телефонна мережа, що належить компаніям, установам, а тепер і домогосподарствам. Це групи термінального обладнання підключені до власної приватної філії (АТС), яка через свій інтерфейс дозволяє підключитися до мережі загального телефонного зв'язку. [6]

### **1.5 Загальна розробка комутаційних систем**

Звичайна телефонія пройшла основні етапи технічних рішень для комутаційних систем та технологій передачі. Збільшення трафіку між АТС змушує телефонні компанії розробляти засоби передачі інформації, які можуть одночасно передавати велику кількість дзвінків, зменшуючи при цьому кількість фізичних ліній між АТС.

Основне завдання комутаційних систем - забезпечити підключення вводу та виходу через поле комутації або за допомогою комутатора [4].

З точки зору технічної розробки комутаційних вимикачів системи комутації можна розділити так:

- системи з просторовим перемиканням (селектор, з поперечними

перемикачами);

- цифрові з тимчасовим взаємозв'язком;
- комутація пакетів.

## **1.6 Генерація систем комутації та передачі в телефонії**

Незважаючи на різні гібридні рішення між поколіннями, системи комутації додатково поділяються відповідно до історичного розвитку на системи від нуля до п'ятого покоління, як зазначено [3].

Покоління 0 - це система зв'язку з повністю ручним керуванням та маршрутизацією оператором. Коли абонент зателефонував, оператор встановив шлях передачі, з'єднавши штекери на панелі. Виклик проводили два провідники, для яких досі використовується а-провідник, б-провідник. Сигнали передавались через трансформатори. Спотворення та ослаблення переданого сигналу впливають на тривалість маршруту передачі між абонентами телефонного зв'язку, яка становить максимум до десяти кілометрів.

Покоління 1 належало до автоматичних розподільних щитів із синхронною комутацією каналу. Електромеханічна система вибору ступенів синхронного поля з'єднання була представлена в основному типом TESLA P51. Сигналізація та тарифікація забезпечувались імпульсами струму, що генеруються перемиканням елементів реле. Аналогову передачу по маршруту забезпечували підсилювачі та передавачі для усунення спотворень і шуму. Недоліками технології цього покоління були низька кількість поточних дзвінків, що передаються, низький інтелект взаємозв'язку міжміських дзвінків, низька якість передачі та відносно висока швидкість відмов. Тим не менш, це покоління кріпильних систем залишилося в нашій країні до кінця 1980-х.

Покоління 2 характеризує асинхронні комутаційні комутатори за допомогою

електромеханічних поперечних комутаторів (наприклад, типи TESLA PK202, PK201, PK22 або PK21). Передача імпульсів струму сигналізації по дротах а, б було замінено на сигнали частоти сигналізації, які були сформовані та передані разом із викликом. Сигналізація посилювалася автоматично, і великою перевагою була незалежність платформи, що використовується в способі комунікації. Менш надійні, але більш гнучкі транзисторні підсилювачі реалізовані в системі віддаленої передачі.

Покоління 3 - це панелі управління, що повністю базуються на реалізації напівпровідникових пристроїв. Поле комутації вже повністю електронне, що значно знизило рівень відмов панелей управління. Протягом 1980-х років представниками цих систем були, наприклад, 2N Ateus, Omega або TESLA UE20. Панелі управління цих типів мали менші габарити, зменшилося споживання, а також зменшилися витрати на нагляд та обслуговування людьми. Ще одна серйозна проблема - несумісність різних АТС між собою. Переданий телефонний дзвінок все ще знаходиться в аналоговій формі на всьому протязі сигналу. Фізичний носій передачі складався з чотирьох скручених проводів, до 40 в кабелі. Це дозволило використовувати технологію мультиплексної передачі частоти.

Мультиплексування частотного поділу – (далі - FDM) полягає в модуляції мовної смуги частот до іншої вищої смуги. У мультиплексорі аналоговий сигнал зміщується з вхідних каналів в інший частотний діапазон, щоб уникнути перекриття смуг. Сигнали, зміщені по частоті, можуть бути підсумовані (об'єднані) в один більш широкий канал для здійснення лінії передачі. З іншого боку, виконується зворотна процедура. За допомогою демультіплексора окремі підсигнали відокремлюються та повертаються в початковий діапазон частот [8].

Метою FDM є зайняти невикористані смуги частот телефонної лінії і таким чином зберегти ємність пакетів між станціями обміну. Кабелі з крученою парою здатні передавати сигнали на частоті до 100 кГц. Недоліком є високе загасання і обмеження передачі верхньої використовуваної частоти. Цей принцип пояснено у спрощеному вигляді на рисунку 1.2.

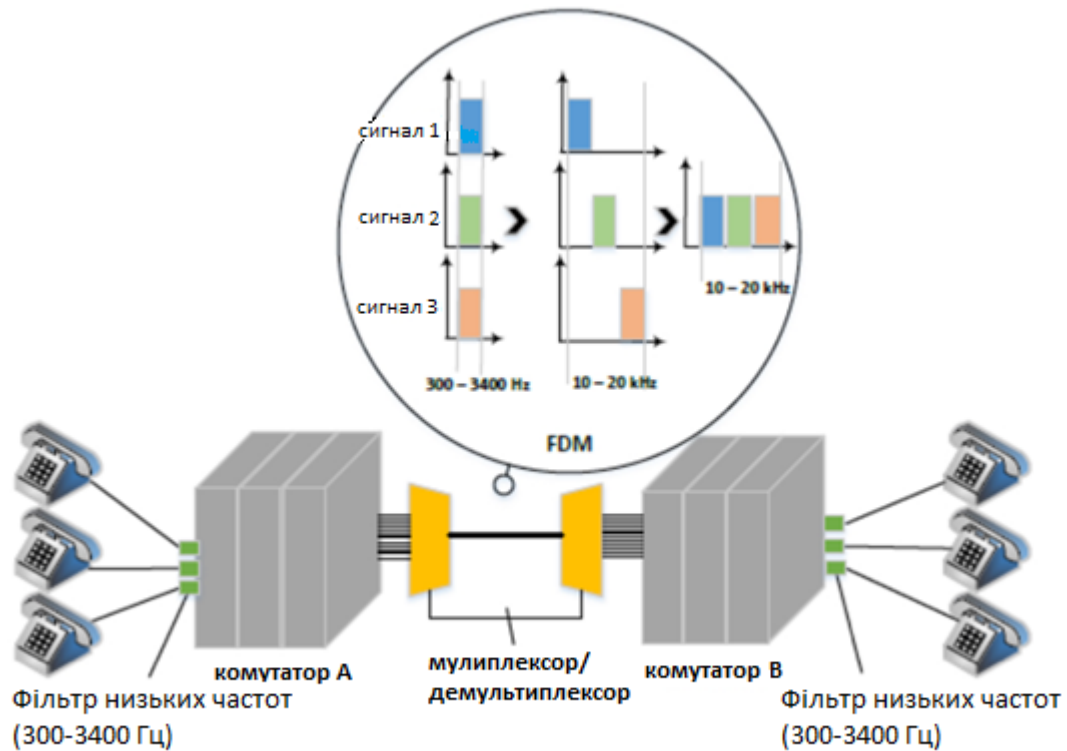


Рис.1.2. Типова мережа з комутацією каналів

Проводи крученої пари були замінені переважно коаксіальними кабелями, особливо в магістральних лініях. Конструкція коаксіального кабелю дозволяє передавати сигнали вищої гармоніки на частотах 100 - 1000 кГц (FDM III і IV) і модулює сотні і тисячі викликів між комутаторами. Системи передачі FDM характеризуються високим переходом на більш високих частотах і низькою якістю виклику. Більш детальний опис FDM наведено [10].

Покоління 4 в принципі є цифровими системами комутації. Порівняно з аналоговим сигналом, цифрові дані передаються точно, без спотворень і без шуму. Оцифровка телефонної мережі загального користування проходила поступово з її центру, тобто перших цифрових станцій зв'язку та їх ланцюгів. Більш високу пропускну здатність дзвінків дає використання волоконно-оптичних кабелів, які дозволяють згрупувати кілька ланцюгів. Попередній метод FDM об'єднання викликів в оцифрованій мережі був замінений технікою мультиплексування за часом. Технічний принцип мультиплексування описаний у джерелі [4].

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).

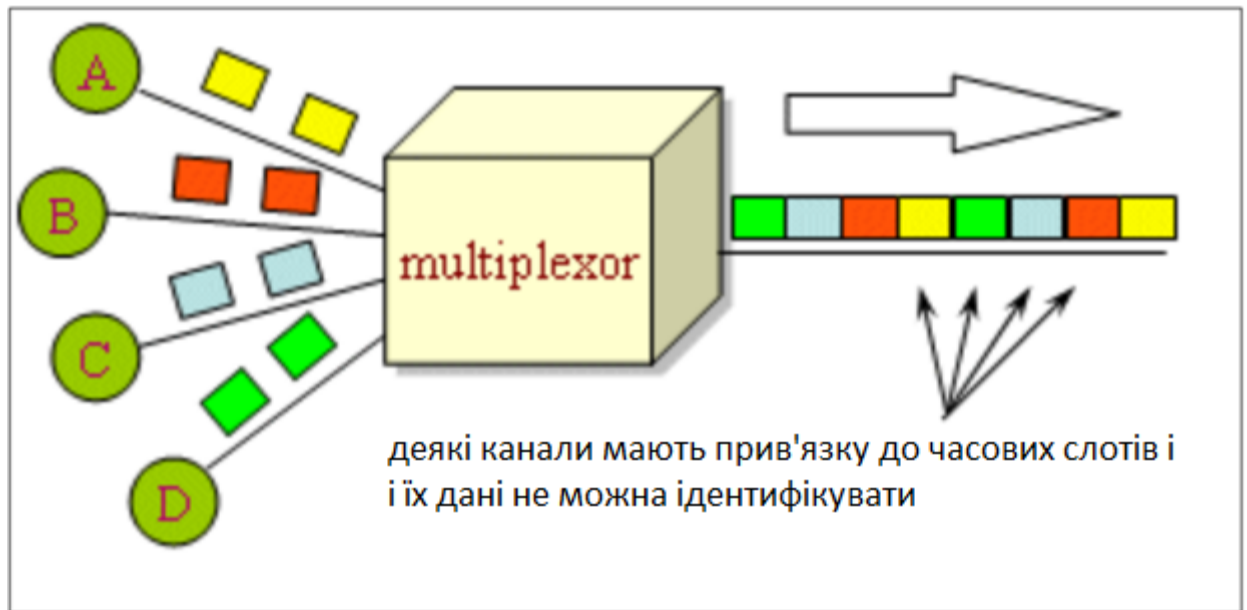


Рис.1.3. Time Division Multiplexing

Техніка мультиплексування часу одного шляху передачі створює кілька окремих каналів передачі. Швидкість передачі бітів (у бітах на секунду) може бути не однаковою. Однак їх сума повинна бути меншою або дорівнювати "цілій" швидкості передачі, перш ніж розділити її. [11]

Підключені абонентські термінальні пристрої залишаються здебільшого аналоговими. Перетворення сигналу між цифровим та аналоговим інтерфейсами забезпечується перетворювачами на стороні панелі управління, принцип яких буде пояснено нижче.

У системах комутації 5-го покоління технологія ISDN повністю оцифровується між кінцевими пристроями замовника.

ISDN (Цифрова мережа інтегрованої служби - далі ISDN) дозволяє

здійснювати цифрову передачу інформації через класичну мережу загального телефонного зв'язку. Схема ISDN складається з В-каналів голосового носія та D-каналу сигналізації даних. Залежно від використовуваної пропускну здатності служби ISDN використовуються в таких типах інтерфейсів, як зазначено:

**BRI ISDN** (базовий інтерфейс швидкості) - послуга зі швидкістю передачі 128 кбіт / с. Він складається з 2 В-каналів, кожен з 64 кбіт / с, зарезервованих для дзвінка, факсу, даних або відео. Додатковий D-канал зі швидкістю передачі даних 16 кбіт / с служить для передачі реєстратора даних. Загальна швидкість передачі, включаючи накладні та контрольні біти, становить 192 кбіт / с.

**PRI ISDN** (Primary Rate Interface) - інтерфейс, який використовується для з'єднання великих приватних філій. Він використовує 32 канали схеми E1. 30 голосових або каналів передачі даних типу В, один D для сигналізації. Останній канал використовується для синхронізації всього кадру TDM передачі. Загальна швидкість передачі - 2048 кбіт / с

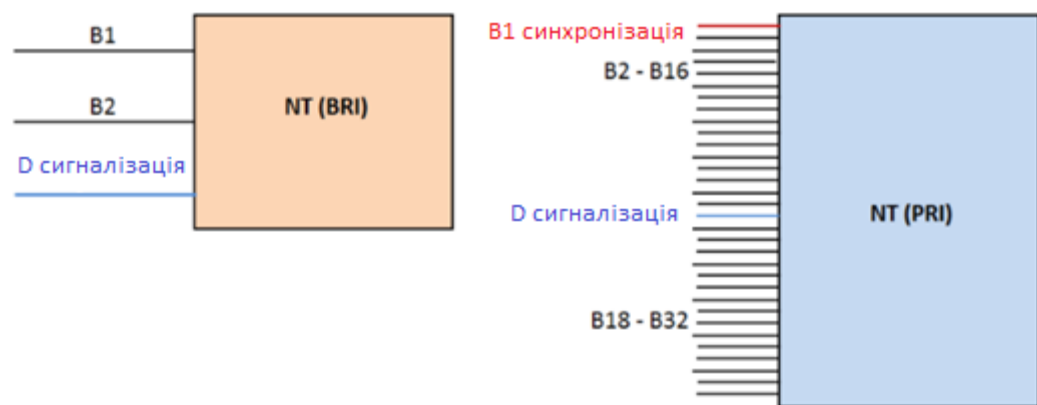


Рис. 1.4. Інтерфейс ISDN

На малюнку 1.4 показано кінець інтерфейсу ISDN з боку користувача, який вирішується мережевими адаптерами NT (Мережевий термінал). Цей пристрій виконує різні функції, такі як припинення ланцюга, живлення для кінцевого обладнання, діагностика тощо.

Інтеграція голосу та даних для користувача за допомогою цієї технології є великою перевагою. Підключеними термінальними пристроями можуть бути



комп'ютери, телефони та факсимільні апарати. Більше про ISDN [4].

### **1.7 Безпекова складова в мережах IP-телефонії**

У телекомунікаційному секторі безпека стає все більш важливою вимогою. Відкриття світового ринку телекомунікацій до конкуренції, з одного боку, та еволюція транспортних технологій в телекомунікаційних мережах, з іншого боку, послужили акцентом для розвитку безпеки для різних гравців, тобто користувачів, які вимагають, щоб їх спілкування могло бути збережене в конфіденційності, щоб захистити своє приватне життя; оператори мережі, яким потрібно захистити свою діяльність та фінансові інтереси; нарешті, регуляторні органи, які вимагають і накладати безпекові заходи, публікуючи директиви та видаючи постанови для забезпечення доступності послуг.

Складання, що є формально правильним, чітко визначеного набору вимог стосовно служб безпеки залишаються досить абстрактним поняттям, оскільки кожна мережа має свої особливості і, крім використовуваних технологій, рішення щодо безпеки залежать від різноманітних факторів.

Однак ми можемо вказати на дві стратегії захисту дзвінків. Одна з них для користувачів послуг зв'язку, забезпечуючи для себе захист своїх дзвінків. У цьому випадку публічна мережа не втручається. Цей тип захисту відомий як захист від кінця до кінця.

Друга стратегія полягає у повному або частковому делегуванні відповідальності за захист дзвінків на загальнодоступну мережу, яка повинна забезпечувати захист на ділянках мережі, за які вона відповідає.

Найважливішими ознаками, що характеризують безпеку мережі, є:

- Конфіденційність, завдяки якій дзвінок між двома кореспондентами захищається від незаконного прослуховування сторонніми чи ненавмисною

стороною.

- Аутентифікація, згідно з якою користувач може бути впевнений, що отримані дані дійсно надходять від заявленого передавального суб'єкту.

- Контроль доступу - це послуга, за допомогою якої доступ до мережевих ресурсів (сервер, комутатор, маршрутизатор тощо) обмежується відповідно до чинної політики безпеки. В іншому випадку, якщо ненавмисному користувачеві вдасться отримати несанкціонований доступ до одного з мережевих ресурсів, тоді він або вона може розпочати атаки, такі як незаконне заволодіння ресурсами або відмова в обслуговуванні, які полягають в безперервній передачі даних мережевим елементам таким чином, що немає ресурсів, що залишаються доступними для інших користувачів мережі.

- Цілісність, за якою суб'єкт господарювання може бути впевнений, що отримані дані не були змінені ні в одному із способів під час їх передачі. За допомогою цієї послуги можна усунути ризик корупції даних внаслідок навмисних та ненавмисних маніпуляцій.

### Безпека в контексті телефонної мережі

Як ми вже бачили одна з головних відмінностей між телефонною мережею та мережами IP лежить в концентрації інтелекту та в обробці всередині мережі на рівні комутаційних вузлів. Таким чином, у випадку з телефонною мережею, власник повністю несе відповідальність за мережу, і користувачі не грають жодної участі в цьому відношенні. Той факт, що безпекові елементи розташовані всередині комутаторів, значно знижує ризик ненавмисних атак, оскільки для того, щоб зчинити несправність у мережі, людина, що не має наміру, повинна мати доступ до публічних комутаторів. Однак, незважаючи на цю перешкоду, ми навряд чи можемо стверджувати, що звичайна комутаційна телефонна мережа сьогодні абсолютно вільна від злочинної діяльності або злону. Хорошим прикладом для цього є факт, що десь десять років тому телекомунікаційна мережа зазнала принципових змін із впровадженням інтелектуальної мережі за допомогою

сигналізації Система № 7 (SS7). Цей розвиток, хоча і забезпечив більшу гнучкість мережі через впровадження нових послуг, але й водночас збільшив її вразливість до нецільового використання, прикладом чого є послуга безкоштовного телефону. Крім того, деякі послуги є більш відкритими до неправомірного використання, оскільки їх використання вимагає від користувачів доступу до керуючої інформації.

#### Безпека в контексті мережі IP:

У IP-мережах більша частина обробки, необхідної для встановлення дзвінків, делегована користувальницькому терміналу обладнання. Отже, розвідка розгорнута до кінців, а не до вузлів мережі, як у випадку телекомунікаційних мереж. Тому очевидно, що функції безпеки також значною мірою забезпечуватимуться користувачам, і це може бути навіть кінцевий маршрутизатор, а не основне обладнання у мережі.

Два сценарії виникають, коли ми дивимось на проблеми безпеки в мережах IP. Перший – власне мережа, інакше відома як керована мережа IP, де управління, обслуговування та операційні функції - це відповідальність чітко визначеної сторони, яка виконує роль оператора. В у цьому випадку менеджер мережі може ввести протоколи та обладнання з метою впровадження служб безпеки в межах мережі, після чого він частково несе відповідальність за забезпечення безпеки. Другий випадок - це Інтернет, що насправді є взаємозв'язком дуже великої кількості IP-мереж у всьому світі. Будь-яка сторона, яка несе загальну відповідальність за цю "мережу мереж", вимагає, щоб користувачі повною мірою відповідали за забезпечення безпеки своїх комунікацій.

Крім того, питання безпеки не були враховані на етапі проектування протоколу IP. Для забезпечення захисту переданих комунікацій таких мереж, згодом додали служби безпеки до маси мережевих протоколів. Для безпеки трафіку, що транспортується через IP, переважали два рішення, а саме TLS (Транспортний рівень безпеки) протокол, який забезпечує безпеку в

транспортному шарі та IPSec протокол. Протокол TLS реалізований поверх TCP і тому може лише захищати трафік додатків, що транспортуються через TCP, тоді як IPSec застосовується на рівні IP і, отже, більше загальний ніж TLS і може використовуватися для забезпечення безпеки для будь-якого типу трафіку через IP, включаючи передачу UDP, що використовується IP-телефонією.

Існує два режими забезпечення безпеки для IP-пакетів за допомогою IPSec: транспортний режим і тунельний режим:

- У режимі транспорту застосовується одна або кілька функцій захисту (по суті, аутентифікація та шифрування) до IP-пакету, що передається. Вид передачі застосований лише до кінцевого обладнання, особливо до кінцевих маршрутизаторів. Проміжний маршрутизатор може не застосовувати передачу IPSec режиму до IP-пакету, він передається через проблеми з фрагментацією та повторною збіркою.
- У режимі тунелю новий IP-пакет створюється методом, що передбачає відкриття IP-тунелю в IP-мережі. Функції захисту, які застосовуються до зовнішнього пакету IP, захищають цілісність вихідного внутрішнього пакету IP (заголовок та дані), оскільки це становить частину "даних" зовнішнього пакету. Це, очевидно, найкращий режим для створення захищених VPN і також він забезпечує кращий захист від аналізу потоку руху.

## **2 АРХІТЕКТУРА І КОМПОНЕНТИ МЕРЕЖІ VOIP**

### **2.1 Архітектура IP-телефонії**

З точки зору надання послуг, мережу VoIP можна розділити на дві можливі архітектури. Вибір залежить насамперед від географічного розташування локальної мережі. Потрібну модель можна обрати відповідно до місця розташування та ролі окремих елементів для управління дзвінками в межах WAN.

#### **2.1.1 Розподілена архітектура**

Мережа IP-телефонії не має прив'язки до певного місця і має свої власні елементи управління дзвінками. Ці окремі елементи пов'язані через WAN підключення. Ця розподілена модель обробки дзвінків дозволяє створити повністю автономне середовище. У разі відмови або недостатньої пропускну здатності шляхів передачі, вона слугує переважно як резервна мережа загального телефонного зв'язку. Це означає, що якщо WAN виходить з ладу, сайт не позбавляється функцій або послуг IP-телефонії. Зв'язок між сайтами відбувається через мережу загального телефонного зв'язку.

#### **2.1.2 Централізована архітектура**

Модель характеризується одним центральним елементом WAN для управління дзвінками, який надає послуги для кількох віддалених місць. Для передачі даних між локаціями є WAN. Він також передає сигнал управління дзвінками між віддаленими місцями і через центральний елемент. Таким чином, віддалені місця завжди залежать від центрального елемента управління дзвінками. Централізована архітектура приносить економію для управління та обслуговування. Маршрутизатори налаштовані на необхідні налаштування якості обслуговування QoS15 [9].

Наприклад, мова йде про черги на основі пріоритетів та використання інших механізмів, щоб уникнути перевантаження мереж WAN з подальшим зниженням якості поточних дзвінків, як зазначено [9]. Поняття QoS буде пояснено більш докладно далі.

## 2.2 Основні компоненти мережі VoIP

Засоби здійснення голосових дзвінків через мережу IP мають аналогічні функції з компонентами класичної телефонії. Пристрої та програми відіграють роль передачі голосу як показано на рис. 2.1.

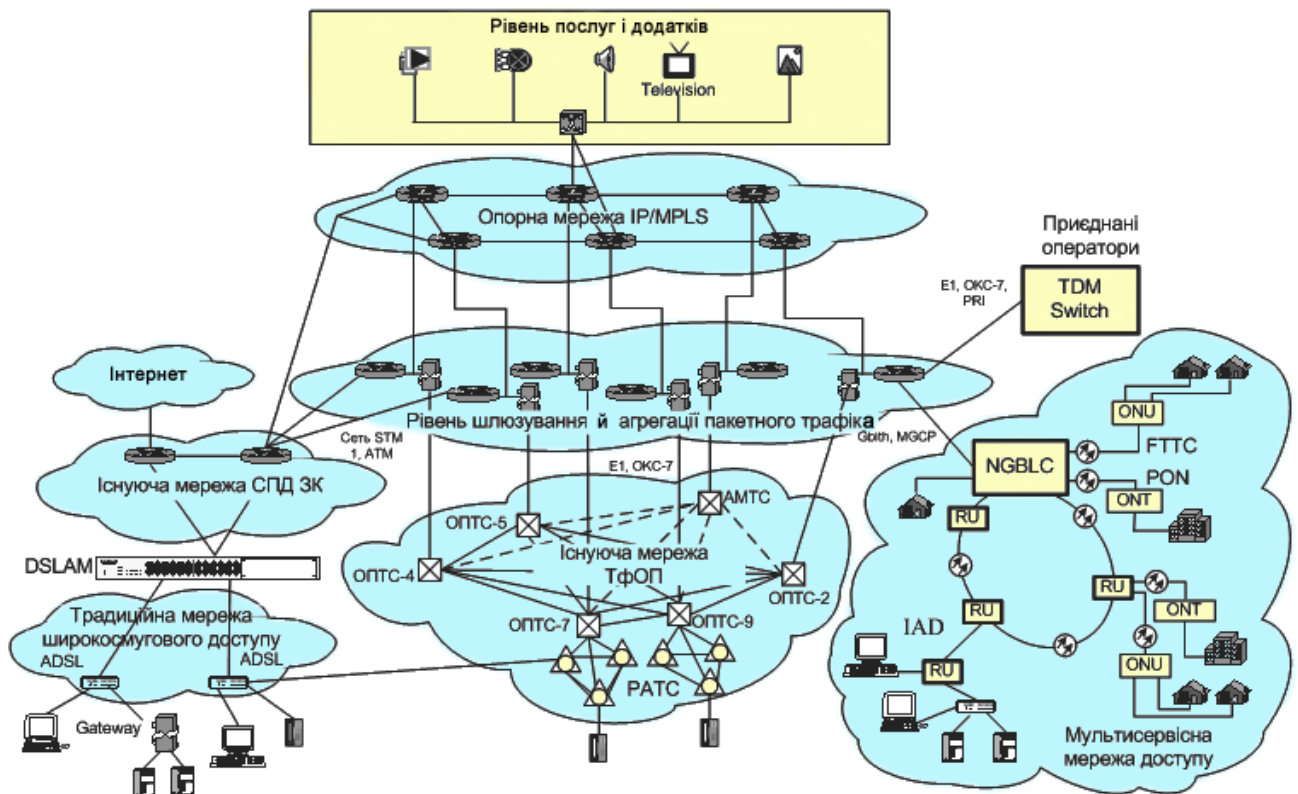


Рис. 2.1. Система розподілу інформації

Термінальні пристрої VoIP схожі на звичайні мережеві елементи з відмінністю в підтримці голосових послуг. Розробники особливо переймалися сумісністю та модульним проектуванням для професійного впровадження у

корпоративних середовищах. Конфігурація та розміщення кожного компонента залежить від конкретних вимог замовника та корпоративних мережевих технологій.

IP-телефони - також іноді називають термінальними. На відміну від звичайної телефонії їх можна реалізувати у вигляді апаратних чи програмних засобів.

Програмні IP-телефони - це телефонні програми, які працюють на класичному комп'ютері або телефоні/планшеті. Приклад - X-Lite. Дзвінки можна здійснювати за допомогою навушників або динаміка та мікрофона. Ще один варіант програмного забезпечення (клієнт) IP – це його безпосереднє встановлення в операційну систему мобільного телефону.

Апаратні IP-телефони - це телефонні пристрої, розроблені спеціально для VoIP-телефонії. Пристрої, схожі зовнішнім виглядом на звичайні телефони, пропонують користувачеві значно більше нових розширених функцій. Їх зв'язок реалізується передачею даних через кабель UTP17 до мережі Ethernet через роз'єм RJ-45. Цей кабель може бути одночасно для передачі даних і передавати змінний струм. Головна умова – щоб активні мережеві елементи також підтримували цю функцію PoE18 (Power over Ethernet). Якщо в наявній інфраструктурі вже є підключення до мережі інтернет, то підключення VoIP телефону не вимагає нової прокладки кабелю, можливо підключити телефон з роз'ємом RJ-45 до ПК, заощаджуючи більше портів роутера.

Агент виклику (VoIP) замінює класичний телефон у мережі VoIP і виступає в якості розподільного щита. Основними функціями цього елемента є управління викликами та маршрутизація, управління адресами та управління пропускнуою здатністю. Приклад найвідомішого оператора дзвінків є ССМ (Cisco Call Manager). Це програмний компонент, на якому працюють сервери, затверджені Cisco.

Шлюз забезпечує передачу (переклад) дзвінків між різними типами мереж. Він також служить пристроєм підключення для аналогових та цифрових пристроїв або компонентів (телефони, факси, АТС, ключі шифрування тощо).

Контролер підключення перевіряє пропускну здатність доступу WAN і може її обмежувати. Якщо пропускну здатність недостатня, контролер може зробити обмеження у формі заборони подальших дзвінків. Для встановлення пропускну здатності для кожного кодека потрібно налаштувати маршрутизатор та шлюз.

Сервер додатків використовується для надання голосової пошти, уніфікованих послуг обміну повідомленнями тощо.

Контролер конференцій MCU (Multipoint Control Units) забезпечує можливість спілкування онлайн одразу декільком абонентам. Це дозволяє користувачам здійснювати голосову чи відео конференцію з різних куточків світу. Конференц-дзвінок дозволяє одночасно спілкуватися кільком учасникам телефонного дзвінка. MCU складається з двох частин. MC – багатоточковий контролер, що використовується для забезпечення сигналізації виклику під час конференції, MP - багатоточковий процесор забезпечує мультимедійні канали, змішування звуку тощо [2].

### **2.2.1 Середовище VoIP**

Як вже було сказано, голосова комунікація в середовищі VoIP реалізується через мережу передачі даних. Активні елементи, такі як комутатори та маршрутизатори керують передачею даних і забезпечують зв'язок між термінальними пристроями в окремих мережах. [3]

Маршрутизатор - це пристрій, який здійснює "маршрутизацію" дейтаграм до місця призначення. Маршрутизатор працює в третьому шарі моделі ISO / OSI. Використовується для з'єднання підмереж і розділення широкомовних доменів. Кінцевий маршрутизатор використовується для підключення LAN та WAN.

Комутатор працює як мережевий пристрій в моделі шарів ISO / OSI. Його основна функція - перемикання кадрів Ethernet на основі адреси MAC19. [26]

Порт FXS (Foreign Exchnage Station) має функції класичної телефонної лінії і може бути використаний для підключення аналогового телефону або бездротового DECT телефону. Забезпечує живлення, мелодію дзвінка та тон



набору. Підключається через роз'єм RJ-11.

FXO (Foreign Exchange Office) - порт інтерфейсу маршрутизатора для підключення до класичного телефонної мережі через звичайну АТС, підключається через роз'єм RJ-11.

Порт BRI для підключення цифрової лінії ISDN (2 голосові канали). BRI порти можуть бути подібні до портів FXO, він також може бути використаний як резервний канал у разі відключення Інтернет-з'єднання.

Порт PSTN є частиною деяких шлюзів і використовується виключно для аналогового підключення телефонні лінії. Шлюз із цим портом дозволяє користуватися одним телефонним пристроєм як класичною лінією або IP-мережею. Вибір типу дзвінка (VoIP або звичайний телефонна лінія), як правило, керується прямим набором номера. У випадку відмови мережі з мережею передачі даних з PSTN порт переходить у режим дзвінків у класичній телефонній мережі.

DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) - цифровий бездротовий телефонний стандарт, принцип якого нагадує мобільні стільникові системи. Функціонування відбувається у вільній зоні, зарезервованій лише для DECT, тобто без можливості взаємодії з іншими системами та стандартами [27].

### **2.3 Функціонал та переваги технології VoIP**

Для кінцевого споживача стандартна єдина телефонна мережа на базі VoIP - це всі елементи класичної телефонної мережі. У разі переходу на технологію VoIP потрібно знати всі функції, компоненти та протоколи для забезпечення правильного функціонування передачі голосу в конвергентній мережі.

Функції VoIP-телефонії можна розділити на обов'язкові та необов'язкові, як описано в [2].

Сигналізація - це інформація, що генерується для встановлення, контролю та припинення з'єднань між двома кінцевими точками. В класичній телефонії є подібний функціонал на основі протоколу SS7. VoIP-телефонія використовує сигнали однорангових і клієнт-серверних сигналів.

Послуги бази даних надаються користувачам технології VoIP шляхом доступу до них. Наприклад, вона пропонує безкоштовну інформацію, ідентифікатор абонента, можливість здійснення дзвінка або наявність інформації. Послуги бази даних також включають доступ до платіжної інформації, доставку імені абонента, ідентифікацію телефонних SIM-карток. Постачальник має можливість керувати та забезпечувати доступ до послуг, таким чином створюється унікальний набір сервісів баз даних для кожного сегменту користувачів.

Управління носієм - це механізм спостереження та управління каналами оператором, що використовуються для передачі голосових дзвінків. Йдеться про забезпечення сигналізації для встановлення (резервування) шляху виклику. Він також відповідає за правильне скасування зарезервованих шляхів виклику, коли один з учасників закінчує дзвінок. Це схоже на сигналізація SS7 в класичній телефонії. Передаються повідомлення з допомогою IP-з'єднання і протоколів SIP, H.323, H.248 або MGCP, які будуть розглянуті більш докладно нижче.

Кодеки мережі VoIP реалізуються через програмне забезпечення для кінцевих користувачів або на шлюзах. Їх можна розділити на збиткові та без втрат. Кодеки без втрат зберігають усі значення інформаційного сигналу. Приклад - кодек G.711 (PCM), що використовується в єдиній телефонній мережі. Кодеки втрат побудовані за принципом того, що людський слух не досконалий. Ви можете видалити деякі дані з мовного сигналу, не впливаючи на якість сприйнятого звуку.

Найпоширеніший кодек у VoIP-мережах - кодек G.729.

Перевагами мереж VoIP у порівнянні з іншими є: IP-телефонія це дешевше рішення як для оператора, так і для абонента. Відбувається це завдяки тому, що:

- класичні телефонні мережі мають надлишкову продуктивність, в той час, як IP-телефонія використовує технологію стиснення голосових пакетів і дозволяє повністю використовувати ємність телефонної лінії.
- як правило, на сьогодні доступ до глобальної мережі Інтернет є у всіх бажаючих, що дозволяє скоротити витрати на підключення або зовсім виключити їх.
- Дзвінки в локальній мережі можуть використовувати внутрішній сервер і

відбуватися без участі зовнішньої АТС.

Разом з вищепереліченим, IP-телефонія дозволяє поліпшити якість зв'язку. Досягається це, завдяки трьом основним факторам:

- Телефонні сервери постійно стають все розвиненішими і алгоритми їх роботи стають більш стійкими до затримок або інших проблем IP-мереж.
- У приватних мережах їх власники повністю контролюють ситуацію і можуть змінювати такі параметри, як ширина смуги пропускання, кількість абонентів на одній лінії, і, як наслідок, величину затримки.
- Мережі з комутацією пакетів прогресують, і постійно вводяться нові протоколи і технології, що покращують якість зв'язку (наприклад, протокол резервування смуги пропускання RSVP).

Завдяки IP-телефонії дуже легко вирішується проблема зайнятої лінії, так як переадресація, або перехід в режим очікування можуть бути здійснені кількома командами в програмних налаштуваннях АТС.

### **2.3.1 Додаткові (розширені) функції VoIP**

Технологія VoIP забезпечує користувачеві додаткові розширені функції безпеки і високий комфорт послуг. Для розуміння переваг VoIP-телефонії доцільно запровадити хоча б деякі з опублікованих сервісів. [2]

Розширена маршрутизація дзвінків - це послуга для вибору маршруту з'єднання дзвінків стосовно таких факторів, як: час доби, завантаженість, витрати на з'єднання, якість дзвінків тощо. Послуга може суттєво вплинути на ціну або якість VoIP-телефонії.

Єдина система обміну повідомленнями забезпечується центральним інтерфейсом користувача, коли користувачі можуть читати повідомлення, факси або голосову пошту з однієї поштової скриньки. Сервіс особливо потрібен компаніям для усунення шумів і підвищення продуктивності праці.

Усунення тарифів на міжміські дзвінки в корпоративному середовищі шляхом маршрутизації дзвінків в мережі IP приводить до великої економії коштів.

За рахунок великої кількості телефонних дзвінків між віддаленими відділеннями для користувачів це економічно вигідно.

Безпека дозволяє адміністратору мережі IP забезпечити необхідний захист переданих даних та інформації. Передана інформація може бути захищена за допомогою шифрування, щоб запобігти неправомірному використанню з боку потенційних несанкціонованих одержувачів пакетів.

Послуги різних додатків для телефонів пропонують користувачеві ще одну альтернативу використанню IP-телефонів.

Крім передачі голосової інформації, якщо є достатня пропускна здатність, можна передавати відео для кількох учасників (відеоконференції) або інші дані.

Обладнання поточних розподільних пунктів VoIP дозволяє в разі перевантаженості WAN або виходу з ладу, змінити маршрут виклику, перекинувшись на класичну єдину телефонну мережу

### **2.4.1 Протоколи VoIP**

Оцифрований стиснутий мовний сигнал у вигляді потоку даних є вихідним кодеком. Ці біти потрібно розділити (пакувати) та перенести через мережу передачі даних від абонента до викликаної сторони.

Фактичне з'єднання та передача даних у мережі VoIP обробляються протоколами (стандартами). Протокол - це визначений набір правил, згідно з яким, як правило, відбувається обмін даними. Він визначає правила управління синтаксисом, семантикою та взаємною синхронізацією спілкування. Протоколи зосереджені в шарах в моделі протоколу TCP/IP (Інтернет-протокол/протокол управління передачею - далі TCP/IP). Описана модель TCP/IP - структура мережі даних, яка базується на принципі передачі пакетів. Завдання кожного протоколу - забезпечувати певну функцію, тим самим надаючи послуги, прилеглі до вищого рівня в ієрархії [13], [14], [15], [16].

Протокол також використовує послуги найближчого підрядного рівня. В обох кінцевих точках завжди однакові протоколи на відповідних рівнях стеку. [17],

[24]

Архітектура моделі TCP/IP та її протоколів, що використовуються в мережах VoIP, проілюстрована на рисунку 2.2.

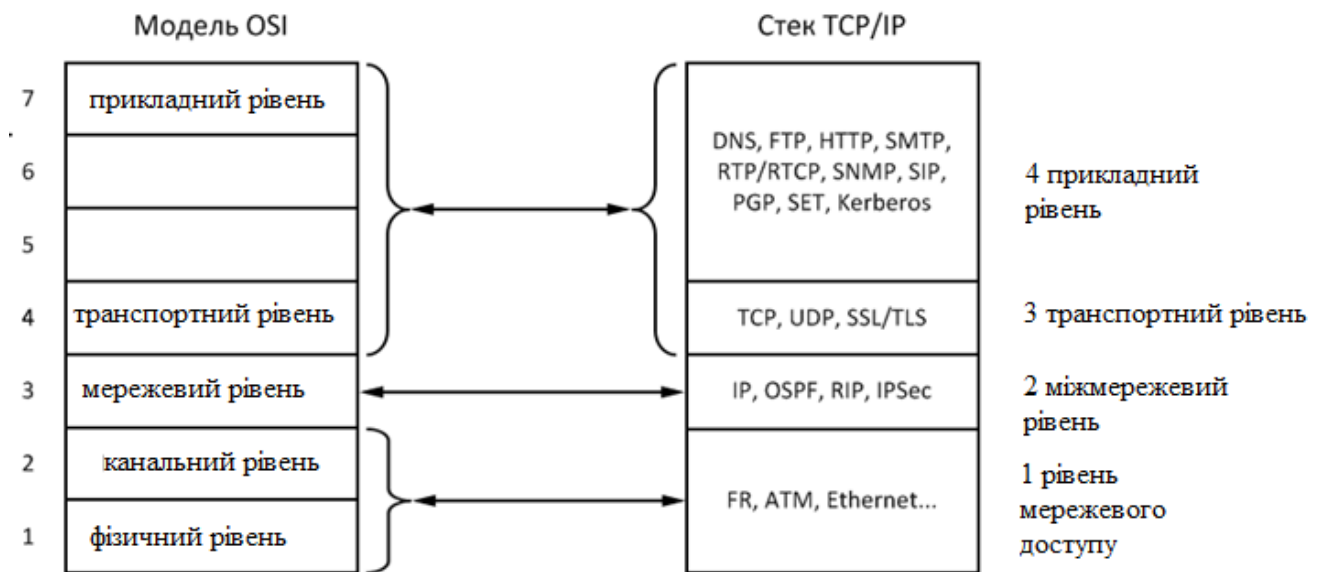


Рис. 2.2. Структурна схема протоколів відносно моделі OSI

Щоб правильно зрозуміти функцію VoIP, будуть пояснені наступні розділи функції та завдання протоколів окремих шарів моделі TCP / IP.

#### 2.4.2 Кодеки

Сигнал послідовності бітів повинен бути стиснутий для економії пропускної здатності. Кодеки забезпечують цей процес кодування та декодування сигналу. Кодеки - це комп'ютерні програми або спеціальне обладнання, реалізоване разом з іншими функціональними блоками безпосередньо на чіпі. Більш зручним варіантом є форма процесора DSP10, коли можливо змінювати кодеки та їх версії безпосередньо файлом інструкцій програми.

Споживана пропускна здатність для передачі голосу - одна з найважливіших функцій для VoIP-телефонії. У локальних бізнес-мережах їх адміністратори

повинні знати точну пропускну здатність для кожного порта WAN. Вибір відповідного кодека називається технікою кодування, яка може використовуватися для обчислення загального коефіцієнту використання. Економічна мета - забезпечити баланс між потребами в якості голосу і витратами на пропускну здатність мережі. Загалом, застосовується пряма пропорційність - чим більша витрата на пропускну здатність для одного дзвінка, тим вище вартість.

Окремі кодеки мають різні вимоги до складності та пропускну здатності. Для розгортання в VoIP-телефонії даються наступні необхідні параметри кодеків:

- Тип кодування - це заданий алгоритм кодування сигналу.
- Швидкість переносу - необхідна для вільної передачі закодованих даних у кбіт / с.
- Складність обчислень вказує на ефективність процесора в мільйонах операцій за секунду (маркується як MIPS13).
- Затримка сигналу під час кодування може спричинити труднощі зв'язку, критичні межі затримки не мають перевищувати значення 200 мс. Чим менша затримка, тим краща якість передаваних голосових даних.
- MOS (середня швидкість думки) є числовим критерієм оцінки якості мовного сигналу, який буде детальніше розглянуто нижче.

Ці кодеки серії G використовуються для VoIP-телефонії відповідно до стандартизації MSE-T.

Кодеки	Алгоритми	Швидкість переносу	MIPS	Затримка (мс)	MOS
<b>G.723.1</b>	MP-MLQ	6,3	6,3	30	3,9
<b>G.723.1</b>	ACELP	5,3	20	30	3,65
<b>G.726</b>	ADPCM	32	1	1	3,85
<b>G.728</b>	LD-CELP	16	30	3 – 5	3,61
<b>G.729.A</b>	CS-ACELP	8	11	10	3,7
<b>G.729</b>	CS-ACELP	8	20	10	3,92

Таблиця 2.1. Параметри основних кодеків VoIP

G.711 PCM (Pulse Code Modulation) - кодек модуляції мовних сигналів в каналах із швидкістю передачі даних 64 кбіт/с. Процес вибірки та квантування аналогової форми хвилі надає перевагу в економії пропускної здатності. Модуляція PCM з частотою вибірки 8 кГц і шириною 8 біт без стиснення використовує пропускну здатність 64 кбіт/с тільки для голосових даних. Перевага – це якість звуку. Усі пристрої VoIP підтримують цей базовий кодек.

G.726 ADPCM (адаптивна диференціальна кодова модуляція) - це модуляція по принципу відправлення диференціального сигналу. Таким чином, весь сигнал не кодується, а лише фактична різниця вибірки порівняно з попереднім.

G.729: CS-ACELP: Лінійне прогнозування збудженого алгебраїчного коду  
На основі зразків мови, з розмови в реальному часі складається «кодова книга». Кодек містить список вже використаних поєднань одиниць і нулів. Наступні коди, що використовуються, пересилаються через буфер вони порівнюються з цим списком. Якщо коди вже зберігаються у списку, надсилається лише адреса місцеположення. Цей метод приносить економію пропускної здатності у вісім разів при модуляції PCM і найчастіше використовується для кодування та передачі голосу у VoIP-телефонії. Недоліком кодека G.729 є те, що він використовується виключно для передачі голосу.

G.728 LD-CELP (лінійне прогнозування з низьким запізненням) - це в основному кодек CS-ACELP, який використовує кодову книгу для досягнення меншої затримки передачі і витрат на пропускну здатність. Детальніше про кодеки в [15] та [21].

## **2.5 Налаштування QoS для VoIP-з'єднань**

Встановлення QoS на маршрутизаторі може допомогти запобігти спотворенням голосу та покращити якість вашого VoIP-з'єднання. Для цього потрібно надавати пріоритет голосовому та VoIP-трафіку, мінус полягає в тому, маршрутизатор заважатиме іншим програмам мати такий же високий рівень

обслуговування пріоритетів, а плюс - підтримка кращого потоку даних та краща передача голосу.

QoS (Якість обслуговування) - це сервіс, який надає пріоритет певному трафіку даних шляхом уповільнення менш важливих пакетів даних. Також це набір принципів і методів, який використовуються для забезпечення оптимальної якості голосового зв'язку в умовах обмеженої пропускної здатності каналів зв'язку. Ці важливі пакети потім добираються до місця призначення якомога швидше. Послуга з більш високим пріоритетом спочатку повинна пройти через маршрутизатор, зменшивши затримку, яка може виникнути без встановлення QoS. Маршрутизатор не може змусити цей додаток чи дані пройти швидше, ніж це було б без будь-якого конкуруючого трафіку даних, але, коли є інші дані, можна надати пріоритет, щоб рухатись до передньої частини черги та проходити. Для цього у мережевих пристроях є буфери обміну, які тримають певний час ці дані, коли ці вони не можуть бути відправлені негайно. Як правило, маршрутизатори використовують метод FIFO (First In, First Out).

Втрати пакету призводять до відсутності інформації при отриманні звукового сигналу. Відповідно з кількістю втрачених пакетів, якість звуку на кінці прийому може постраждати. У IP-підході, втрата пакетів є невід'ємною частиною поняття: маршрутизатори зобов'язані (при алгоритмі раннього виявлення) знищувати пакети, щоб уникнути можливих перевантажень.

Існує чотири основні причини втрати пакету:

- вичерпаний термін експлуатації (TTL = 0);
- прийом кінцевої затримки більше, ніж буфер тремтіння;
- знищення перевантаженим модулем;
- недійсність пакету через несправності передачі;

Протокол UDP використовується для передачі голосу через IP і перевагами є менша затратність та опора на протоколи вищого рівня (наприклад, RTCP / RTP) для зменшення помилок або контролю потоку або там, де є "потреби в режимі реального часу" .

Швидкість втрати пакетів буде залежати від якості використовуваних ліній



та розмірності мережі. Якщо якість мови повинна бути прийнятною, швидкість втрати пакетів повинна бути менше 20 відсотків.

Одне можливе рішення для зменшення втрат пакетів - це впровадження систем виправлення помилок з використанням надлишкового та адаптивного кодування, тобто змінна відповідно до втрат пакету, статистично спостерігається всередині мережі в будь-який момент часу. Використовуючи такі системи, можна досягти дуже високих рівнів якості звуку навіть через Інтернет. Однак це рішення створює додаткові труднощі пов'язані із загальною затримкою передачі, до яких необхідно бути готовим, якщо мережа має використовуватися для телефонії.

Коли маршрутизатор може спроектувати кількість даних, які він може отримати, він формує трафік, використовуючи чергування пакетів, затримуючи пакети з низьким пріоритетом, дозволяючи пропускати пакети з високим пріоритетом. Теги QoS можуть мати різний рівень важливості, від високого до середнього до низького або критичного, важливого, залежно від маршрутизатора, і вони можуть мати пріоритет за допомогою декількох різних методів. Найбільш помітними типами тегів є невеликі маршрутизатори - власне Ethernet-порт маршрутизатора, MAC-адреса кінцевої точки та TCP або UDP-порт.

Які налаштування для VoIP не може дати QoS: налаштування QoS на маршрутизаторі не може вплинути на продуктивність провайдера. Зазвичай Інтернет-провайдер вже встановлює обмеження на завантаження, які будуть пов'язані з рівнем обслуговування вашого провайдера. Іноді провайдер може надавати швидкість нижчу ніж було домовлено, перевірити те, що говорить провайдер, можна за допомогою тесту швидкості - це і є ваш рівень обслуговування. Зазвичай нормою швидкості наданої провайдером є відхилення не більше 20%.

Альтернативне визначення та суб'єктивна оцінка QoS:

Інші методи оцінювання якості, особливо в IP-телефонах та IP-телебаченні, є метричним методом, який охарактеризує або запропонує високу якість роботи. Використовуються суб'єктивні оцінки та показані типи «популярної користувальницької продукції», «ступінь задоволеності користувача», «кількість

задоволених клієнтів». Метод носить назву Середній бал думок (MOS, «абсолютно суб'єктивне поняття»), або Якість досвіду (QoE, «метод емпіричних оцінок»).

## 2.6 Технічні рішення щодо забезпечення QoS через IP-мережі

Робоча група Internet Engineering (IETF) визначила багато протоколів та методів для забезпечення QoS через мережі IP; серед них можна згадати [12]:

- мережі з резервною пропускну здатністю, або корпоративні мережі з комутацією локальної мережі - може не бути економічно вигідно;
- зворотній зв'язок щодо якості (IETF RTCP) - додаток орієнтований на відсутність впливу мережі, - допуск контролю / управління трафіком;
- пріоритетність (наприклад, для ресурсів у черзі, DiffServ);
- ронювання ресурсів (RSVP, IntServ);
- сегрегація руху (транспорт і маршрутизація):
- стеження за трафіком.

На додаток до можливостей Інтернет-протоколу, таких як RSVP, IntServ, DiffServ, IP-телефонія QoS можна скористатися функціями обладнання постачальників, які пропонують різноманітні черги, формування трафіку та технології фільтрації для реалізації пріоритету руху та керування заторами в кінці в кінці мережі. Деякі приклади:

Спеціальна черга (CQ) обробляє трафік, присвоюючи їй всієї черги різні класи пакетів, а потім обслуговує черги в круговій формі. Хоча конкретний протокол, може призначити більшу ширину каналу користувачеві або додатку в черзі, він ніколи не може монополізувати всю пропускну здатність.

Зважене випадкове раннє виявлення (RED або WRED) поєднує в собі IP-пріоритет і Random Early. Можливістю (RED) є забезпечення диференційованих характеристик продуктивності для різних класів обслуговування. RED надає можливість гнучко визначати політику обробки трафіку для максимального використання пропускну здатності при перевантажених умовах.

Дозвіл на швидкість доступу (ЗКД) надає засоби для розподілу зобов'язань із пропускної здатності та обмеження на джерела трафіку та пункти призначення, відповідно, збільшуючи аб зменшуючи пропускну здатність за потреби.

Звичайно, жоден із перерахованих вище протоколів та методів не був би достатнім, щоб забезпечити прийнятну якість для голосу, якщо тільки в дуже конкретних і сприятливих обставинах. Мережева інженерія, що включає комбінацію методів та протоколів, ймовірно, буде потрібна.

Все вищезазначене - це методи, застосовні для даного домену підмережі; як ми можемо забезпечити це? Для цього потрібно забезпечити відповідний цільовий QoS, передбачений для голосового дзвінка, що проходить декілька доменів оператора. Працює це так, що в мережах нового покоління обмінюються інформацією про вхідний дзвінок, щоб ресурси можна було відповідним чином зарезервувати у кожній із підключених мереж і забезпечити належний QoS в кінці.

## **2.7 Технічні аспекти впровадження VoIP в компанії**

Зв'язок для передачі даних - це незамінний інструмент роботи та комунікаційний канал для компаній. У випадку вибору неправильно налаштованої системи зв'язку може бути загроза діловій діяльності всередині та поза компанією.

Підключення корпоративної локальної мережі до загальнодоступних IP WAN може бути реалізовано декількома способами. Кожна технологія має певні переваги та обмеження [25].

### **2.7.1 Асиметричне з'єднання ADSL/VDSL і симетричне з'єднання SHDSL**

ADSL (Асиметрична цифрова абонентська лінія) або VDSL (DSL) лінія з дуже великою швидкістю - найпоширеніший і найдешевший спосіб підключення користувачів x.

Швидкість з'єднання можна розділити на дані, передані користувачеві (завантаження), та дані, що надсилаються або відвантаження. У ADSL та VDSL швидкість надходження даних вища, ніж швидкість передачі даних, що надходять до мережі [18]. Ця асиметрія призначена для більшості користувачів, які використовують мережу з такими цілями:

- пошук інформації в Інтернеті, завантаження файлів, зображення та, періодично відео;
- листування електронною поштою з випадковим надсиланням вкладень;
- максимальний обмін (агрегація) лінії ADSL до десяти користувачів, VDSL - до двадцяти користувачів.

Технологія ADSL / VDSL непридатна для таких вимог:

- професійна передача голосу та відео;
- передача великих обсягів даних;
- корпоративні сервери (проблеми з доступністю та швидкістю завантаження);
- управління онлайн-додатками.

Інші проблеми підключення ADSL та VDSL - це швидкість та агрегація.

Агрегація - це об'єднання з'єднань для кількох користувачів разом. Це відношення заявленого обмеження абонентських ліній передачі даних до кількості користувачів, які ділять потужність лінії разом. Агрегація становить до 1:50 для домогосподарств та 1:20 для компаній.

Швидкість з'єднання задається фізичними принципами, такими як відстань від панелі управління, або досконалістю пристроїв (DSLAM26) у стійці постачальника. Для максимальної швидкості з'єднання відстань не повинна перевищувати 700 метрів. Швидкість з'єднання ADSL провайдера (8 і 16 Мбіт / с), (VDSL 20 і 40 Мбіт / с) в основному не відповідає дійсності. Фактична досягнута швидкість у певному місці в різних користувачів у зв'язку з вищезазначеним може значно відрізнятись за одну і ту ж вартість.. У більшості випадків користувач не може вибрати максимальну швидкість. Про принцип технології ADSL та VDSL в [19].

SHDSL (симетрична високошвидкісна цифрова абонентська лінія) - це технологія, яка дозволяє використовувати існуючі телефонні лінії для високошвидкісної передачі даних.

Це робиться шляхом складання декількох пар ліній в один доступ (як правило, 2 або 4 пари для двонаправленого трафіку). Це дозволяє збільшити швидкість передачі до 20 Мбіт/с при тому самому завантаженні мережі. Значення швидкості передачі визначається відстанню панелі управління, якості металу в провіднику і т.д.

Технологія SHDSL - це зручний спосіб підключення для:

- компаній, що мають 281+ більше працівників, малі та великі кол-центри;
- VoIP та передачі відео між користувачами;
- веб-серверів підприємств;
- потокового відео;
- двосторонньої передачі даних між сайтами;
- управління онлайн-додатками.

### 3. РОЗРАХУНКИ ВПЛИВУ ЗАТРИМОК НА VOIP-ТЕЛЕФОНІЮ

Технології, що стосуються можливості здійснення дзвінків за допомогою передачі пакетів пов'язані з Internet Protocol (IP), такі мережі в основному називають VoIP [20], [21]. Використання мережі з комутацією пакетів даних на відміну від схеми комутованої мережі є принциповою відмінністю від традиційних телекомунікаційних мереж. При змішуванні пакетів даних мережею в більшості випадків знижується гарантована якість послуг. Перевага IP-мережі як транспортного середовища - величезні можливості для простого і гнучкого розширення комп'ютерних мереж. З іншого боку, це джерело великої кількості недоліків, які несе VoIP-технологія. Основна проблема більшості IP-мереж - це неможливість гарантувати певні параметри якості передачі, особливо актуальною є проблема із затримкою в мережі. Затримка мережі відіграє ключову функцію в IP-телефонії, що в основному впливає на кінцеву якість спілкування. Необхідно відзначити, що нова версія IPv6 значно просувається в якості обслуговування (QoS) [23], [25]. Деякі великі виробники почали виробляти активні компоненти мереж IP вже з реалізованою підтримкою IP-телефонії. Такі пристрої полегшують ідентифікацію та пріоритетність обробки VoIP даних.

Хоча гарантування у VoIP-з'єднаннях якості є основою для успішного розгортання та розширення технології VoIP, очевидно, кінцевим параметром, який впливає на з'єднання є не тільки затримка в мережі, але також і багато інших параметрів, таких як вибір відповідного алгоритму стиснення, завмирання, відлуння або помилки послідовності пакетів.

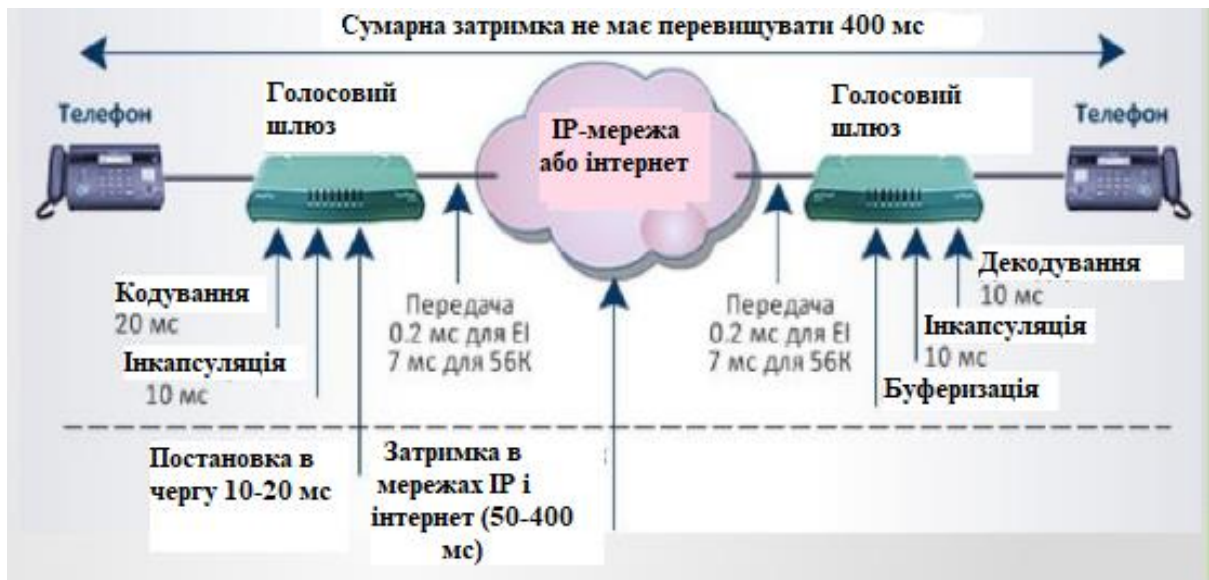


Рис. 3.1. Модель затримки голосового трафіку в VoIP-мережі

Затримка є одним з дуже важливих факторів, що суттєво впливають на кінцеву якість VoIP-з'єднань. В IP-мережі ми виділяємо кілька типів затримок, які різняться від їх джерела, механізму створення та інших особливостей. Кожен компонент затримки впливає на результат затримки голосового пакета по-різному.

- $T_{\chi CDIP}$  - затримка кодека в середовищі IP;
- $T_{\pi PD}$  - затримка пакетизації голосових даних;
- $T_{\beta QD}$  - затримка черги, яка виникає;
- $T_{\delta сер}$  - затримка серіалізації;
- $T_{\omega PROP}$  - затримка поширення;
- $T_{\Delta DJ}$  - затримка де-джиттера;
- $T_{\epsilon PRi}$  - затримка обробки;
- $T_{\chi DCD}$  - затримка депакетизації;
- $T_{CDalg}$  - алгоритмічна затримка кодека.

### 3.1 Затримка кодека в середовищі IP

Затримка кодека залежить від вибору кодека та продуктивності цифрового сигнального процесора (DSP). Це час, необхідний DSP для стиснення PCM (Pulse Code Modulation) вибіркового блоку. Кожен декодуючий алгоритм вказує, наскільки велике число вибіркового блоків PCM кодуються разом. Це викликає затримку, відому як затримка стиснення кодека. Цей тип затримки залежить від розміру блоку, який кодується, і точного визначення вибраним кодеком. Друга часткова затримка, яка виникає в процесі кодування, називається алгоритмічною затримкою. Алгоритмічна затримка залежить від функціональності кодування алгоритму, де алгоритму для кодування необхідний  $N$ -зразок, відповідно  $N+1$ ,  $N+2$ , ... зразки. Згідно із специфікацією ITU-T. G.114 існують різні типи затримки кодека, які залежать від застосованого середовища [26]:

$$T_{\chi CDIP} = (N+1) T_{\chi CDalg} + T_{\chi CDcomp} \quad (3.1)$$

$T_{\chi CDIP}$  - затримка, викликана процесом кодування в IP середовищі;

$T_{\chi CDalg}$  - алгоритмічна затримка кодека;

$T_{\chi CDcomp}$  - затримка кодека стиснення;

$N$  - кількість кадрів на пакет.

### 3.2 Затримка пакетизації

Затримка пакетизації виникає в процесі розвитку інкапсуляції блоку даних у пакети, які передаються по мережі. Оскільки мережа IP є оперуючою змінним розміром пакету, можна визначити який розмір пакетів ми хочемо генерувати в системі. Завдяки цьому ми можемо впливати на кількість блоків даних для кодека, які потрібно перенести разом в одному IP-пакеті. Звичайно, якщо ми передаємо відразу кілька блоків, необхідно тримати їх у буфері до моменту, коли останній



блок даних для конкретного пакету генерується кодером. Тільки тоді дані можна капсулювати та надсилати мережею. Затримка пакетизації встановлюється декількома періодами пакетизації, в яких працює даний кодек. Іншими словами, це ідентифікує, скільки блоків даних будуть передані в одному пакеті.

Метод обчислення затримки задається (3.2).

$$T_{\pi PD} = \frac{8 \cdot P_S}{C_{BW}} \text{ [ms]} \quad (3.2)$$

$T_{\pi PD}$  - затримка пакетизації [мс],

$P_S$  - розмір корисного навантаження [В],

$C_{BW}$  - пропускна здатність кодека [кбіт / с].

### 3.3 Затримка обробки

Затримка обробки в маршрутизаторах - це час, необхідний щоб маршрутизатор приймав пакети від вхідного інтерфейсу до виводу з буфера. Затримка обробки даних у маршрутизаторах залежить від різних факторів, таких як:

- швидкість центрального процесора (CPU);
- використання процесора;
- режим перемикання IP;
- архітектура маршрутизатора;
- конфігурація вхідних і вихідних інтерфейсів.

### 3.4 Варіація пропускної здатності

Кожен протокол кожної транспортної технології, що використовується в IP-мережі включає в себе заголовок, який генерує протокол інформації. Ці дані вимагаються конкретним протоколом або технологією. Кількість інформації, яка

передається головним протоколом залежить від типу використовуваної технології. Тип технології, що використовується для передачі пакетів може бути різним для кожного кінця каналу передачі. В цих випадках, коли змінюється технологія по шляху потрібно, щоб деякі заголовки видалялися та замінювалися новою інформацією, яка необхідна для передачі в нових умовах. Передача додаткової інформації, звичайно означає необхідність додаткової пропускної здатності. Кількість доданої пропускної здатності можна розрахувати. З інформації про кількість необхідної пропускної здатності для кодека і інтервал вибірки цього кодека, може бути обчислена кількість даних IP-пакету. Це можна зробити за допомогою формули (3.3):

$$P_s = \frac{C_{BW} \cdot T_s}{8} \quad [B] \quad [3.3]$$

де:

$P_s$  - розмір корисного навантаження [B],

$T_s$  - період вибірки [мс],

$C_{BW}$  - пропускна здатність кодека [кбіт / с].

Після цього розрахунку кількість інформації в заголовку може бути додана. Тоді потрібно оцінити пропускну здатність для цього потоку, як показано у формулах (3.4) і (3.5).

$$S_{BW} = \frac{H_L \cdot 8}{T_s} + C_{BW} \quad [kbit/s] \quad [3.4]$$

де:

$S_{BW}$  - загальна пропускна здатність [кбіт / с];

$H_L$  - довжина заголовка [B];

$T_s$  - інтервал вибірки голосу [мс].

$$S_{BW} = \frac{H_L \cdot C_{BW}}{P_s} + C_{BW} \quad [kbit/s] \quad (3.5)$$

### 3.5 Затримка серіалізації

Затримка серіалізації - складова фінальної затримки, яка залежить від швидкості передачі. Операція надсилання пакетів займає деяку кількість часу. Цей час залежить від швидкості передачі та розміру пакету. Цей час негативно впливає на фінальну затримку передачі. Для оцінки цього часу може бути використана формула (3.6)

$$T_{\text{сер}} = \frac{F_S}{L_S} \quad [\text{ms}] \quad (3.6)$$

$T_{\text{сер}}$  - затримка серіалізації [мс];

$F_S$  - розмір кадру - загальний розмір пакету [В];

$L_S$  - швидкість лінії [кбіт / с]

$$F_S = H_L + P_S \quad [\text{B}] \quad (3.7)$$

де:

$P_S$  - розмір корисної навантаження, [В];

$H_L$  - довжина заголовка, [В].

### 3.6 Затримка розповсюдження

Цей тип затримки пов'язаний з фізичною передачею сигналу в середовищі та матеріалах. Затримка розповсюдження зазвичай залежить від використовуваної технології, а також від відстані, по якій передається сигнал. Наприклад у випадку відстані, оціненої в десятки кілометрів, вплив цієї затримки незначний. Вплив цього типу затримки значний у випадку транспортних мереж (напр. трансокеанські або трансконтинентальні шляхи тощо), де використовуються довгодистанційні лінії [27]. У цього типу мереж в основному використовується як середовище оптичне волокно. Передачу світла можна описати як передачу

електромагнітної хвилі в середовищі. Швидкість передачі залежить від показника заломлення цього середовища і може бути обчислена за такою формулою:

$$v = \frac{c}{\eta} = 2.0 \cdot 10^8 \quad [\text{m.s}^{-1}] \quad (3.8)$$

де:

$c = 3 \cdot 10^8$  [m.s<sup>-1</sup>] - швидкість світла у вакуумі;

$\eta = 1,5$  - показник заломлення для кремнієвого скла з довжиною хвилі  $\lambda = 1,33$   $\mu\text{m}$ ;

$v$  - швидкість поширення світла в оптичному волокні [m.s<sup>-1</sup>].

Тоді ми можемо отримати значення поширення через наступну формулу (3.9):

$$T_{\omega\text{PROP}} = \frac{L}{v} \quad [\text{s}] \quad (3.9)$$

де:

$T_{\omega\text{PROP}}$  - затримка поширення [мс];

$L$  - довжина [м].

Кінцеве значення затримки розповсюдження може бути тоді приблизно 4,38 мікросекунди на 1 км. Це значення є не велике в порівнянні з іншими значеннями затримки на короткі дистанції передачі. Тільки у випадку трансконтинентальної передачі значення затримки розповсюдження може обчислюватися десятками мілісекунд.

### 3.7 Затримка De-Jitter

Така затримка пов'язана з завмиранням або варіаційною затримкою. Іноді необхідно усунути вплив затримки з використанням буфера де-джиттера. Цей буфер може розглядатися як пам'ять. Найголовніше - це розмір цієї пам'яті обмежена варіацією затримки і з іншого боку, цей тип завмирання утворює

додаткову частину (динамічну) затримки. Тоді виникає необхідність оптимізувати розмір (довжину) буфера де-завмирання. У типовому випадку розмір завмирання затримки вибирається як 1,5 кратний від суми всіх змінних факторів затримки. У більшості випадків, якщо це значення встановлено як статичне, значення розміру буфера де-джиттера є десь у діапазоні 30 - 50 мс. Якщо це значення задається динамічно, воно може бути в діапазоні 100 - 150 мс. Більш точне значення може бути встановленим, але лише після глибокого аналізу ситуації мереж в Україні. У нашій моделі затримки значення затримки де-джиттера являє собою адитивний коефіцієнт остаточної затримки.

### **3.8 Затримка депакетизації**

Затримка депакетизації аналогічна затримці пакетизації. У випадку, коли один пакет включає більше даних в блоках, важливо тримати всі блоки в буфері до моменту, поки останній з них генерується. Тоді пакет може бути відправлений разом мережею. На стороні приймача аналогічна ситуація. Одержувач отримує більше блоків в одному пакеті, який надходить. Перший з цих блоків можна декомпресувати негайно, але інші блоки повинні зачекати в буфері, поки їх не можна декомпресувати. Це означає, що перший з цих блоків отримує нульову затримку, і останній з них отримує значення затримки пакетизації. Ці значення протилежні значенням затримки пакетизації. У реальній ситуації кожен блок отримує на шляху передачі лише одне значення затримки пакетизації.

### **3.9 Затримка декомпресії**

Затримка декомпресії або ж затримка стиснення залежить від вибору алгоритму стиснення [28]. Середнє значення затримки декодера може бути 10% затримки стиснення, в більшості випадків. Але це залежить від обчислювальної потужності декодера і переважно з розрахунку на кількість блоків описано як:

$$T_{\chi^{vDCD}} = 0,1 \cdot N \cdot T_{\chi^{CD}} \text{ [ms]} \quad (3.10)$$

де:

$T_{\chi^{vDCD}}$  - затримка декодування [мс];

$N$  - кількість блоків голосових даних в одному пакеті;

$T_{\chi^{CD}}$  - затримка кодека [мс].

### 3.10 Затримка маршрутизації

У мережевих маршрутизаторах безліч потоків даних і голосу зустрічаються один з одним, і вони можуть бути маршрутизовані різними напрямками. Це може спричинити виникнення декількох потоків голосу та даних, які можуть бути маршрутизовані за одним вихідним посиланням. У цій ситуації необхідно вирішити, яким пакетам буде надано пріоритет і відправити за вихідним посиланням. Вибравши спосіб обробки пакету можна суттєво вплинути на загальну затримку. Необхідно, щоб голосові пакети оброблялися пріоритетно перед іншим трафіком даних. Голосові пакети можуть бути позначені механізмами диференційованих послуг або інтегрованими послугами [29]. Обробка в маршрутизаторі є в більшості випадків, контрольовані методами PQ (Пріоритетна черга), або PQ / WFQ (Пріоритетна черга / зважена справедлива черга) або іншим методом черги.

### 3.11 Характеристика загальної затримки маршрутизатора

На основі трафіку маршрутизатора з оптимізацією PQ пріоритетна обробка пакетів відбувається в першу чергу для первинного голосового фронту PQ. У разі ігнорування затримка серіалізації буде для пакетів даних з меншим пріоритетом, ніж голосові пакети, для трафіку моделюється навантаження та затримка маршрутизатора і можна спостерігати затримку лише в черзі пріоритетів. Спосіб

обробки вимог черги пріоритетів відповідає моделі черги  $M/D/1/k$ , де  $k$  - розмір буфера кешу. З метою формулювання аналітичної моделі затримки роутера, можемо ігнорувати розмір буфера і розглянути систему з достатнім розміром буфера без втрати пріоритетних пакетів. Припустити цей факт ми можемо, замінивши модель  $M/D/1/k$  на модель  $M/D/1/\infty$ . Тоді ми можемо сформулювати аналітичне вираження ймовірності того, що буфер в маршрутизаторі буде заповнений. Отже, далі можна сформулювати аналітичну модель затримки пакетів в маршрутизаторі. Для моделі  $M/D/1/\infty$  перехід від одного стану може бути лише до найближчого. Ця модель відповідає отриманню або відправленню одного пакету. Модель можна застосувати за допомогою наступного припущення:

- інтервали між вхідними індивідуальними запитами відповідають розподілу ймовірностей Пуассона. Якщо ми припустимо, що голосовий трафік з  $M$  джерел на вході моделі маршрутизатора та кожне джерело відповідають розподілу ймовірностей Пуассона [20], то їх сума разом матиме ймовірність розподілу Пуассона теж;
- $\lambda(t)$  - щільність вірогідності обслуговування є постійною. Якщо ми розглянемо модель затримки з  $M$  вхідними голосовими потоками, які не зароджуються і не зникають за якийсь час, тоді ця презумпція виконується;
- обробкою займається правило FIFO (First In, First Out), стандартний метод обробки маршрутизатора в черзі PQ відповідає правилу FIFO;
- час обробки - це постійний параметр, якщо припустити, що  $M$  вхідні голосові потоки будуть використовувати той же компресійний кодек і що вони будуть генерувати пакети однакового розміру, то час відправки кожного пакету по вихідному посилянню буде постійним, тому час обробки буде також постійним.

За допомогою цих припущень ми можемо розрахувати навантаження системи з рівняння (3.11), тобто завантаження вихідного зв'язку за допомогою голосових пакетів.

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

де:

$\lambda$  - інтенсивність вхідних запитів [ $s^{-1}$ ];

$\mu$  - швидкість обслуговування [ $s^{-1}$ ];

$\rho$  - навантаження системи.

Для стабільності системи, навантаження на систему має бути:  $0 \leq \rho < 1$ .

Якщо припустити, що одне джерело трафіку з постійною швидкістю передачі бітів  $C_{BW}$  і в нього постійний розмір пакетної передачі даних  $P_S$ , ми можемо виразити інтенсивність вхідних запитів:

$$\lambda = \frac{C_{BW}}{P_S} [s^{-1}]; \quad (3.12)$$

Вартість обслуговування дорівнює:

$$\mu = \frac{1}{T_{\delta сер} + T_S} [s^{-1}]; \quad (3.13)$$

тут:

$T_{\delta сер}$  - затримка серіалізації вихідного зв'язку [s],

$T_S$  - час обслуговування пакетів в маршрутизаторі [s].

Тоді ймовірність  $k$ -запитів очікування в системі може бути виражена як:

$$\begin{aligned} p_k &= (1-\rho) \sum_{j=1}^k \frac{(-1)^{k-j} (j \cdot \rho)^{k-j-1} (j \cdot \rho + k - j) e^{(j \cdot \rho)}}{(k-j)!} && \text{for } k \geq 2; \\ p_k &= (1-\rho)(e^\rho - 1) && \text{for } k=1, \\ p_k &= (1-\rho) && \text{for } k=0 \end{aligned} \quad (3.14)$$

Середній час очікування запиту в системі може виражатися (3.15):



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

де  $1/\mu$  - час обслуговування одного запиту, далі означає кількість  $N$  запитів у системі, що може бути виражена як:

$$N = T \cdot \lambda \quad [-] \quad (3.16)$$

Припустимо, що  $M$  голосові потоки надходять до маршрутизатора і використовують властивості розподілу ймовірностей Пуассона, де інтегруються декілька голосових потоків з Пуассоновим розподілом ймовірностей, разом ми також отримуємо потік даних.

Розподіл ймовірностей Пуассона, чий параметр  $\lambda$  дорівнює сумі параметрів окремих голосових потоків, ми можемо виразити інтенсивністю вхідних запитів як:

$$\lambda = \sum_{i=1}^M \frac{C_{BW_i}}{P_{S_i}} \quad [s^{-1}]; \quad (3.17)$$

Якщо припустити, що весь голос надходить до маршрутизатора з тим же кодеком і всі дані передаються через те ж транспортне середовище, ми можемо спростити (3.17) до:

$$\lambda = M \frac{C_{BW}}{P_S} \quad [s^{-1}]; \quad (3.18)$$

Якщо відома швидкість передачі на виході і час обслуговування пакету для конкретного маршрутизатора, можемо підставити рівняння (3.5) і (3.6) - (3.13) і дізнатись рівень обслуговування системи:

$$\mu = \frac{L_S}{P_S + H_L + L_S \cdot T_S} \quad [s^{-1}]; \quad (3.19)$$

де:

$H_L$  - розмір заголовка пакета;

$L_S$  - швидкість зв'язку;

$T_S$  - час обслуговування пакетів в маршрутизаторі.

Після підстановки рівнянь (3.18), (3.19) до (3.11) ми отримаємо наступне вираження для завантаження системи:

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

Замінивши (3.19), (3.20) і (3.21) на (3.17) отримаємо вираження середнього часу обслуговування у наступному вигляді:

$$T = \frac{1}{2} \cdot \frac{P_S + H_L + L_S \cdot T_S}{L_S} \cdot \frac{2P_S \cdot L_S - C_{BW} \cdot M (P_S + H_L + L_S \cdot T_S)}{P_S \cdot L_S - C_{BW} \cdot M (P_S + H_L + L_S \cdot T_S)} \quad [ms] \quad (3.21)$$

Аналогічно після заміни (3.17), (3.18) та (3.19) на (3.14) ми можемо виразити ймовірність  $k$ -запитів у системі:

$$\begin{aligned} p_k &= \left( 1 - M \cdot C_{BW} \cdot \frac{P_S + H_S + L_S \cdot T_S}{L_S \cdot P_S} \right) \\ &\cdot \sum_{j=1}^k [(-1)^{(k-j)} \cdot (j \cdot M \cdot C_{BW} \cdot \frac{P_S + H_S + L_S \cdot T_S}{L_S \cdot P_S})^{(k-j-1)} \\ &\cdot (j \cdot M \cdot C_{BW} \cdot \frac{P_S + H_S + L_S \cdot T_S}{L_S \cdot P_S} + k - j) \cdot \frac{e^{j \cdot M \cdot C_{BW} \cdot \frac{P_S + H_S + L_S \cdot T_S}{L_S \cdot P_S}}}{(k-j)!}] \quad \text{for } k \geq 2; \\ p_k &= \left( 1 - M \cdot C_{BW} \cdot \frac{P_S + H_S + L_S \cdot T_S}{L_S \cdot P_S} \right) \cdot (e^{j \cdot M \cdot C_{BW} \cdot \frac{P_S + H_S + L_S \cdot T_S}{L_S \cdot P_S}} - 1) \quad \text{for } k=1, \end{aligned}$$

$$p_k = \left(1 - M \cdot C_{BW} \frac{P_S + H_S + L_S \cdot T_S}{L_S \cdot P_S}\right) \quad \text{for } k=0 \quad (3.22)$$

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

$$p_{T_k} = p_k \cdot \frac{P_S + H_L + L_S \cdot T_S}{L_S \cdot P_S} \quad \text{for } k=\langle 0, \infty \rangle. \quad (3.23)$$

Рівняння (3.21), яке зображує середню затримку пакету в маршрутизаторі разом з рівнянням (3.23) утворюють математичне модель затримки роутера. З цією моделлю, для якої можна обчислити затримку пакету в маршрутизаторі обрана конфігурація вхідних параметрів. Необхідно усвідомити, що ця модель затримки пакетів маршрутизатора включає затримку серіалізації виходу посилання. Загалом затримка, отримана від цієї моделі і серіалізація затримки вихідної ланки безпосередньо включені в розрахунок.

### 3.12 Постійна математична модель, загальна затримка в мережі VoIP

Використовуючи інформацію з попередніх розділів, ми можемо виразити модель загальної затримки в мережі, яка з цього випливає. Припустимо, структура мережі, проілюстрована на рис.3.2. Є дві комунікаційні кінцеві точки, сполучені наскрізь, 4 маршрутизатори з 5 різними лініями. Мережа несе голос і передачу даних, і для спрощення ми припускаємо, що всі голосові потоки використовують однакове стиснення і алгоритми з однаковими налаштуваннями. Кінцеві точки визначаються використовуваним кодеком та розміром пакетів даних, що генеруються. Кожен рядок задається символом його швидкості передачі даних, використаними протоколами передачі, технологією передачі та їх тривалістю.

Маршрутизатори в мережі визначають затримку обробки, і вони обслуговують узгодження зв'язків. Буфер приймача призначений для компенсації завмирання, яка визначається його розміром.

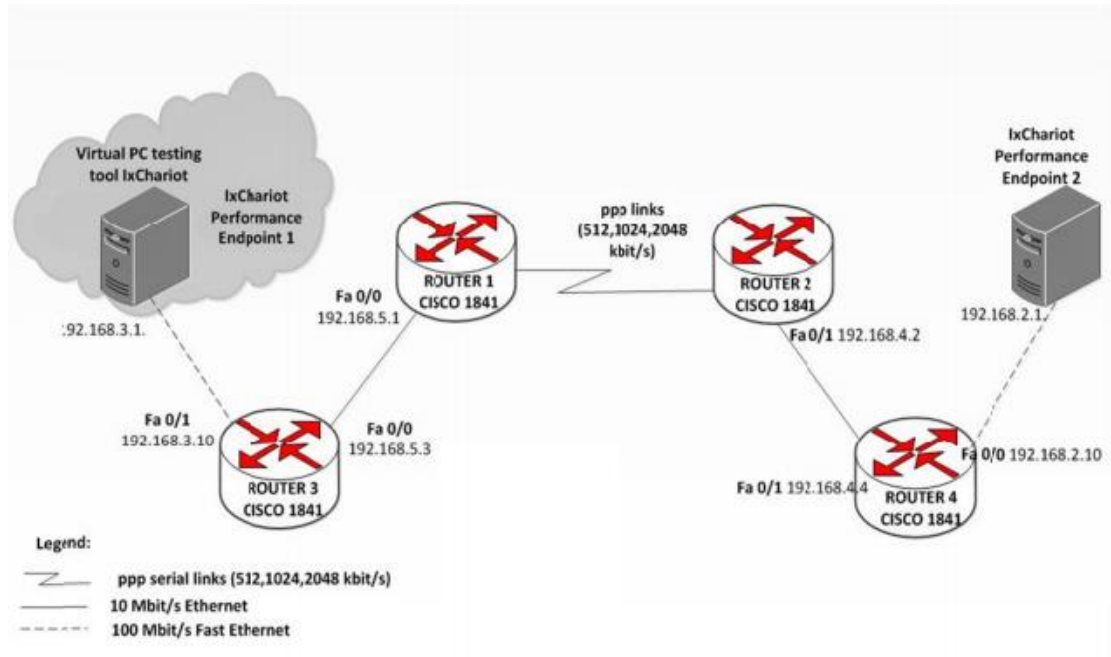


Рис. 3.2. Структура змодельованої VoIP-мережі

На основі попередньої інформації ми можемо висловити повну затримку наступним чином:

$$T = (N + 1)T_{\chi CDalg} + T_{\chi CDcomp} + T_{\pi PD} + \sum_{i=1}^5 T_{\delta ser1} + \sum_{i=1}^5 T_{\omega PROP1} \sum_{i=2}^5 T_{\beta QD2} + \sum_{i=2}^5 T_{\epsilon PR2} + T_{\Delta DJ} + T_{\pi \mu DPD} + T_{\chi v DCD} \quad [\text{ms}] \quad (3.24)$$

Потім після підстановки отримуємо математичну модель затримки в мережі:

$$T = (1 + 0.1 \cdot N)(N + 1)T_{\chi CDalg} + T_{\chi CDcomp} + \frac{8 \cdot P_S}{C_{BW}} + \sum_{i=1}^5 \frac{L_i}{v} + \sum_{i=2}^5 T_{\epsilon PRi} + T_{\Delta DJ} + T_{\pi \mu DPD} + \frac{1}{2} \sum_{i=2}^5 \left[ \frac{P_S + H_{Li} + L_{Si} \cdot T_{si}}{L_{Si}} \cdot \frac{2P_S \cdot L_{Si} - C_{BW} \cdot M_i (P_S + H_{Li} + L_{Si} \cdot T_{si})}{P_S \cdot L_{Si} - C_{BW} \cdot M_i (P_S + H_{Li} + L_{Si} \cdot T_{si})} \right] \quad [\text{ms}] \quad (3.25)$$

де:  $N$  – число голосових блоків у пакеті;

$T_{CDalg}$  – алгоритмічна затримка кодека [ms];

$T_{CDcomp}$  – затримка стиснення кодека [ms];

$P_S$  – величина корисного навантаження [B];

$C_{BW}$  – пропускна здатність кодеку [kbit/s];

$H_{Li}$  – довжина заголовка [B];

$L_{Si}$  – швидкість  $i$ -го рядка [kbit/s];

$L_i$  – довжина  $i$ -го рядка [m];

$v$  – швидкість світла у вакуумі;

$T_{\Delta DJ}$  – затримка де-джиттера [ms];

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

$T_{\epsilon PRI}$  – затримка обробки [ms];

$T_{\mu DPD}$  – затримка декодування [ms].

Формула (3.25) є математичною моделлю затримки в IP-мережах визначеної структури. Модель може бути застосована до будь-якої відомої з топологій мережі. Якщо ми знаємо кількість трафіку у мережі, то можемо порахувати середню затримку голосового трафіку.

У сформульованій математичній моделі було зображено формування голосового трафіку. Генератор трафіку мав розподіл ймовірностей Пуассона. Це не зовсім відповідає реальним властивостям голосового трафіку, головним чином його нестабільній природі. Тому презумпція була такою, що при зростаючому навантаженні ланки математична модель не дасть достатньо точної інформації.

Результати, отримані за допомогою математичної моделі, повинні відрізняються від реального трафіку, коли навантаження посилання більше 70%. Однак вимірювання показали, що в більшості випадків, сформульована математична модель дає результати з  $\pm 10\%$  точністю із завантаженістю ланки до 80%. Зі збільшенням кількості одночасних голосових дзвінків і зменшення навантаження на зв'язок, точність отриманих результатів краща. Причиною є те, що навіть якщо окремі голосові потоки не відповідають точній моделі генератора з розподілом вірогідності Пуассона, їх сума буде збігатися з цією моделлю зі

збільшенням кількості дзвінків. Враховуючи це, в більшості прогнозованих VoIP-мереж кількість одночасних з'єднань набагато вища, результат показує, що заявлена модель забезпечить досить точні значення середньої затримки в мережі.

## ВИСНОВКИ

Враховуючи, що з кожним роком кількість інтернет-користувачів і пристроїв з доступом до мережі Інтернет тільки зростає, відповідно до світових тенденцій, зроблено висновок, що IP-телефонія дуже важлива технологія в телефонних комунікаціях, оскільки побудована за принципом комутації пакетів, який використовується в мережі інтернет. Звідси випливає, що все більше людей хочуть дослідити її перспективи і своєю діяльністю актуалізують її дослідження.

В роботі розглянуто розвиток технологій телефонного зв'язку, їх структуру і відмінності. Описано технології мультиплексування, для майбутнього розгортання мережі було проведено вибір протоколів та досліджено безпекову складову, які в комплексі змогли б надавати відповідний рівень послуг в якості зв'язку.

Досліджено різні види стиснення в кодеках, визначено їхній вплив на якість оцифровки голосу та затримку на оцифровку. Також приведено формульне вираження перетворення сигналів по різних алгоритмах, приведено загальну математичну модель, яка відображає вплив затримок на різних вузлах мережі і дає усереднене значення загальної затримки у каналі передачі даних. Ці дані допомагають при моделюванні мереж і плануванні ресурсозатратності.

Комплекс заходів, визначених для дослідження параметрів функціоналу віртуальної АТС при побудові корпоративної VoIP-мережі реалізований повністю, тому його можна вважати вдалим.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Б.С. Гольштейн. Учебник для вузов: «Системы коммутации». СПб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2003. -318 с.: ил.
2. Б.С.Гольштейн, А.В. Пинчук, А. Л. Суховицкий: IP- телефония. - М.: Радио связь, 2001. - 366с.: ил.
3. Мак-Квери, Мак-Грю, Фой. Передача голосовых данных по сетям Cisco Frame Relay, АТМ и IP.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. – 512 с.: ил.
4. Джонатан Дэвидсон, Джеймс Питерс, Манож Бхатия, Сатиш Калидинди, Судипто М. Основы передачи голосовых данных по сетям IP (IP Voice over IP Fundamentals); Вильямс, 2007.
5. Галичский К.В. Компьютерные системы в телефонии. – СПб.: БХВ – Петербург, 2002. – 400 с.: ил.
6. IP-телефония и ТфОП./ Технологии и средства связи, 1999г №2.
7. [www.h323.com](http://www.h323.com) – стандарт h.323.
8. ETSI. [etsi.org](http://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. [https://www.itu.int/ITU-D/cyb/publications/2003/IP-tel\\_report.pdf](https://www.itu.int/ITU-D/cyb/publications/2003/IP-tel_report.pdf).
10. Гилберт Хелд "Ethernet Networks: Design, Implementation, Operation, Management" и "Protecting LAN Resources: A Comprehensive Guide to Securing, Protecting and Rebuilding a Network" издательство John Wiley & Sons.
11. А.В. Росляков, М.Ю. Самсонова, И.В. Шибяев. IP-телефония. - М.: Эко-Тренд, 2003. -252.: ил.
12. ROSENBERG, J., SCHULZRINNE, H., CAMARILLO, G., JOHNSTON, A., PETERSON, J., SPARKS, R., HANDLEY, M. a SCHOOLER, E. RFC Editor. RFC 3261 SIP: Session Initiation Protocol. [Online] 2002.



- <http://www.rfceditor.org/rfc/pdf/rfc3261.txt.pdf>.
13. RFC 2543. SIP: Session Initiation Protocol. M. Handley, H. Schulzrinne, E. Schooler, J. Rosenberg. March 1999.
  14. RFC Editor. RFC 768: User Datagram Protocol. [Online] 28. 05 1980. <http://www.rfc-editor.org/pdf/rfc768.txt.pdf>.
  15. Берндт Бютнер. Безопасность VoIP: новые проблемы (17 листопада 2005).
  16. SCHULZRINNE, H. CASNER, S. FREDERICK, R. a JACOBSON, V. RFC Editor. RFC 3550 RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. [Online] 2003. <http://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc3550.txt.pdf>.
  17. HUITEMA, C. RFC 3605 - Real Time Control Protocol. RFC Editor. [Online] Microsoft, 10 2003. [Citace: 26. 12 2015.] <https://tools.ietf.org/html/rfc3605>.
  18. Росляков А.В. IP-телефония; Москва, 2008.
  19. ITU. ITU Committed to connecting the world. ITU-T Recommendations H.323. [Online] 12 2009. <http://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=H.323>.
  20. ITU. P.800 : Methods for subjective determination of transmission quality. Recommendation, ITU. [Online] ITU. [Citace: 12. 12 2015.] <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.800-199608-I/en>.
  21. В. Г. Олифер, Олифер Н. А. Новые технологии и оборудование IP-сетей. - СПб.: БХВ-Петербург, 2001. -512 с.: ил.
  22. В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. Учебник: «Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы». СПб.: Питер, 2001. -672 с.: ил.
  23. CISCO. Voice Over IP - Per Call Bandwidth Consumption. [Online] 02. 02 2006. [http://www.cisco.com/en/US/tech/tk652/tk698/technologies\\_tech\\_note09186a0080094ae2.shtml](http://www.cisco.com/en/US/tech/tk652/tk698/technologies_tech_note09186a0080094ae2.shtml).
  24. KENT, S. a SEO, K. RFC Editor. RFC 4301: Security Architecture for the Internet Protocol. [Online] 2005. <http://www.rfceditor.org/pdf/rfc4301.txt.pdf>.
  25. WESTBAY ENGINEERS. Westbay Engineers Limited - Telecommunications Software and Services. Erlang and VoIP Bandwidth calculator. [Online] 23. 05 2012. <http://www.erlang.com/calculator/eipb/>.
  26. <http://www.netlab.mephi.ru> – лабораторія мережевих технологій, статті.

27. Skinny Call Control Protocol (SCCP) - Cisco. CISCO. [Online] Cisco, 03. 01 2014.<http://www.cisco.com/c/en/us/tech/voice/skinny-call-control-protocolsccp/index.html>.
28. Александр Филимонов. Построение мультисервисных сетей Ethernet. БХВ-Петербург, 2007. ISBN 978-5-9775-0007-4
29. Документ “Understanding Delay in Packet Voice Networks” (<http://www.cisco.com/en/US/tech>)

# ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ