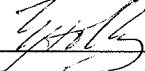


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»  
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕДИЦИНІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

УДК 621.391.63

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри  
комп'ютерних технологій у  
медицині та телекомунікаціях  
к.т.н., доц. Чухов В.В.

  
« 19 » 12 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему Дослідження якості передачі голосу в IP-телефонії

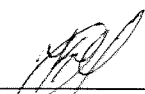
за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»  
освітній ступінь «магістр»

Виконавець роботи  
студент 2 курсу, гр.ЗТРМ-22-1

  
(дата, підпис)

Левенець О.В.

Керівник роботи  
к.т.н., доц.

  
(дата, підпис)

Коренівська О.Л.

Житомир  
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»  
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕДИЦИНІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

## **Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему Дослідження якості передачі голосу в IP-телефонії

---

---

Виконав: студент 2 курсу,  
групи ЗТРМ-22-1 спеціальності  
172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Левенець О.В.

Керівник Коренівська О.Л.

Рецензент Коломієць Р.О.

Житомир  
2023

«Затверджено»

Завідувач кафедри комп'ютерних  
технологій у медицині та  
телекомунікаціях

 Владислав ЧУХОВ  
«27» 12 2023 р.

## **Завдання на кваліфікаційну магістерську роботу**

Левенець Олексій Віталійович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження якості передачі голосу в IP-телефонії

затверджено наказом по університету від «24» листопада 2023 р. № \_\_\_\_\_

2. Мета дослідження дослідити фактори, що впливають на якість передачі голосу в IP-телефонії та шляхи покращення якості передачі

3. Вихідні дані (характеристики об'єкта, умов дослідження та ін.)  
IP-телефонія (VOIP), врахувати параметри довжина пакету, ширина смуги пропускання, фактори – затримка доставки; джиттер; пропускна спроможність мережі; ймовірність втрати пакетів.

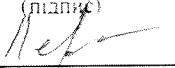
4. Основні задачі дослідження Дослідити як фактори затримки доставки, джитер та втрати в пакеті впливають на якість передачі голосу в IP-телефонії

5. Термін подання роботи до захисту 10.12.2023 р.

6. Дата видачі завдання «01» жовтня 2023 р.

Науковий керівник

Завдання прийняв  
до виконання

  
(підпис)  
  
(підпис)

Коренівська О.Л.  
(прізвище, ініціали)

Левенець О.В.  
(прізвище, ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Метою магістерської роботи є дослідження основних принципів та концепції забезпечення якості обслуговування (QoS) в мережевих системах IP та VOIP телефонії. У роботі аналізуються характеристики якості передачі голосу в IP-телефонії, фактори, які впливають на якість передачі, методи дослідження та покращення якості обслуговування IP-телефонії. Проведено аналіз методів оцінки якості передачі в IP мережі та згідно розглянутих методів було розраховано та отримано графіки зміни залежності величини затримки від завантаження системи P/P/1 для різних довжин пакетів, залежності ймовірності втрат від розміру буфера для P/P/1, характеристики величин втрат мережі  $P_{net}$  та в джиттер-буфері  $P_{ter}$  залежно від завантаження системи. Отримані характеристики дають змогу визначати клас якості послуг для різних типів реалізації мережі IP-телефонії.

## ABSTRACT

The aim of the master's thesis is to study the main principles and concepts of quality of service (QoS) in IR and VOIP telephony network systems. The paper analyzes the characteristics of the quality of voice transmission in IP telephony, factors that affect the quality of transmission, methods of research and improvement of the quality of IP telephony service. An analysis of methods for assessing the quality of transmission in the IP network was carried out, and according to the considered methods, graphs of the dependence of the delay value on the loading of the P/P/1 system for different packet lengths, the dependence of the probability of loss on the size of the buffer for P/P/1, the characteristics of the values were calculated and obtained network losses  $P_{net}$  and in the jitter buffer  $P_{ter}$  depending on the system load. The obtained characteristics make it possible to determine the service quality class for various types of IR telephony network implementation.

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота містить 57 сторінок, 18 рисунків, 10 таблиць, 12 використаних джерел.

Ключові слова: забезпечення якості обслуговування (quality of service, QoS), IP-телефонія, VOIP, передача даних, передача голосу та відео, трафік мережі, пропускна здатність, затримка, джиттер.

Метою роботи є аналіз якості обслуговування QoS IP телефонії (якості передачі голосових даних).

Об'єктом дослідження є процеси функціонування та забезпечення якості обслуговування IP-телефонії.

Предметом дослідження є методи та засоби забезпечення якості обслуговування IP-телефонії та фактори впливу на якість передачі голосу.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати можуть бути використані як рекомендації для системних адміністраторів, мережних інженерів та розробників програмного забезпечення для досягнення кращої продуктивності, ефективності та задоволення потреб користувачів в IP-телефонії.

## ЗМІСТ

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Вступ.....                                                                                                 | 7  |
| Розділ 1 IP-телефонія: стан та перспективи.....                                                            | 9  |
| 1.1 IP-телефонія і VoIP.....                                                                               | 9  |
| 1.2 Сигналізація в IP-телефонії .....                                                                      | 12 |
| 1.3 Протоколи сигналізації.....                                                                            | 13 |
| 1.4 Топологія IP-телефонії.....                                                                            | 18 |
| 1.5 Переваги IP-телефонії.....                                                                             | 20 |
| Розділ 2 Характеристики якості передачі голосу в IP-мережах.....                                           | 24 |
| 2.1 Фактори, які впливають на якість передачі голосу.....                                                  | 24 |
| 2.2 Методи оцінки якості передачі голосу у IP мережі.....                                                  | 33 |
| 2.3 Нормування параметрів якості роботи мережі IP-телефонії.....                                           | 39 |
| 2.4 Якість обслуговування в мережах IP.....                                                                | 42 |
| Розділ 3 Розрахунок показників якості обслуговування для мереж IP                                          | 48 |
| 3.1 Розрахунок показників QoS.....                                                                         | 48 |
| 3.2 Коригування втрат трафік реального часу з рахунком<br>перевищення максимально допустимої затримки..... | 54 |
| Висновок.....                                                                                              | 56 |
| Список літератури.....                                                                                     | 57 |

## ВСТУП

Поява нових технологій та протоколів передачі даних у телекомунікаційних мережах зумовлює появу нових підходів до якісного та ефективного передавання інформації. Одним із найпоширеніших типів даних, що передаються, є передача голосових повідомлень. У класичних аналогових системах передача мови здійснювалася за допомогою комутації каналів, але з появою підходу, який передбачає комутацію пакетів, з'явилася нова ідеологія до передачі голосових повідомлень. Однією з найефективніших, з точки зору використання наявної смуги пропускання каналу зв'язку та адаптивних параметрів якості, є IP-телефонія, за допомогою якої можна розгорнути телефонні корпоративні мережі.

IP-телефонія (Voice over Internet Protocol або VoIP) широко використовується як в корпоративному, так і в домашньому середовищі, і питання якості звуку залишаються ключовими для забезпечення задоволення користувачів.

Якість обслуговування (QoS) є предметом активних досліджень та стандартизації протягом усієї історії телекомунікацій та є предметом постійного та активного інтересу з боку дослідників, розробників обладнання та провайдерів мережевих послуг.

В IP-телефонії використовують спеціальні цифрові канали, як лінії передачі голосу. Існує протокол зв'язку стека TCP/IP, який є базовим для IP-мережі.

Конкуренція між операторами на національному та міжнародному телекомунікаційних ринках порушує проблему якості послуг зв'язку на одному з перших місць, і, отже, існує необхідність у стандартизації вимог до якості та методів вимірювання. Важливим завданням є створення єдиних стандартів якості. Перевірка їх відповідності стандарту здійснюється сертифікацією і дає право на отримання ліцензії. Стандартизація якості послуг у мережах зв'язку здійснюється на глобальному рівні Міжнародним

союзом електрозв'язку (МСЕ), на міжнародному рівні Європейським інститутом телекомунікаційних стандартів (ETSI), Асоціацією телекомунікаційної промисловості (TIA), Американським національним інститутом стандартів (ANSI) та інші.

Метою роботи є аналіз якості обслуговування QoS IP телефонії (якості передачі голосових даних).

Об'єктом дослідження є процеси функціонування та забезпечення якості обслуговування IP-телефонії.

Предметом дослідження є методи та засоби забезпечення якості обслуговування IP-телефонії та фактори впливу на якість передачі голосу.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати можуть бути використані як рекомендації для системних адміністраторів, мережеских інженерів та розробників програмного забезпечення для досягнення кращої продуктивності, ефективності та задоволення потреб користувачів в IP-телефонії.

Для досягнення мети необхідно виконати наступні задачі:

1. Провести огляд побудови мереж IP-телефонії. Визначити переваги та недоліки.
2. Провести визначення факторів, що впливають на якість передачі голосу. Визначити фактори, що мають найбільший вплив.
3. Провести аналіз методів оцінки якості передачі в IP мережі.
4. Розглянути питання нормування параметрів та стандартизації QoS в IP телефонії.
5. Провести розрахунки показників QoS в IP телефонії.

Методи досліджень.

- Літературний аналіз:
- Експериментальні дослідження:
- Моделювання та симуляція:
- Аналіз даних та статистична обробка:

## РОЗДІЛ 1

### ІР-ТЕЛЕФОНІЯ: СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ

#### 1.1 ІР-телефонія і VoIP [1]

ІР-телефонія – це технологія, яка пов’язує воедино переваги телефонії та Інтернету. До недавнього часу мережі з комутацією каналів (телефонні мережі) і мережі з комутацією пакетів (ІР-мережі) існували практично незалежно один від одного і використовувалися для різних цілей. Телефонні мережі використовувалися тільки для передачі голосовій інформації, а ІР-мережі – для передачі даних. Технологія ІР-телефонії об’єднує ці мережі за допомогою пристрою, званого шлюзом чи gateway. Шлюз являє собою пристрій, в яке з одного боку включаються телефонні лінії, а з іншого боку – ІР-мережу (наприклад, Інтернет) [1].

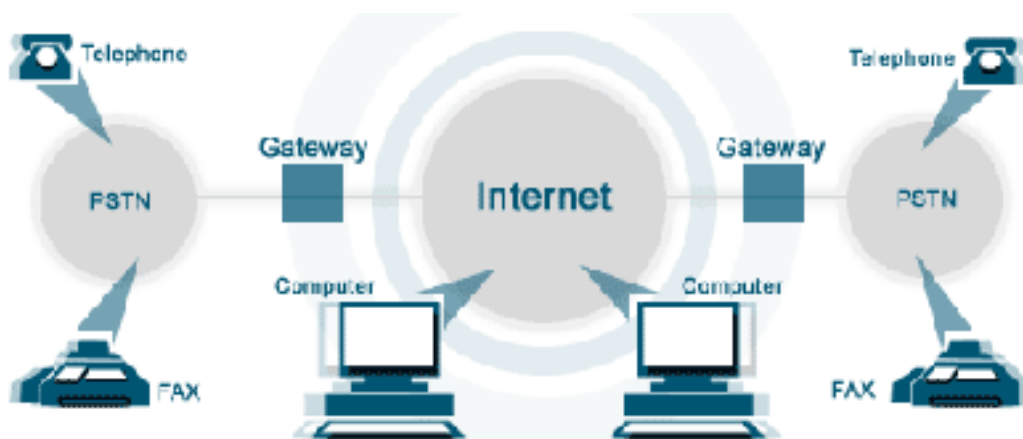


Рисунок 1.1 – Структура ІР-телефонії [1]

У загальних рисах передача голосу в ІР-мережі відбувається наступним чином (рис. 1.2) [2]. Вхідний дзвінок і сигнальна інформація з телефонної мережі передаються на мережевий пристрій, який називається телефонним шлюзом, і обробляються спеціальною картою пристрою голосового обслуговування. Шлюз, використовуючи керуючі протоколи сімейства H.323, перенаправляє сигнальну інформацію іншому шлюзу, що знаходиться на

приймальній стороні IP-мережі. Приймальний шлюз забезпечує передачу сигнальної інформації на приймальне телефонне обладнання згідно з планом номерів, гарантуючи наскрізне з'єднання. Після встановлення з'єднання голос на вхідному мережевому пристрої оцифровується (якщо він не був цифровим), кодується відповідно до стандартних алгоритмів ІТУ, такими як G.711 або G.729, стискається, інкапсулюється в пакети і відправляється за призначенням на віддалений пристрій з використанням стека протоколів ТСП/ІР. ІР-пакети, що надходять на приймальний шлюз перетворюються назад в телефонний сигнал і приймаючий абонент отримує виклик. Кінцеві споживачі послуги можуть навіть не здогадуватися про те, як здійснюється цей дзвінок.

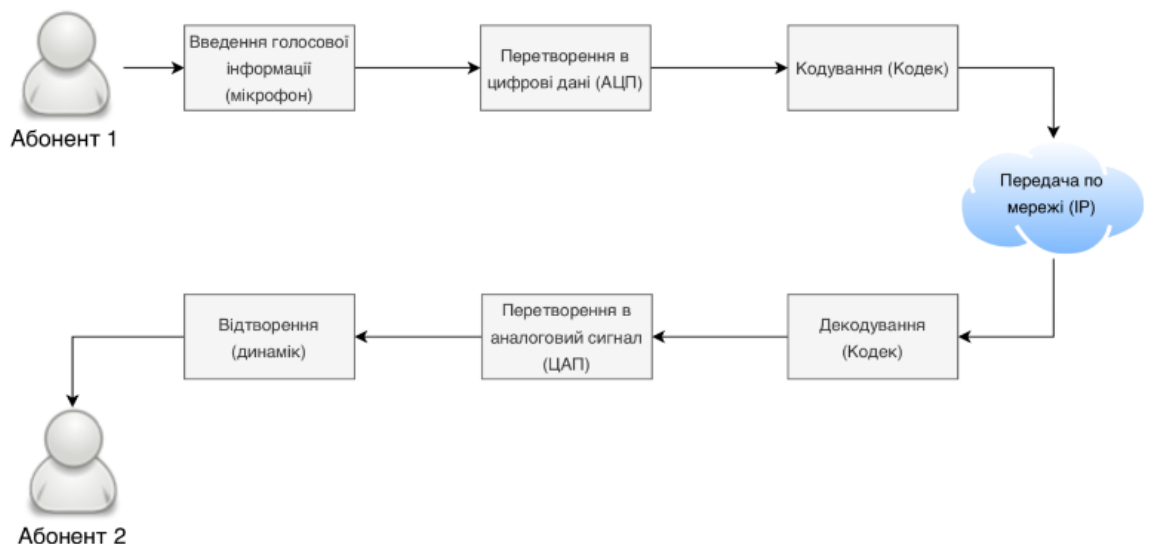


Рисунок 1.2 – Механізм передачі голосу в мережі [2]

Технологія передачі голосу по мережам ІР отримала назву Voice-over-IP (VoIP). VoIP є складовою сучасної технології ІР-телефонії (нагадаємо, що окрім передачі голосу послуга телефонії також передбачає сигналізацію).

ІР-телефонія – технологія, яка дозволяє використовувати будь-яку мережу з пакетною комутацією на базі протоколу ІР як засіб організації та ведення міжнародних, міжміських та місцевих телефонних розмов та передачі факсів у режимі реального часу. Іншими словами, використовуючи

доступні канали Інтернет, можна здійснювати дзвінки в будь-яку точку світу, де є телефон або існує доступ до Інтернету. Під IP-телефонією мається на увазі набір комунікаційних протоколів, технологій та методів, що забезпечують традиційні для телефонії набір номера, додзвон і двостороннє голосове спілкування, а також відеоспілкування через Інтернет або будь-які інші IP-мережі. Сигнал по каналу зв'язку передається в цифровому вигляді і, як правило, перед передачею перетворюється (стискається) для того, щоб видалити надлишок інформації і знизити навантаження на мережу передачі даних [1, 3].

VoIP – це технологія, яка полягає в тому, що телефонні дзвінки обробляються IP-мережею передачі даних, це може бути Інтернет чи власна внутрішня мережа організації. Однією з головних переваг VoIP є можливість зниження витрат, оскільки виклики обробляються мережею передачі даних швидше, ніж телефонною мережею компанії. На рис. 1.3 представлено схематичне представлення архітектури мережі VoIP [1, 3]

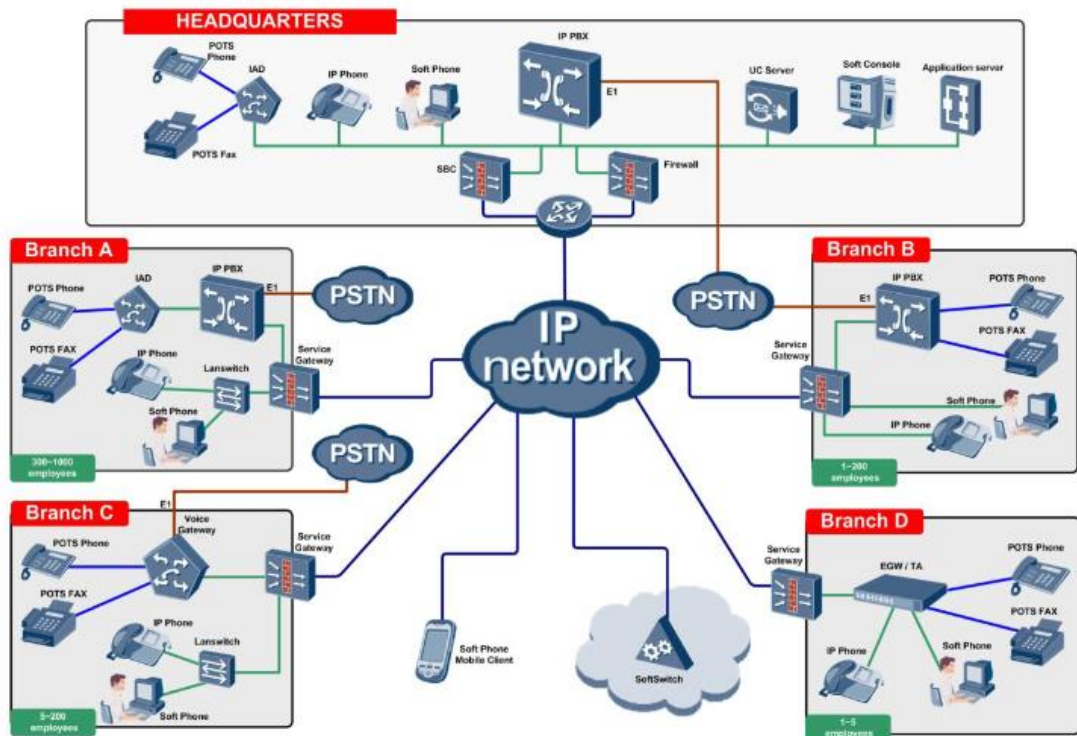


Рисунок 1.3 – Архітектура мережі VoIP [1]

## 1.2 Сигналізація в IP-телефонії

Як було зазначено на початку статті, окрім передачі голосу другою базовою функцією телефонії є сигналізація. Саме сигналізація забезпечує прокладання маршруту передачі голосових даних між потрібною парою абонентів, керує встановленням та розірванням сеансу зв'язку, координує роботу пристроїв, які задіяні в підтримці сеансу зв'язку [4]

Коли абонент набирає номер співрозмовника на своєму телефоні, він формує службову інформацію, яка передається на обладнання оператора і використовується для u1087 пошуку телефону співрозмовника. Після того, як потрібного абонента знайдено, на його телефон надсилається сигнал виклику і це також сигналізація. Також до сигналізації слід віднести повідомлення про стан абонента («очікування» або «зайнятий»), автоматичне визначення номера дозвонювача, команди переведення з'єднання на утримання, повідомлення про голосову пошту і т. п.

Кінцеві пристрої телефонної мережі – телефонні апарати беруть участь в виконанні обох основних функцій телефонії – передачі голосу та сигналізації. Операторські комутатори в мережах традиційної телефонії – АТС, також виконують обидві функції.

В IP-телефонії функції передачі голосу та сигналізації реалізуються окремо. Голос абонента перетворюється на аналоговий електричний сигнал в телефонному апараті і надалі перетворюється на послідовність IP-пакетів в VoIP-шлюзі, до якого під'єднано телефонний апарат. Сучасні IP-телефони поєднують в собі функції телефонного апарата та VoIP-шлюзу. Голосові IP-пакети між VoIP-шлюзами абонентів передаються через IP-мережу, побудовану на IP-маршрутизаторах.

Для передачі голосу по мережевому протоколу IP між VoIP-шлюзами абонентів використовуються протоколи рівня застосувань RTP та RTCP [4].

Сигналізація здійснюється пристроями керування викликами, для позначення яких використовуються такі терміни як менеджер викликів (call

manager), сервер викликів (call server), програмний комутатор (soft switch) та ін.

Оскільки ідентифікація абонента в телефонії здійснюється за допомогою телефонного номера, а зв'язок в мережах IP-телефонії відбувається по протоколу IP, до керування викликами зокрема відноситься визначення IP-адреси пристрою абонента відповідно до його телефонного номера. Функція менеджерів викликів полягає також в обміні службовою інформацією з іншими пристроями мережі IP-телефонії, в передачі голосових пакетів вони участі не беруть (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Передача голосу та керування викликами в IP-телефонії [5]

### 1.3 Протоколи сигналізації

#### Протокол H.323 [6]

Першим протоколом службової сигналізації, який здобув широке промислове використання став стандарт ITU H.323. Протокол H.323 було розроблено з наголосом на реалізацію відеоконференцій в IP-мережах, але він швидко перетворився на базовий протокол для всіх типових сценаріїв IP-телефонії. Поширенню H.323 сприяла розробка численних доповнень до нього – протокол H.323 має десятки додатків і пов'язаних з ним стандартів.

Промисловому поширенню сприяв також статус стандарту цього протоколу, адже він гарантував сумісність між собою пристроїв, які

декларували підтримку H.323. Завдяки своїй гнучкості протокол H.323 використовувався в IP-телефонних мережах як з виділеними елементами сигналізації – контролерами зон, так і в мережах на основі універсальних шлюзів, які об'єднують в собі функції передачі голосу та сигналізації.

Основними компонентами телефонної мережі на основі H.323 є такі (рис. 1.5) [6]:

- термінали – кінцеві пристрої, у якості яких можуть бути пристрої абонентів;
- контролер зони – пристрій, який здійснює керування терміналами, зокрема керування викликами;
- шлюзи – посередники між мережами IP-телефонії та мережами традиційної телефонії;
- контролери конференц-зв'язку – спеціалізовані компоненти для організації зв'язку між трьома та більше терміналами;
- проксі-сервери – посередники між терміналами та мережею H.323, які забезпечують таку додаткову функціональність до терміналів, як підтримку протоколу резервування ресурсів (Resource Reservation Protocol або RSVP), підтримку трансляції мережевих адрес (Network Address Translation або NAT), захисні функції.

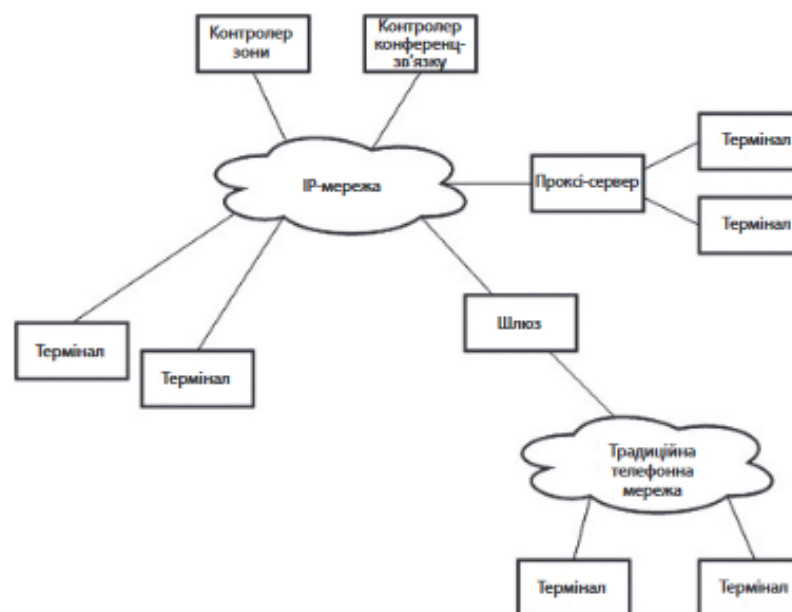


Рисунок 1.5 – Компоненти мережі на основі H.323 [6]

Гнучкість та широка функціональність протоколу H.323 в значній мірі визначили його надмірну складність. Для підвищення надійності та ефективності H.323 використовує здебільшого транспортний протокол TCP (використання UDP також можливе) і компактне кодування службових повідомлень в бінарному форматі. H.323 також характеризується довгою порівняно з іншими протоколами сигналізації тривалістю встановлення сеансу зв'язку.

### Протокол MGCP

Протокол керування медійними шлюзами (Media Gateway Control Protocol або MGCP) орієнтований на використання в телефонних мережах з централізованим керуванням (наприклад, мережа підприємства або телефонного оператора) і внаслідок обмеженої галузі застосування є значно простішим порівняно з H.323. До переваг протоколу MGCP належить можливість використання кінцевих пристроїв – медійних шлюзів, з максимально спрощеною функціональністю за рахунок концентрації всіх функцій керування на контролері (рис. 1.6) [6]

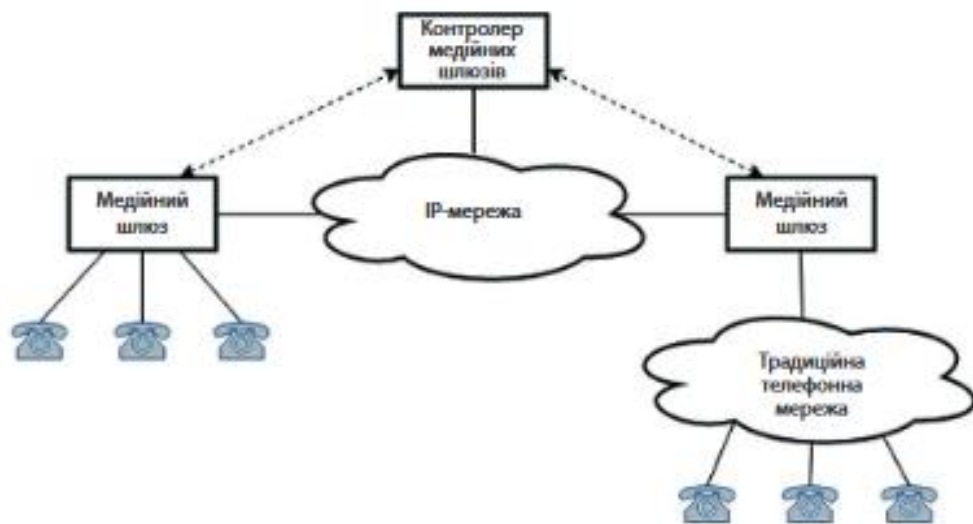


Рисунок 1.6 – Компоненти мережі на основі MGCP [6]

Обмеженням протоколу MGCP є здійснення взаємодії лише між медійними шлюзами та контролерами, в той час, як для зв'язку між різними мережами, кожна зі своїм контролером, необхідні протоколи типу H.323 або

SIP. Також базування на використанні максимально спрощених кінцевих пристроїв перешкоджало розширенню функціональності за рахунок використання сучасних більш інтелектуальних пристроїв.

### **Протокол H.248**

Протокол H.248 є значною мірою подібним до MGCP. Іншою назвою H.248 є MeGaCo, що є скороченням від Media Gateway Control. Фактично, H.248 є розвитком MGCP і при цьому має статус стандарту ITU. Вища ефективність H.248 порівняно з MGCP також зумовлюється доданою в H.248 можливістю роботи з групами кінцевих пристроїв, об'єднаних в так звані контексти, в той час як MGCP орієнтований на роботу з окремими кінцевими пристроями [6].

### **Протокол SIP**

На відміну від протоколів H.323, MGCP та H.248, які забезпечують функціонування телефонних мереж з зосередженими (централізованими) елементами керування, протокол ініціювання сеансів зв'язку (Session Initiation Protocol або SIP) призначений для симетричної взаємодії u1088 рівноправних пристроїв. В найпростішому випадку SIP може забезпечити взаємодію між парою кінцевих пристроїв – голосових шлюзів без додаткових елементів керування. З іншого боку SIP може бути використаний для взаємодії більш інтелектуальних кінцевих пристроїв ніж в MGCP з менеджером викликів. Також SIP дозволяє передачу виклику по ланцюжку з використанням багатьох проміжних пристроїв.

Порівняно з протоколом H.323, який також здатен підтримувати симетричну взаємодію, SIP зокрема має таку додаткову функціональність [6]:

- пошук фактичного місця під'єднання (реєстрації) користувача в телефонній мережі – підтримка мобільних користувачів;
- обмін інформацією щодо підтримуваних функцій між пристроями, що беруть участь в сеансі зв'язку – ефективна взаємодія між пристроями різних виробників, узгоджене впровадження підтримки нових функцій;

- визначення готовності до взаємодії абонента, якого викликають, до початку сеансу взаємодії;
- можливість динамічної зміни параметрів виклику під час сеансу взаємодії, наприклад, долучення та вилучення учасників взаємодії.

SIP має спрощену, порівняно з H.323, систему службових повідомлень, які передаються у вигляді простого тексту подібно до поширеного в Інтернеті протоколу передачі гіпер-тексту (Hyper-Text Transfer Protocol або HTTP). У якості транспортного протоколу здебільшого використовується UDP, який має менше накладних витрат порівняно з TCP (можливість використання TCP також підтримується).

Основними компонентами мережі на основі SIP є такі (рис .1.7) [6]:

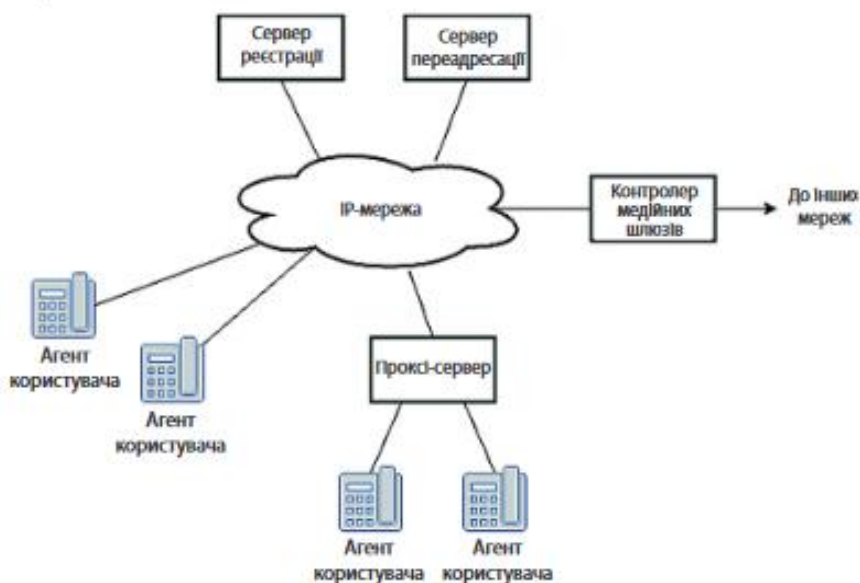


Рисунок 1.7 – Компоненти мережі на основі SIP [6]

агент користувача (User Agent) – компонент, присутній на кожному пристрої, який здійснює взаємодію з агентами користувача інших пристроїв; агент користувача може виконувати роль клієнта – ініціювати взаємодію, та сервера – відповідати на ініціативу з початку взаємодії;

- сервер реєстрації (Registrar) – компонент, який концентрує інформацію про агенти користувача, наявні в мережі, і забезпечує можливість пошуку користувача;

- проксі-сервер (Proxy Server) – посередник на шляху передачі виклику, який здійснює маршрутизацію виклику, а також виконує функції безпеки та інші технологічні функції;
- сервер переадресації (Redirect Server) – агент користувача, який у відповідь на запит взаємодії вказує на необхідність надсилання запиту до іншого агента користувача (наприклад, до користувача в іншій мережі);
- прикордонний контролер сеансів зв'язку (Session Border Controller або SBC) – посередник, який зазвичай встановлюється на стику мереж з різним адміністративним керуванням з метою безпеки, приховування внутрішньої топології мережі та інших технологічних функцій.

#### 1.4 Топологія IP-телефонії

Мережі IP-телефонії надають можливості для викликів чотирьох основних типів:

«Від телефону до телефону» (рис. 1.8). Виклик йде із звичайного телефонного апарату до АТС, на один з виходів якої підключений шлюз IP-телефонії, і через IP-мережу доходить до іншого шлюзу, який здійснює зворотні перетворення;



Рисунок 1.8 – Типологія «Від телефону до телефону» [5]

«Від комп'ютера до телефону» (рис. 1.9). Мультимедійний комп'ютер, що має програмне забезпечення IP-телефонії, звукову плату (адаптер), мікрофон і акустичні системи, підключається до IP-мережі або до мережі

Інтернет, і з іншого боку шлюз IP-телефонії має сполучення через АТС із звичайним телефонним апаратом;

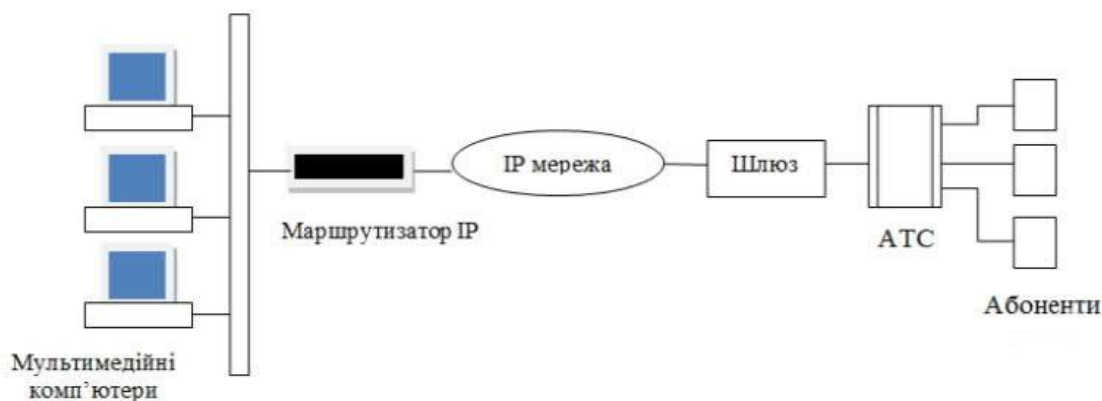


Рисунок 1.9 – Типологія «Від комп'ютера до телефону» [5]

«Від комп'ютера до комп'ютера» (рис. 1.10). У цьому випадку з'єднання встановлюється через IP-мережу між двома мультимедійними комп'ютерами, обладнаними апаратними та програмними засобами для роботи з IP-телефонією;

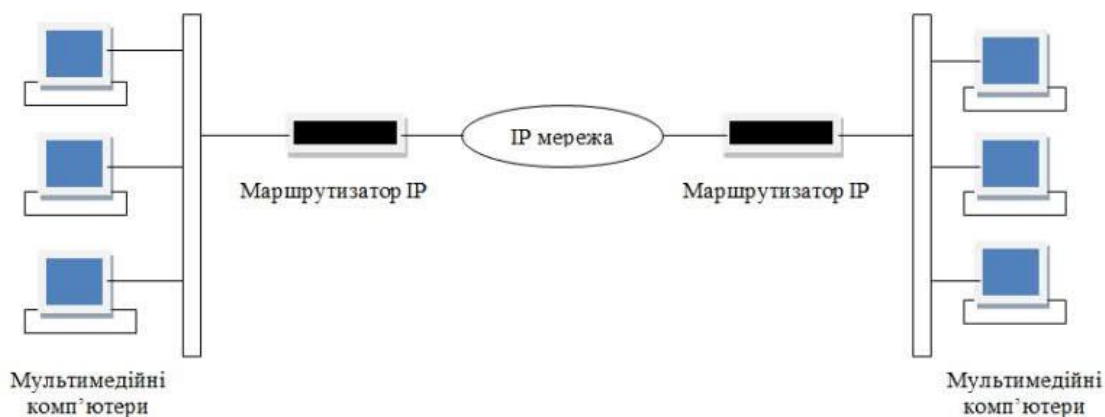


Рисунок 1.10 – Типологія «Від комп'ютера до комп'ютера» [5]

Однак дзвінок Телефон-Телефон є не єдиним сервісом, який може надавати оператор IP-телефонії. Використовуючи IP-мережу, можна обмінюватися цифровою інформацією для пересилання голосових або факсимільних повідомлень між двома комп'ютерами в режимі реального

часу. Застосування Internet дозволить реалізувати дану службу в глобальному масштабі. Для IP-телефонії найчастіше використовується стандарт H.323, який визначає передачу відео і аудіо по мережах з негарантованих якістю послуг, таким як Ethernet і IP. H.323 описує кілька елементів, в тому числі аудіо- та відеокодеки (кодери/декодери), комунікаційні протоколи і синхронізацію пакетів.

### **1.5 Переваги IP-телефонії**

До переваг використання IP-телефонії відносять [1,7]:

**Зниження витрат за комунікації.** Економія на дзвінках завдяки викликам через Інтернет.

**Якість зв'язку.** IP-телефонія забезпечує відмінну якість звуку завдяки технології цифрової передачі голосу, протоколів стиснення та використання широкосмугових каналів. Це дозволяє уникнути перешкод, викривлень та затримок, які можуть виникнути при аналоговій передачі голосу в традиційній телефонії. Висока якість звуку IP-телефонії обумовлена кількома чинниками. По-перше, при передачі голосу через Інтернет використовується цифрова технологія, яка ефективніше кодує, стискає і передає дані (порівняно з аналоговим зв'язком). Це забезпечує відсутність затримок та переривань у розмові. По-друге, технологія VoIP підтримує використання кодеків, таких як G.711, G.722, які забезпечують ширший діапазон частот і, відповідно, кращу якість звуку. По-третє, в IP-телефонії можна використовувати такі додаткові функції, як шумозаглушення та ехокомпенсацію, що також впливає на якість звуку. Таким чином, висока якість звуку в IP-телефонії обумовлена використанням цифрової технології передачі даних, широкосмугових кодеків, додаткових функцій обробки звуку та високошвидкісної мережі Інтернет.

**Розширюваність.** У разі потреби можна додати нові лінії без додаткових інвестицій в обладнання. Так як пропонована технологія

використовує для передачі голосу якраз мережі передачі даних, то з'являється можливість об'єднувати не тільки комп'ютерні мережі, але і телефонні.

**Мобільність.** Ви можете організувати віддалені контакт-центри або робочі місця без прив'язки до офісу. Можливість переносити номери при переїзді до іншого міста чи країни. Це дозволяє зберегти зв'язок зі старими клієнтами та не втрачати нових. Компанії можуть купити віртуальні номери будь-якої країни та працювати в ній без потреби мати фізичний офіс. За допомогою IP-телефонії співробітники можуть переадресовувати дзвінки на інший номер або групу номерів, що дозволяє швидко і ефективно обслуговувати клієнтів. Співробітники можуть використовувати свої смартфони або планшети як IP-телефони. При масштабуванні бізнесу додавати нові лінії та номери можна без додаткового встановлення обладнання. Робиться це, грубо кажучи, за одним натисканням кнопки. Можливість легко інтегруватися з іншими програмами, такими як електронна пошта, ERP та CRM-системи, чати та ін., що дозволяє ефективніше керувати бізнес-процесами.

**Віртуальні приватні мережі (VPN).** IP-телефонія є ідеальною технологією для побудови віртуальних приватних мереж підприємства. Головна риса технології VPN – використання IP-мережі як магістралі для передачі корпоративного IP-трафіку. Мережі VPN вирішують завдання підключення корпоративного користувача до видаленої мережі і з'єднання декількох віддалених ЛВС і АТС в єдину корпоративну мережу передачі голосу і даних.

**Глобальний роумінг.** IP-телефонія дозволяє операторам зв'язку дуже просто і з мінімальними витратами організувати роумінг послуг зв'язку. Це особливо актуально для операторів мобільного зв'язку – рішення, побудоване на технологіях IP-телефонії, на порядок дешевше традиційного, і має набагато більшу гнучкість.

**Сполучений доступ в Інтернет.** Голосові дані, факсимільні повідомлення передаються з використанням ІР – основного набору протоколів Інтернет, дане рішення само собою має на увазі доступ до ресурсів Мережі і очевидна економія на оренду ліній зв'язку і оплату послуг.

**Мінімальні вкладення в устаткування.** Якщо Ви використовуєте обладнання Cisco Systems, що відповідає всім сучасним стандартам, то Вам не буде потрібно вдаватися до якихось витрат на додаткове обладнання, як телефонне так і комутаційне. Крім того, продукція Cisco володіє достатньою гнучкістю і масштабованістю, тобто нарощувати потужність, продуктивність і функціональні можливості можна поступово, відповідаючи розвиваються потребам.

**Додаткові функції.** До них можна віднести автовідповідач, переадресацію дзвінків, відеоконференції, факс, мобільний додаток, запис розмов, готові інтеграції та ін.

Ще однією перевагою ІР-телефонії для бізнесу є **можливість інтеграції з іншими технологіями [8]**. Після інтеграції покращиться обслуговування клієнтів та підвищиться ефективність роботи з ними. Після інтеграції спроститься процес реєстрації та управління заявками на технічну підтримку. Після інтеграції можна організувати повноцінний конференц-зв'язок із використанням відео. Після інтеграції можна збирати та аналізувати дані про дзвінки та використання телефонної системи.

### **Недоліки ІР-телефонії.**

Безумовно, ІР-телефонія має низку переваг, але також є деякі недоліки. Розглянемо деякі з них [7, 8]:

**Залежність від якості Інтернет-з'єднання.** ІР-телефонія працює через Інтернет, тому його швидкість має бути стабільною. Оператор зв'язку зазвичай дає рекомендації з цього питання та проблем зі зв'язком не виникають.

**Вразливість до кібератак.** Деякі зловмисники можуть використовувати IP-телефонію для перехоплення даних, крадіжки інформації, шахрайств та навіть відмови в обслуговуванні (DDoS-атаки).

**Залежність від електрики.** Якщо у вашому офісі відбудеться збій живлення, IP-телефони просто перестануть працювати.

### **Висновки до розділу**

В даному розділі розглянуто загальні принципи побудови мережі IP-протоколів, їх переваги та недоліки.

Основні переваги IP-телефонії:

- зручність,
- відносна надійність,
- відносно невисока вартість порівняно з аналоговим зв'язком.

Недоліки IP-телефонної мережі аналогічні до інших сервісів, що використовують IP-протоколи:

- сприйнятливість до вірусних атак;
- DoS-атак;
- можливість несанкціонованого віддаленого доступу.

VoIP як складова IP-телефонії також набула своєї популярності. Розглянуто типології IP-телефонії, і тут можна виділити 4 основні типи:

- від телефону до телефону;
- від комп'ютера до телефону;
- від комп'ютера до комп'ютера;
- від WEB-браузера до телефону.

Розглянуто протоколи сигналізації, які використовуються в IP-телефонії. Проведений огляд та аналіз стане базою для визначення факторів, що впливають на якість передачі голосових повідомлень та розробки методів підвищення якості такої передачі.

## РОЗДІЛ 2

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ГОЛОСУ В IP-МЕРЕЖАХ

#### 2.1 Фактори, які впливають на якість передачі голосу

Якість обслуговування, QoS (Quality of Service) – характеристика, що визначає якість і клас обслуговування з передавання потоку даних, надаваного користувачеві через мережу, яка є критичною за часом. Тут немає певних жорстких норм, однак, заведено вважати, що постійний плавний перебіг бесіди можливий тільки тоді, коли на доставлення звуку, який виробляється мовцем, до вуха слухача витрачається 150 мс. У разі коли затримка перевищує 300 мс, учасники бесіди починають перебивати один одного. Нормальна розмова не буде можливою, якщо затримка перевищить 500 мс. [4, 9-11]

Крім виконання вимог щодо часу, необхідно щоб була гарантія, що інформація не пошкоджується під час передавання. Відновлення дискретизованого аудіосигналу на дальньому кінці не можливе при втраті величезної кількості пакетів, отже, прогалини в даних чутимуться як перешкоди або, в більш важких випадках, пропуски цілих слів або речень. Вважається, що навіть втрата 5% пакетів може сильно пошкодити мережі VoIP [10, 11].

Існує ключова проблема, яка потребує розв'язання, на сьогоднішній день Інтернет має можливість забезпечити лише негарантовану доставку даних (best effort service), що не передбачає надання будь-яких гарантій, які стосуються часу і самого факту прибуття пакета в пункт призначення [11].

Якість передачі голосу в мережах даних визначається параметрами доставки та якості обміну голосових пакетів повідомлень сигналізації. Параметри доставки голосових пакетів впливають на розбірливість,

спотворення, затримки, голосовий сигнал, рівень гучності, наявність луна. Якість сигнальних повідомлень визначає швидкість встановлення з'єднання та демонтажу, можливість розриву, затримку в появі тону або просто звуковий сигнал.

Фактори, що впливають на якість IP-телефонії для того ж способу кодування сигналу включають [4, 6]:

- Пакет затримка доставки – часовий інтервал, необхідний для передачі пакета через мережу;
- Джіттер (варіація затримки) інтервал часу між двома послідовними доставками пакетів;
- Пропускна спроможність мережі;
- ймовірність втрати пакетів;
- Необхідна ширина лінії.

Рекомендація Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ) G.114 максимальна одностороння затримка (від абонента А до абонента В), у якому висока якість голосової визначається менше або дорівнює 150 мс. Затримка менше 200 мс також вважається хорошим показником менше 400 мс – прийнятним, більше 450 мс – вже робить розмову неможливо. Загальна затримка складається з ряду компонентів – як постійний і змінний. Щоб затримати значення постійного часу є ті, які виникають, коли кодування / декодування, інкапсуляції / декапсуляція та буферизації пакетів, їх прийом та передача. Значення затримки змінюється залежно від черги пакетів та передавати їх через мережу.

Ефективне використання доступної пропускної спроможності залежить від алгоритму кодування та декодування мовних даних.

Для контролю та забезпечення прийнятних параметрів, що впливають на якість передачі голосового трафіку, використовуючи різні методи. Вибір технології визначається типом мережі, де голосові пакети передаються. У цьому випадку, проаналізовані мережу можна розділити на дві категорії, що дозволяє гарантувати необхідний рівень якості обслуговування та не

дозволяє його. Перша категорія включає корпоративні та оператори мережі IP-основи, друга – в Інтернеті.

Основними показниками якості обслуговування є пропускна спроможність мережі та затримка передачі. Затримка при цьому визначається як проміжок часу, що минув з моменту надсилання пакета, до моменту його прийому [9].

Також існують такі характеристики, як готовність мережі та її надійність (оцінюються за результатами контролю рівня обслуговування протягом тривалого часу або за коефіцієнтом використання). Для покращення якості зв'язку використовуються такі механізми [12]:

1. Перемаршрутизація. При навантаженні одного з каналів зв'язку дозволяє здійснити доставку за допомогою резервних маршрутів.
2. Резервування ресурсів каналу зв'язку на час з'єднання.
3. Пріоретизація трафіку. Дає можливість помічати пакети відповідно до рівня їх важливості та здійснювати обслуговування на основі міток.

### **Затримки передачі**

Як було сказано раніше, голосовий трафік надзвичайно чутливий до затримок передачі. Максимальний час затримки має перевищувати 400 мс (сюди включається і тривалість обробки інформації на кінцевих станціях).

Розрізняють два основні типи затримок [2, 5]:

— Затримка кодування інформації в голосових шлюзах або термінальному обладнанні. Зменшується шляхом покращення алгоритмів обробки та перетворення голосу.

— Затримка мережі передачі. Зменшується шляхом покращення мережевої інфраструктури, зокрема, скороченням кількості маршрутизаторів та використанням високошвидкісних каналів.

Є певні вимоги до максимально дозволеної затримки. Різні дослідження показують, що для проведення нормального діалогу необхідно "подвійна затримка" для голосу не перевищувала 250-300 мс. Вище за цей

поріг учасники починають почуватися некомфортно і прагнуть закінчити розмову. Таким чином, для підтримки комфортної розмови одностороння затримка не повинна перевищувати 150 мс (затримка + кодек канал, алгоритмічна затримка), що збігається з рекомендацією ITU-T G.114. Щоб зменшити затримку, що вноситься в мережі, повинні використовувати QoS (якості обслуговування).

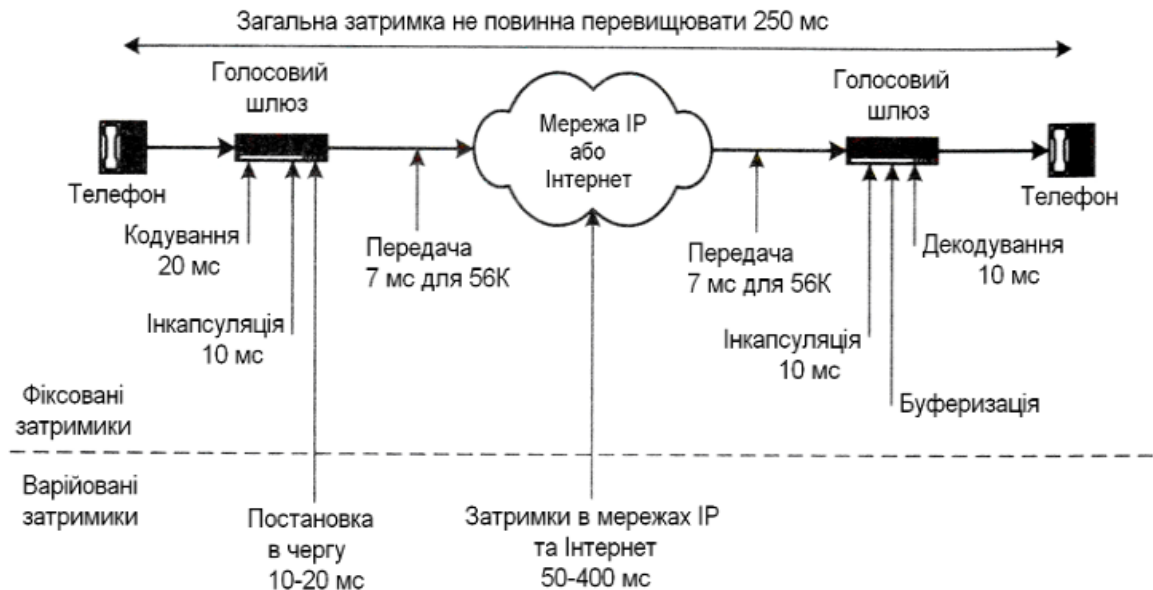


Рисунок 2.1 – Джерела затримки в IP-телефонії [2]

### Джиттер

Ще одне явище, характерне для IP-телефонії – джиттер, або інакше випадкова затримка розповсюдження пакета (рис.2.2.).

Обумовлюється джиттер трьома факторами:

- Обмежена смуга пропускання або некоректна робота активних мережевих пристроїв;
- Висока затримка розповсюдження сигналу;
- Тепловий шум.

Метод боротьби з джиттером, що найчастіше застосовується - джиттер-буфер, що зберігає певну кількість пакетів. Звичайно передбачається динамічна підстройка довжини буфера на протязі всього часу існування з'єднання. [2, 5].

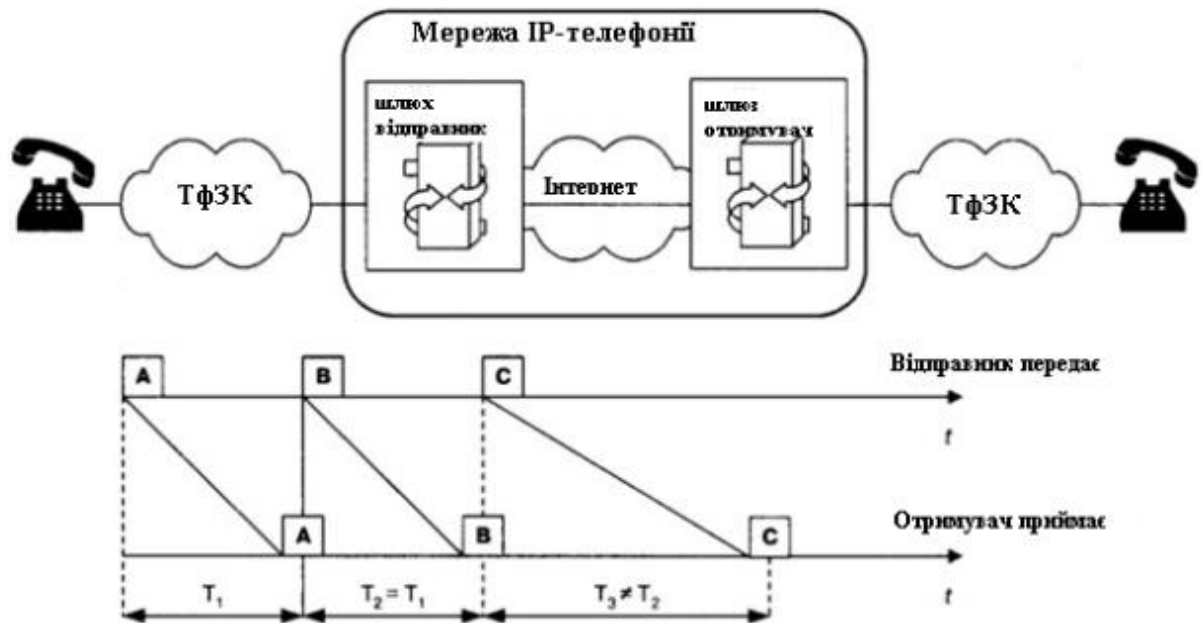


Рисунок 2.2 – Різниця інтервалів між моментами прибуття пакетів (джиттер)

### Джиттер-буфер

Для компенсації нерівномірної швидкості надходження пакетів на приймальній стороні створюють тимчасове сховище пакетів або так званий джиттер буфер (рис. 2.3). Його завдання, зібрати пакети, що надходять у правильному порядку відповідно до часових міток і видати їх кодексу з правильними інтервалами і правильному порядку.

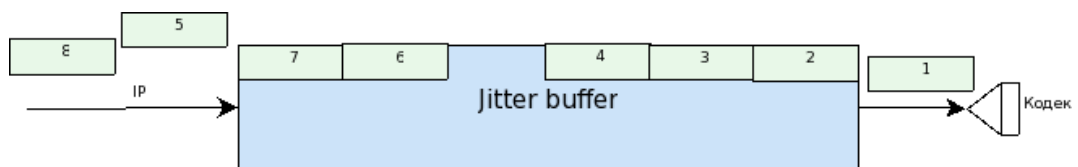


Рисунок 2.3 – Джиттер-буфер

Розмір буфера приймальний VOIP пристрій розраховує в процесі роботи, або примусово задається в налаштуваннях. З одного боку, він не може бути занадто великим, щоб не збільшувати транспортну затримку. З іншого боку, невеликий розмір буфера викликає втрати пакетів при зміні часу затримки в IP мережі [9].

Звідси й походить одна з головних протиріч, між інтернет провайдерами та користувачами IP телефонії. З погляду провайдера всі пакети доставлені абоненту, тобто втрат немає. А з погляду VoIP пристрою, різниця у часі між приходом пакетів значно перевищує джиттер буфер. Тож фактично втрати є. Насправді втрата понад 1% викликає певні неприємні відчуття. При 2% розмова виявляється утрудненою. За значень більше 4% розмова вже практично неможлива [9].

### **Вплив мережі**

По-перше, нестабільний і погано передбачуваний рух пакетів через мережу. Якщо навантаження на мережу є відносно невеликим, маршрутизатори та комутатори, безумовно, можуть обробляти пакети практично миттєво, і лінії зв'язку майже завжди доступні. Якщо навантаження на мережу є відносно великим пакети можуть очікувати досить тривалий термін служби у чергах. Чим більше маршрутизатори, комутатори та лінії в маршруті, який проходить пакет, тим більше його час затримки.

### **Ефект від операційної системи [5]**

Більшість програм IP-телефонії (особливо клієнт) є звичайні програми, які працюють в будь-якому операційному середовищі, такому як Windows, або Linux. Ці програми доступ до периферійних пристроїв (мова обробки дощок сигналів, спеціалізовані дошки систем сигналізації) через інтерфейс прикладних програм для взаємодії з драйверами цих пристроїв, і доступ до мереж на основі IC через Socket-інтерфейс.

Більшість операційних систем не може контролювати розподіл процесорного часу між різними процесами на краще, ніж кілька десятків мілісекунд, а не можуть бути оброблені в той же час більш ніж одне переривання від зовнішніх пристроїв. Це призводить до затримки в переміщенні даних між мережевим інтерфейсом і зовнішнім пристроєм є мовленнєвий висновок, незалежно від кодування мови алгоритм, той же порядок величини, або навіть більше.

Звідси впливає, що вибір операційної системи є важливим чинником,

що впливає загальну затримку. Щоб звести до мінімуму вплив операційної системи, деякі виробники шлюзів і IP-телефон використовують так званий ОС реального часу (VxWorks, ОПМ, QNX Neutrino і т.д.), які використовують більш складні механізми для поділу часу процесора, що працює в цьому випадку забезпечити більш швидке реагування на переривання та більш ефективного обміну потоками даних між процесами.

Інший, більш плідний підхід – перекласти всі функції, які повинні бути виконані в суворому періоді часу (обмін даними між мовними кодеками і мережевим інтерфейсом підтримки RTP і т.д.) на окремому високошвидкісному процесорі спеціального призначення. При надсиланні голосових даних виділеної мережі периферійні пристрої з інтерфейсом, а операційна система підтримує лише керуючі станція алгоритми з'єднань і протоколи сигналізації, тобто завдання, котрим потрібні тимчасові обмеження. Цей підхід реалізований у тарифах додатків IP-телефонії виробництва компанії Dialogic, Audiocodes, природних Microsystems. Ця ж технологія зробила і IP-телефонія платформи Proteus-IP, що забезпечує високу якість передачі голосу.

### **Вплив кодека та кількість кадрів, що передаються в пакеті**

Більшість сучасних, ефективних мов кодування/декодування орієнтовані на передачу інформаційних кадрів, але не послідовність кодів окремих зразків. Таким чином, у терміни, що визначається довжиною кодека повинен накопичити певну послідовність довжини цифрових уявлень зразків. Крім того, деякі кодеки потребують більше мовної інформації, ніж це має міститися у кадрі. Це неминучий час накопичення і попередній аналіз був включений до загальної затримки пакета.

На перший погляд, можна зробити висновок, що чим менша довжина кадру, тим менша затримка. Однак, як буде показано нижче, через значну кількість службової інформації, що передається в RTP/UDP/IP-пакетів, передача більш дрібні шматки даних дуже неефективною, так що застосування низької кодека довжини кадру мати кілька кадрів упаковані в

один пакет. Крім того, кодеки з більш довгими кадрами є більш ефективними, тому що вони можуть "спостерігати" сигнал протягом більш тривалого часу, і, отже, може ефективніше імітувати сигнал.

Рекомендація МСЕ-Т G.114 визначає вимоги щодо якості передачі голосу. Це вважається хорошим, якщо затримка прохід у передачі сигналу в одному напрямку не перевищує 150 мс (рис. 2.4) [2, 4]. Сучасне обладнання ІР-телефонії, вводить затримку близько 60-70 мс. Таким чином, є ще близько 90 мс для затримки передачі по мережі ІР-пакета від відправника до одержувача, а значить в змозі забезпечити на сучасному рівні передачі технологій мови з досить гарною якістю.

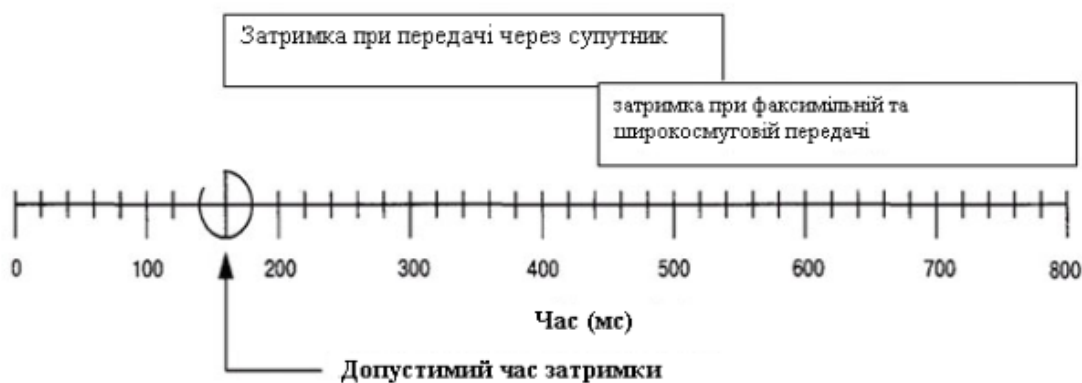


Рисунок 2.4 – Затримка під час передачі [2]

На рис.2.4 наведено також характеристики супутникової передачі, при якій потрібно приблизно 250 мс для того, щоб сигнал досяг супутника і повернувся назад до Землі (без урахування витрат часу на обробку сигналу). Отже, повний час затримки перевищує 250-300 мс. Згідно з рекомендацією G.114, така затримка виходить за межі діапазону, прийнятного для передачі мови. Тим не менш, щодня значна кількість розмов ведеться супутниковими лініями зв'язку. Отже, прийнятна якість мови визначається, насамперед, вимогами користувачів.

### Відлуння

Феномен луни викликає труднощі при розмові і у того, хто говорить, і у того, хто слухає. Той, хто говорить, чує з певною затримкою свій власний

голос. Якщо сигнал відбивається двічі, то слухач двічі чує мову промовця (друге — з ослабленням і затримкою). Відлуння може мати електричну та акустичну природу [12].

Відображення у дифсистемі є невід'ємною властивістю ТФОП. Тому вони виявляються при взаємодії ТФОП та ІР-мереж.

З метою економії кабелю ТФОП для підключення абонентських терміналів з давніх-давен використовуються двопровідні лінії, по яких мовні сигнали передаються в обох напрямках. Більше того, у багатьох телефонних мережах передача сигналів обох напрямків по двох проводах використовується і в сполучних лініях між електромеханічними АТС [6] (хоча тепер для організації зв'язку між АТС все частіше використовується роздільна передача сигналів різних напрямків, тобто чотирипровідна схема їх передачі)). Для поділу сигналів різних напрямків у терміналах абонентів (телефонних апаратах) і АТС застосовуються прості мостові схеми, звані дифсистемами (hybrid). Робота цих мостових схем ґрунтується на узгодженні імпедансів у плечах моста, одним із плеч якого є двопровідна абонентська лінія. Так як абонентські лінії можуть дуже сильно відрізнятися за своїми параметрами (довжині, діаметр жил кабелю і т.п.), то досягти точного узгодження (тим більше, у всій смузі переданих частот) неможливо. Натомість адміністрація зв'язку змушена орієнтуватися на деяку середню величину імпедансу для всіх абонентських ліній своєї національної мережі. Це призводить до того, що сигнали прямого та зворотного напрямку здебільшого не поділяються повністю, і в дифсистемі виникає часткове відображення сигналів.

Якщо затримка поширення сигналу в мережі невелика (що зазвичай і буває в місцевих мережах), такий відбитий сигнал просто непомітний і не викликає неприємних відчуттів. Якщо затримка досягає величини 15-20 мс, виникає ефект «величезного порожнього приміщення». При подальшому збільшенні затримки суб'єктивна оцінка якості розмови різко погіршується до повної неможливості продовжувати розмову.

В рамках ТФОП проблема такого луна відома з тих пір, коли телефонна мережа стала настільки протяжною, що затримки розповсюдження сигналів перестали бути невідчутними. Було розроблено й методи боротьби з цим феноменом – від мінімізації затримок шляхом відповідного планування мережі до застосування ехозагороджувачів та ехокомпенсаторів [2].

Акустична луна виникає при користуванні терміналами гучномовного зв'язку, незалежно від того, яка технологія використовується в них для передачі інформації. Акустична луна може мати значну тривалість, а особливо неприємною буває зміна її характеристик при зміні, наприклад, взаємного розташування терміналу і того, хто говорить, або навіть інших людей у приміщенні. Ці обставини роблять побудову механізмів ефективного придушення акустичного луна дуже складним завданням.

## **2.2 Методи оцінки якості передачі голосу у IP мережі**

Затримка, джиттер і втрата голосових пакетів безпосередньо впливають на якість передачі даних голосу. Ці параметри є типовими для звичайних телефонних систем, так і для оцінки якості передачі пакета мовних потрібні критерії, які відрізняються від тих, які використовуються для нормалізації аналогових і цифрових голосових каналів.

На різному характері передачі інформації через комутовані мережі IP-засновано найбільш надійний спосіб порівняти якість переданої мови – це суб'єктивний метод консенсусу (Mean Opinion Score - MOS). MOS бали розраховуються після прослуховування групою людей, які пройшли тестування голосу каналу за шкалою. Оцінки 3,5 бала і вище відповідають стандарту та високій якості дзвінка, 3,0...3,5 – прийнятній, 2,5...3,0 – синтезовані звуки. Для голосу з гарною якістю слід керуватися не менше 3,5 MOS пунктів.

Іншим методом суб'єктивної оцінки є використання одиниць оціненого  $R$  (якість оцінки) на стобальному масштабі. МСЕ-Т рекомендує

використовувати одиниці  $R$ , які були використані в минулому поданні ETSI. Як основа для оцінки прийнято Рекомендації MCE-T G.109 для PSTN (див. таблицю 2.1). Якість з'єднання  $R < 50$  не рекомендується MCE-T.

МОП блок пов'язаний зі складною нелінійною залежністю  $R$  (Рекомендація G.107). Вища якість  $R = 100$  відповідає  $MOS = 4,5$ . На практиці, для швидкого перерахунку в найбільш важливому діапазоні  $2,5 < MOS < 4,4$  використовують просту лінійну апроксимацію  $MOS = R/20$ . Її помилка менша 5%, що цілком можливо, враховуючи розкид у суб'єктивній оцінці. Отже, для з'єднання хорошої якості, бажано обмежити перші три категорії, тобто забезпечити  $R < 70$  або  $MOS < 3,5$ .

Таблиця 2.1

Бали для оцінки якості (за рекомендацію MCE-T G.109) для мережі ТФОП

| Діапазон $R$   | Категорія якості речі | Задоволеність користувачів  |
|----------------|-----------------------|-----------------------------|
| $90 < R < 100$ | Найкраща (best)       | Задоволені в вищому ступені |
| $80 < R < 90$  | Висока (high)         | Задоволені                  |
| $70 < R < 80$  | Середня (medium)      | Деякі незадоволені          |
| $60 < R < 70$  | Низька (low)          | Багато хто не задоволений   |
| $50 < R < 60$  | Погана (poor)         | Майже всі не задоволені     |

Недоліками зазначених способів вимірювання якості передачі мовлення є їх суб'єктивізм та неефективність. Ці методи не можуть бути використані на практиці для управління мережею, тому що вони не враховують вплив різних параметрів роботи IP-мережі на загальну величину передачі якості.

Крім суб'єктивних методів, є також автоматичний метод вимірювання якості передачі мови, названий PSQM (Perceptual Speech Quality Measurement), представлений в Рекомендації ITU-T P.861. Цей метод заснований на порівнянні еталонного мовного сигналу та сигналу, що надійшов із кодека або IP-мережі (див. рис. 2.5).

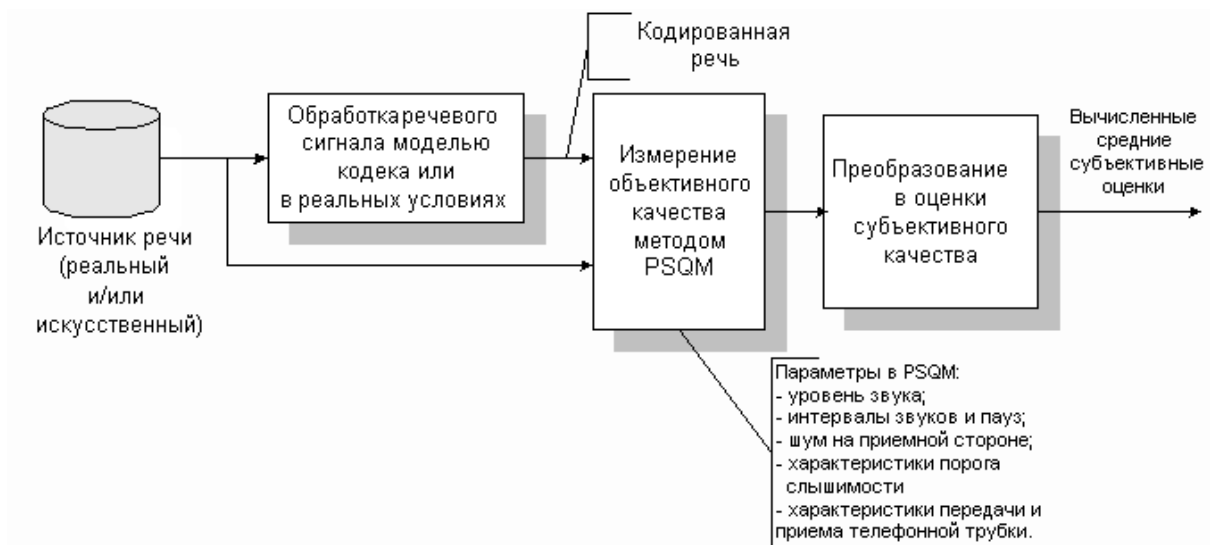


Рисунок 2.5 – Схема вимірювання об'єктивної якості мови методом PSQM

Метод PSQM можуть бути використані для порівняння якості різних кодеків мови або мереж, але це також не дозволяє вплив окремих параметрів на якість IP-мережі передачі голосу.

Найзручніший для оцінки ефективності роботи реальних мереж IP-телефонії є "параметр прогнозованого погіршення" методу ICPIF, на основі Рекомендації MCE-T G.113. Основна ідея методу полягає у обчисленні значень різних параметрів погіршення якості голосового зв'язку для кожної частини мережі зв'язку та додавання цих значень для отримання загального параметра. Існують різні фактори погіршення якості передачі мови в мережі зв'язку (шум, затримка, луна тощо) та MCE-T ділить їх на п'ять категорій. Розмір загального погіршення параметра  $I_{tot}$  визначається як:

$$I_{tot} = I_o + I_q + I_{dte} + I_{dd} + I_e, \quad (2.1)$$

де  $I_o$  – параметр погіршення якості, зумовлений неоптимальним рівнем гучності та/або високим шумом у каналі;

$I_q$  – параметр погіршення якості, зумовлений шумами квантування в ІКМ;

$Idte$  – параметр погіршення якості, зумовлений акустичним відлунням;

$Idd$  – Параметр погіршення якості, обумовлений передачею мови на велику відстань (затримка);

$Ie$  – параметр погіршення якості, обумовлений спеціальними пристроями, зокрема низькошвидкісними кодеками.

Для порівняння роботи різних мереж IP-телефонії можна не враховувати параметри  $I_o$  та  $I_q$ , а значення  $Idte$  прийняти рівним нулю. Залежність величини параметра  $Idd$  від затримки передачі мовного сигналу мережі наведена у Рекомендації G.113 (див. таблицю 2.2).

Таблиця 2.2

Залежність параметра  $Idd$  від затримки

| Затримка (мс) | Параметр $Idd$ |
|---------------|----------------|
| 150           | 0              |
| 200           | 3              |
| 250           | 10             |
| 300           | 15             |
| 400           | 25             |
| 500           | 30             |
| 600           | 35             |
| 800           | 40             |
| >800          | 40             |

Параметр  $Ie$  використовується з метою оцінки якості роботи складних пристроїв обробки мовних сигналів, наприклад, низькошвидкісних кодеків.

У Рекомендації G.113 кожен тип кодека характеризується специфічним параметром  $K_i$  з метою оцінки погіршення якості передачі промови. Коли IP-телефонному з'єднанні використовується кілька різних кодеків, то загальна величина параметра погіршення  $Ie$  визначається підсумовуванням індивідуальних значень параметра  $K_i$  кожного кодека:

$$Ie = \sum K_i \quad (2.2)$$

У таблиці 2.3 наведено величини параметра для деяких найбільш поширених кодеків, частина з яких застосовується в мережах IP-телефонії.

Таблиця 2.3

Значення параметра  $K$ 

| Тип кодека                          | Швидкість передачі (Кбіт/с) | Параметр $K$ |
|-------------------------------------|-----------------------------|--------------|
|                                     | 64                          | 0            |
| APDCM(G.726, G.727)                 | 40                          | 2            |
|                                     | 32                          | 7            |
|                                     | 24                          | 25           |
|                                     | 16                          | 50           |
| CS-ACELP/CA-ACELP<br>(G.729/G.729a) | 8                           | 10           |
| LD-CELP(G.728)                      | 16                          | 7            |
|                                     | 12.8                        | 20           |
| VSELP(IS54,USA)                     | 8                           | 20           |
| RPE-LTP(GSM)                        | 13                          | 20           |

Слід зазначити, що в Рекомендації G.113 не вважається таким важливим фактором погіршенні якості IP-телефонії промови мереж, втрати пакетів. Насправді, з урахуванням цього чинника пропонується обчислити відсоток втрачених пакетів методом PSQM і це визначається параметрами, певного типу кодека і швидкістю передачі пакетів. Значення параметрів якості голосу деградації, з втратою пакетів наведені в таблиці 2.4 [10].

Якість передачі в різних мережах зв'язку значною мірою визначається з урахуванням людського чинника сприйняття очікуваного рівня якості.

Наприклад, через специфіку стільникових мобільних користувачів очікуємо зниження якості передачі голосу, ніж провідних мереж. Цей суб'єктивний елемент сприйняття якості голосу в різних мережах склали за рахунок зниження погіршення параметрів  $I_{spif}$  певної кількості фактора очікування:

$$I_{spif} = I_{tot} - A. \quad (2.3)$$

Таблиця 2.4

Значення параметра  $I_e$  з урахуванням втрат пакетів

| Втрати пакетів, % | Параметр $I_e$ |                    |
|-------------------|----------------|--------------------|
|                   | кодек G.711    | кодек G.729/G.792a |
| 0                 | 0              | 10                 |
| 1                 | 8              | 15                 |
| 2                 | 12             | 20                 |
| 3                 | 18             | 25                 |
| 4                 | 22             | 30                 |
| 5                 | 26             | 34                 |
| 6                 | 28             | 38                 |
| 7                 | 30             | 40                 |
| 8                 | 32             | 42                 |
| 9                 | 34             | 44                 |

Коли параметр очікування  $A$  дорівнює нулю, то  $I_{tot} < I_{cpif}$  і в цьому випадку характеристики якості передачі мови визначаються лише параметрами погіршення якості мережевими пристроями. Це справедливо лише для провідних мереж зв'язку. У Рекомендації G.113 наведено чисельні значення фактора очікування  $A$  для різних мереж передачі (табл. 2.5).

Для IP-телефонії значення параметра  $A$  у рекомендації G.113 не визначено. Однак для загальної оцінки якості роботи мережі IP-телефонії можна запропонувати використовувати значення  $A = 15-30$  для певних часток викликів

Таблиця 2.5

Чисельні значення фактора очікування  $A$ 

| Мережа зв'язку                                                       | Параметр $A$ |
|----------------------------------------------------------------------|--------------|
| Дротова мережа зв'язку                                               | 0            |
| Мобільна мережа бездротових телефонів                                | 5            |
| Мобільна стільникова мережа (великій території або рухомому об'єкті) | 10           |
| Супутникова мережа                                                   | 20           |

У таблиці 2.6 наведено граничні значення параметра *Iscrif* для різних рівнів якості передачі мови відповідно до Рекомендації G.113.

Таблиця 2.6

Граничні значення параметра *Iscrif*

| Розмір параметра <i>Iscrif</i> | Якість передачі мови     |
|--------------------------------|--------------------------|
| 5                              | Дуже гарне               |
| 10                             | Гарне                    |
| 20                             | Задовільне               |
| 30                             | Іноді погане             |
| 45                             | Часто погане             |
| 55                             | В основному незадовільне |

### 2.3 Нормування параметрів якості роботи мережі IP-телефонії

Європейський інститут стандартизації телекомунікацій ETSI пропонує розділити мережі IP-телефонії на чотири класи за якістю обслуговування QoS, основним показником якого є затримка пакетів. У Рекомендації ITU-T G.114 для телефонної мережі загального користування наведено близькі до градацій ETSI затримки, які відповідають різним видам зв'язку:

- До 150 мс – вихідна норма;
- до 260 мс – затримка ділянки супутникового зв'язку;
- до 400 мс – допустима затримка з урахуванням ділянки супутникового зв'язку;
- понад 400 мс – неприпустима затримка.

У таблиці 2.7 наведено рекомендації щодо затримки ITU-T (у таблиці дані зіставлені з класами QoS ETSI і доповнені оцінкою якості промови в балах MOS за Рекомендаціями P.800 і P.830).

Таблиця 2.7

Величина затримки для різних класів обслуговування мови:

| Класи    |       | Вищий<br>(Best) | Високий<br>(High) | Середній<br>(Medium) | Нижчий<br>(Low) |
|----------|-------|-----------------|-------------------|----------------------|-----------------|
| Затримка | ETSI  | <150мс          | <250мс            | <350мс               | <450мс          |
|          | ITU-T | <150мс          | <260мс            | <400мс               | <400мс          |
| БалиMOS  |       | >4,5            | 4,0-4,5           | 3,5-4,0              | 3,0-3,5         |

Для кожного класу діє наступна суб'єктивна оцінка якості ETSI:

- Вища – еквівалентно чи краще, ніж комутованої телефонної мережі загального користування (PSTN) з кодеком G.711; запропонований для мереж IP, що підтримують різні рівні QoS;
- Висока – еквівалентно PSTN кодека G.726 (32 кбіт/с) або GSM стільникового кодека гарна якість підвищеної надійності передачі EFR (12,2 кбіт/с); Пропонується також мережам IP, які підтримують різні рівні QoS;
- Середній – еквівалент GSM стільникового стандарту кодеку FR (13 кбіт/с); запропонував для мереж на основі IS без заторів;
- Нижня – передбачає використання VoIP через Інтернет.

Якщо припустити, що області супутникового та клітинних компонентів ТФОП, якість передачі голосу в мережі відповідатиме першим трьом класам, наведеним у таблиці 2.8. Отже, якість передачі мови еквівалентно IP-мережа повинна мати параметри, що відповідають класу не нижче, ніж у середньому.

Враховуючи залежність якості промови втрати пакетів, можна сформулювати орієнтовні вимоги, еквівалентні мережі IP-телефонії:

- Максимальна затримка має бути не більше 350...400 мс;
- Втрата пакетів – трохи більше 1-3%;
- Суб'єктивна якість мови – не менше 3,5 балів MOS.

Аналіз показує, що в даний час системи та VoIP мережі може відповідати цим вимогам. Звичайно, він повинен зосередитися на рішеннях

операторського класу, призначених для обслуговування великої кількості абонентів.

Європейський інститут досліджень та стратегічних досліджень у галузі телекомунікацій EURESCOM розробив вимоги до параметрів мережі для двох класів обслуговування та трьох категорій додатків (див. таблицю 2.8).

Таблиця 2.8

Вимоги до параметрів якості послуг

| Клас якості послуг | Параметри мережі | Інтерактивні послуги реального часу (VoIP) | Не інтерактивні послуги реального часу (аудіо/відео) | Послуги не реального часу (WEB, e-commerce) |
|--------------------|------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Вища якість        |                  | 150                                        | 300                                                  | 100                                         |
|                    | Джиттер,мс       | 3                                          | 50                                                   | Besteffort                                  |
|                    | Втрати, %        | 2                                          | 1                                                    | 2,5                                         |
|                    | Гарантія, %      | 99                                         | 99                                                   | 98                                          |
| Основна якість     | Затримка,мс      | 800                                        | 600                                                  | 300                                         |
|                    | Джиттер,мс       | 2                                          | 100                                                  | Besteffort                                  |
|                    | Втрати, %        | 4                                          | 5                                                    | 15                                          |
|                    | Гарантія, %      | 95                                         | 95                                                   | 92                                          |

Загалом, можна сказати, що параметри сучасного обладнання та мереж на основі ІС, щоб забезпечити якість голосу не нижче PSTN сайтів супутника та стільникового зв'язку. Хоча якість голосу в ІР-телефонії мереж ще не досягла повного рівня PSTN, але близько до нього близько.

Слід зазначити, однак, що практична реалізація VoIP в Інтернеті для всіх спокус цієї ідеї залишається проблематичною з точки зору передачі високої якості. Тому що балансування черг та непередбачуваність коефіцієнт навантаження та пропускну здатності в Інтернеті немає жодної гарантії, що будуть забезпечені необхідними QoS продуктивності. Щоб повною мірою гарантувати якість комерційної передачі голосу та даних, необхідних для створення спеціального виділеного ІР-мережі, параметри, у тому числі

затримки та втрати пакетів, можуть бути зазначені в угодах про рівень обслуговування SLA (Угода про рівень обслуговування).

Оператори зв'язку повинні мати загальну згоду з процесу користувача на якість послуг – це метод, який буде представлений як обслуговування оператора з точки зору користувача. Цей метод був SLA" (Угода про рівень обслуговування, SLA).

Для забезпечення певного рівня якості надання послуг інформації необхідно вирішити дві проблеми:

- Моніторинг продуктивності мережі;
- Спеціальні процедури підтримки бажаного рівня якості послуг.

## **2.4 Якість обслуговування в мережах IP**

У класичній мережі IP спосіб доставки повністю виключив будь-яку форму організації з'єднань - фізичних і віртуальних. Цей метод базується на відправленні пакетів дейтаграм.

Якість доставки до традиційних мереж IP, заснована на принципі так званих "усі зусилля" (Best Effort). Концепція "всі зусилля" передбачає, що користувачі справедливую частку мережевих ресурсів, доступних, трафік передається зі швидкістю, як це можливо в побутових умовах навантаження мережі передачі даних ресурсів, але без надання будь-якої гарантувати заздалегідь визначену якість рівня обслуговування. Очевидно, що такий підхід до обслуговування означає наступне: Там немає різниці між різними типами трафіку, немає жодної гарантії, доставка пакетів у правильному порядку, і що він буде доставлений у вказаний час або взагалі бути доставлений і т.д.

Поняття «найкраща спроба» був дуже ефективним для додатків, де ви не можете передавати дані в режимі реального часу (електронна пошта, передача файлів).

Крім того, беручи до уваги надлишок мережевих ресурсів у транспортних мережах, побудованих на базі волоконно-оптичних ліній зв'язку, принцип «кращої спроби» Певною мірою дозволяє сьогодні вимагати телефонії (Voice Over IP) та інших у режимі реального часу програм. Тим не менш, як тільки нестача ресурсів, що призводить до збільшення ймовірності втрати пакетів і затримки їх зростання, для додатків реального часу, необхідних якості обслуговування не може бути забезпечена. Насамперед, це з основний принцип роботи мереж з урахуванням ІВ - передати дані дейтаграмму, тобто. без зв'язку та без контролю. З появою нових програм, особливо в режимі реального часу (Interactive Voice, відеотелефонії та відеоконференцій), питання про гарантовану якість обслуговування в ІР-мережах стає однією з найскладніших. Це пояснює, чому якість обслуговування в ІР-мережах є предметом постійної уваги МСЕ, ETSI, IETF та іншими організаціями зі стандартизації телекомунікацій.

Сьогодні загальноновизнано, що з комутацією каналів та пакетів поступово розвиватиметься у напрямку загальної інфраструктури на основі протоколів ІР. Цей процес називається конвергенція. Інфраструктура, яка виникла в результаті конвергенції, повинна полягати в наданні телефонного трафіку транспортних мереж, телевізор і трафік додатків, які традиційно використовують Інтернет. Такий сценарій пропонує посилення економічної конвергенції, отриманий шляхом об'єднання технологій і визначає розвиток телекомунікаційного сектора шляхом створення нових послуг.

Проте, процес конвергенції досі протікає досить повільно. І тут ми повертаємося до проблеми забезпечення необхідної якості обслуговування, який є одним з основних гальмівних факторів у процесі конвергенції мереж та послуг та будівництва єдиної мережі на основі ІР, вважається сьогодні як наступне покоління мережі (Next Generation Network, NGN). Щоб повною мірою реалізувати переваги конвергенції в майбутніх мережах ІР, що базуються на, необхідно розробити нові принципи розподілу ресурсів та мереж управління дорожнім рухом, які гарантуватимуть різні рівні якості

обслуговування у великій та різноманітній кількості заявок, що здійснюються кінцевими користувачами.

Хоча керівництво спільне використання ресурсів та процесів руху мають бути узгоджені у присутності великої кількості різноманітних додатків із суттєво різними вимогами до продуктивності мережі (таблиця 2.4.1).

Пакет затримки доставки (IP затримка передачі пакетів, IPTD). Параметр IPTD визначається як час ( $t_2 - t_1$ ) між двома подіями - вхідний пакет у вхідній точці мережі в момент часу  $t_1$  і вихідною клемою з мережі з комутацією пакетів в момент часу,  $t_2$  де  $(t_2 \geq t_1)$  і  $(t_2 - t_1) \leq T_{\text{МАН}}$ .

Загалом цей параметр визначається як час IPTD доставки пакетів між джерелом і місцем призначення для всіх пакетів - як успішно переданих і помилкових.

Середня затримка доставки пакетів IP – параметр, зазначений у Рекомендації Y.1540, яка визначається як середня арифметична із затримок пакетів у вибраному наборі переданих та отриманих пакетів. Значення середньої затримки передачі залежить від трафіку в мережі та доступних мережевих ресурсів, зокрема смуга пропускання. Скорочення зростання навантаження та доступних мережевих ресурсів призводить до збільшення черги у вузлах мережі і, отже, збільшення середніх затримок доставки пакетів.

Голосові дані та частково відео приклади трафіку, чутливого до затримок, тоді як дані програми, як правило, менш чутливі до затримок. Коли затримка доставки пакета перевищує певне значення  $T_{\text{max}}$ , пакети відкидатимуться. У програмах реального часу (наприклад, IP-телефонія), що призводить до погіршення якості мови. Обмеження, пов'язані із середньою затримкою пакетів IP, відіграють ключову роль успішної реалізації технології передачі голосу по IP (VoIP), відеоконференцій та інших додатків реального часу. Ця опція багато в чому визначають готовність користувачів прийняти такі заявки.

Варіація затримки пакетів (IP варіація затримки пакетів, IPDV).

Параметр  $U_k$  характеризує зміну затримки IPDV. Для IP-пакета з номером до, цей параметр визначається між вхідними та вихідними точками мережі як різниця між абсолютним значенням  $X_k$  затримки комплект поставки з номером до, та конкретним посиланням (або посилання) сума затримкою доставка пакетів IP, дл, 2, для тих, хто ж мережі

Орієнтир:  $U_k = X_k - d_{1, 2}$ .

Приклад затримки доставки пакетів IP,  $d_{1, 2}$  між джерелом і приймачем визначається як абсолютна величина затримки доставки з перших IP-пакетів даних між мережними точками. Затримка пакетів зміна IP, або тремтіння, проявляється в тому, що послідовні пакети прибувають до місця призначення нерегулярно

Коефіцієнт втрати пакетів IP (коефіцієнт збитковості IP пакетів, IPLR). Коефіцієнт IPLR визначається як відношення загальної кількості втрачених пакетів до загальної кількості отриманого у вибраному наборі переданих та прийнятих пакетів. Втрата пакетів у мережі IP відбувається у разі, коли величина затримки передачі перевищує нормоване значення, як визначено вище  $T_{max}$ . Якщо пакет втрачено, передача даних може бути заблокована стороні запиту на повторну передачу. У системах VoIP, пакети прийти до одержувача із затримкою, що перевищує  $T_{max}$  відкидаються, що призводить до збоїв у мові, що приймається. Серед причин втрати пакетів необхідно відзначити зростання черг у вузлах мережі, внаслідок чого заторів.

Частота помилок. (IP-коефіцієнт помилок пакетів, IPER). Коефіцієнт IPER визначається як загальна кількість пакетів, прийнятих з помилкою на суму успішно прийнятих та пакетів, прийнятих з помилками.

Рекомендація Y.1540 визначає чисельні значення параметрів, зазначених у ньому, які мають бути здійснені протягом IP мереж на міжнародних шляхах, що з'єднують абонентські термінали. Стандарти для параметрів поділяються на різні класи QoS, які визначаються залежно від програм та мережевих механізмів, які використовуються для забезпечення гарантованої якості обслуговування. [5]

Значення, наведені в таблиці, представляють, відповідно, верхні межі для середньої затримки джиттера, втрати пакетів та помилок. Рекомендація Y.1541 надає специфікації набір параметрів, пов'язаних із фактичними значеннями вимірювань продуктивності мережі – період спостереження, довжина тестових пакетів, кількість пакетів тощо. Зокрема, при оцінці якості промови пакетів в IP-телефонії інтервалі спостереження мінімум має бути близько 1-20 секунд за типовою швидкістю 50 пакетів/с. Рекомендований інтервал вимірювання для затримки, джиттера та втрат повинен бути не менше 60 секунд.

Таблиця 2.9

Норми для характеристик мереж IP з розподілом за класами якості обслуговування

| Мережеві характеристики             | Класи QoS          |                    |                    |                    |                    |                    |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                     | 0                  | 1                  | 2                  | 3                  | 4                  | 5                  |
| Затримка доставки пакету IP, IPTD   | 100мс              | 400мс              | 100мс              | 100мс              | 400мс              | 1сН                |
| Варіація затримки пакета IP, IPDV   | 50мс               | 50мс               | Н                  | Н                  | Н                  | Н                  |
| Коефіцієнт втрати пакетів IP, IPLR  | $1 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-3}$ |
| Коефіцієнт помилок пакетів IP, IPER | $1 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-4}$ | $1 \times 10^{-4}$ |

Рекомендація Y.1541 встановлює відповідність між класами якості обслуговування та додатками [12, 6]:

- Клас 0 – програми реального часу, чутливі до джиттера, що характеризуються високим рівнем інтерактивності (VoIP, відеоконференції);
- Клас 1 – програми реального часу, чутливі до джиттера, інтерактивні (VoIP, відеоконференції);
- Клас 2 - транзакції даних, що характеризуються високим рівнем інтерактивності (наприклад, сигналізація);
- Клас 3 – транзакції даних, інтерактивні;
- Клас 4 – додатки, що допускають низький рівень втрат (короткі

транзакції, масиви даних, потокове відео);

- Клас 5 – традиційне застосування мереж IP.

Таблиця 2.10

Моделі QoS

| Розробник моделі QoS | QoS з кінця в кінець | Класи якості | Нарахування за послуги | Вимірювання / Менеджмент | Залежність від особливостей послуг |
|----------------------|----------------------|--------------|------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| ITU-T                | Так                  | Ні           | Ні                     | Так                      | Ні                                 |
| ETSI                 | Так                  | Так          | Ні                     | Так                      | Так                                |
| IETF                 | Ні                   | Ні           | Ні                     | Так                      | Ні                                 |
| MMCF                 | Так                  | Так          | Ні                     | Так                      | Так                                |
| EURESCOM             | Так                  | Ні           | Ні                     | Так                      | Ні                                 |

Аналіз деяких існуючих моделей QoS наведено у таблиці 2.10. Тільки деякі моделі включають концепцію класів (рівень) якості (класи якості); Жодна з моделей не включає платежі зборів за послуги, що надаються; Деякі моделі зосереджуються лише на заявці на конкретні послуги.

### РОЗДІЛ 3

## РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ДЛЯ МЕРЕЖ IP

### 3.1 Розрахунок показників QoS

Мультисервісна мережа IP-трафіку характеризується різними законами розподілу, крім Пуассона, переважно законом Парето. В якості моделі може бути обрана система організації черг із загальними розподілами вхідного потоку і обробкою типу послуги G/G/M.

Дифузійне наближення є найвідомішим і широко використовуваним методом наближеного обчислення QS для довільних процесів законів розподілу вхідних і процесів обслуговування. Ідея методу полягає в апроксимації дискретного стохастичного процесу (у даному випадку – в якому описується кількість пакетів у вузлах) безперервним процесом дифузії. Варто зазначити, що в низькому навантаженні, цей метод дає помітну помилку [9]. Дифузійне наближення помилки також збільшується із збільшенням розподілів коефіцієнта варіації. Разом із поправками метод дифузійного наближення можна використовувати для системного аналізу, коли коефіцієнт варіації перевищує 1 [12]. Ці результати використовуються в монографії Н.Б. Селігера, О.С Chugreeva, Г.Г. Яновський, отримані вирази для розрахунку затримок і втрат типу QS G / G / M.

Затримка. Для пакетного трафіку може розглядатися загалом затримки  $t$  (або пакет Термін поставки) у вигляді суми ТТК затримки перевезення  $t_{tr}$ , затримки поширення  $t_p$ , затримка перемикання  $t_s$  та черг затримки в маршрутизаторах (затримки у вузлі  $t_w$ ).

$$t = t_{tr} + t_p + t_s + t_w \quad (3.1)$$

Під транспортною затримкою (serialization delay) [4] мається на увазі

час, необхідний передачі пакета при заданій смузі пропускання, який залежить від розміру пакета і ширини смуги пропускання каналу. Транспортну затримку можна як функцію від ширини смуги пропускання і довжини пакета, тобто.

$$t_{tr}=L/B \quad (3.2)$$

де  $L$  – розмір пакета, біт,

$B$  - ширина смуги пропускання, кбіт / с.

Затримка поширення (propagation delay) залежить від середовища передачі і відстані і може становити десятки мілісекунд. Використання технології DWDM дозволяє приймати затримку поширення менше 1 мс.

Затримка перемикавання (затримка перемикавання) та комутаційних пристроїв вводиться, як правило, менше 10 нс.

Якщо мережа не перевантажується, затримка черги маршрутизаторів відсутня. У цьому випадку ми можемо говорити про мінімально можливу затримку при передачі пакетів через дану мережу. У разі перевантаження мережі  $t_w$  не тільки може зробити значну кількість, але і призводить до затримки тремтіння. Затримка джиттера і визначає максимальну затримку на стійці реєстрації. Залежно від типу програми, сторона, що приймає, може спробувати компенсувати тремтіння затримки через організацію приймального буфера для зберігання прийнятих пакетів в момент часу  $T_j$ , і менше або дорівнює верхній межі тремтіння.

Для розрахунку мережної затримки системи G/G/M використовують результати теорії дифузійного наближення [9]. Потім, щоб визначити середню кількість пакетів у системі G/G/M:

$$\bar{q} = P(\rho, m) \frac{\rho}{1-\rho} \cdot \frac{c_a^2 + c_s^2}{2} + m\rho \quad (3.3)$$

де  $P(\rho, m)$  – ймовірність того, що пакет, прийшовши в систему, застане всі прилади зайнятими,

$C^2$  – квадратичний коефіцієнт варіації.

Для руху реального часу джитер затримки може призвести до втрати пакетів оскільки при перевищенні порогового значення затримки пакети будуть відкинуті як такі, що не задовольняють вимогам до режиму реального часу. Для потокового трафіку внесення додаткової затримки не виявляється критичним та не призводить до втрат.

Параметр  $P(\rho, m)$  може бути розрахований за наближеною другою формулою Ерланга:

$$P(\rho, m) \approx m(1 - \rho) \frac{\rho^m}{1 - \rho^m} \quad (3.4)$$

Середнє значення числа пакетів у черзі  $\bar{\omega}$  і значення затримки  $t_{delay}$  у вузлі, і середній час перебування пакета в буфері  $t_{\bar{\omega}}$  можуть бути визначені як [9]:

$$\bar{\omega} = P(\rho, m) \frac{\rho}{1 - \rho} \cdot \frac{C_a^2 + C_s^2}{2} \quad (3.5)$$

$$t_{delay} = t_{\bar{\omega}} + t_{\bar{s}} \quad (3.6)$$

$$t_{\bar{\omega}} = P(\rho, m) \frac{t_{\bar{s}}}{m(1 - \rho)} \cdot \frac{C_a^2 + C_s^2}{2} \quad (3.7)$$

де  $t_s$  – середній час обробки пакета приладом обслуговування.

Враховуючи, що максимальна продуктивність сучасного комутатора становить 20.106 пакетів/с, прийmemo  $t_s = 1,107$  для каналу з пропускною здатністю 2 Мбіт/с.

Отже, затримка у вузлі є функцію від коефіцієнта варіації, тобто. залежить від закону розподілу довжин протокольних блоків та інтервалів між парфіями.

Допустимо, досліджуємо мережевий рівень моделі IETF, на якому розподіл Парето служить для опису вхідного потоку та часу обслуговування

(система P/P/1). Тоді на підставі (3.7) можна отримати сімейство графіків  $t_{delay}(\rho)$  для різних довжин пачок пакетів (рис. 3.1).

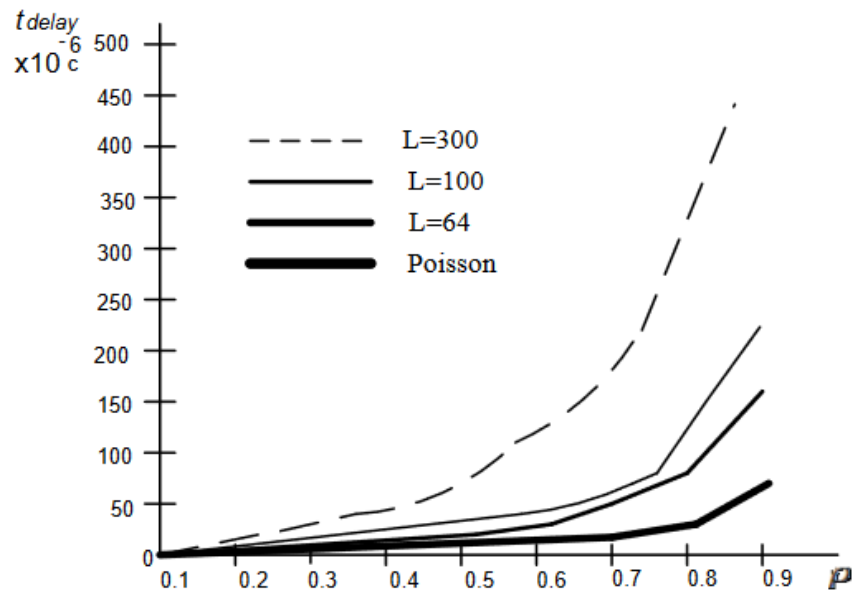


Рисунок 3.1 – Залежність величини затримки від завантаження системи P/P/1 для різних  $L$

Для розподілу Пуассона немає поняття пакети, так що це не на графік встановлено в  $L$  – максимальний розмір стека. Для інших значень правда, збільшення розміру пакета збільшує затримки пакета. Пакет, що з'явився в кінці зграї, служив у буфері більше (час обробки всіх попередніх пакетів плюс час обробки в цьому пакеті). Більше ніж пакет, тим більше часу, що пакет буде в буфері:  $T_{Buf} = L \cdot TR$

Крім того, на суму затримки залежить від різних законів розподілу трафіку. У цьому випадку, найдовша тимчасова затримка – характеристика трафіку, довжина пакетів, які мають розподіл Парето, та інтервали між ними за логнормальному закону. Це пов'язано з тим, що в цьому випадку інтервали між пакетами є відносно невеликим, що призводить до склеювання пакетів у буфері і, як наслідок, збільшення затримки. Слід зазначити, що навантаження збільшує можливість адгезії пакетів, що призводить до додаткової затримки. Таким чином, для системи R/R/1 можна говорити про помітну затримку (про

нас) вже при завантаженні 0,5.

Таким чином, затримка в законі трафіку впливає на розподіл трафіку, максимальний розмір пакетів та мінімальний інтервал між приходами пакетів.

Втрати. Втрати, пов'язані з мережевими помилками  $P_m$  у каналі та втрат у вузлах мережі  $P_{loss}$ . Втрати у вузлах мережі втрати  $P$  визначається інтенсивність руху, розмір буфера, у черзі застосовну політику та методи, що використовуються для запобігання перевантаженню. У роботі [12] для розрахунку втрат у вигляді G/G/1 за певних розподілів, що описують вхідний потік, пропонується використовувати метод дифузійного наближення:

$$P_{loss} = \frac{1-\rho}{1-\rho^{\frac{2}{c_a^2+c_s^2} \cdot nb+1}} \cdot \rho^{\frac{2}{c_a^2+c_s^2} \cdot nb} \quad (3.8)$$

де  $C_a$ ,  $C_s$  – квадратичні коефіцієнти варіації відповідно до розподілів вхідного потоку і часу обслуговування,

$nb$  – розмір буфера,  $\rho$  – завантаження системи.

Опис руху законом Пуассона, є найбільш сприятливим для системи. У цьому випадку квадратичні коефіцієнти рівні 1 [9], і втрата найнижча порівняно з іншими законами розподілу, за інших рівних умов (розмір буфера, навантаження). Звичайне право та розподіл Парето для довжин блоків PDU та проміжках між їхніми парафіями є середній варіант. Якщо інтервал між PDU, описано логнормальними законом втрати в мережах досить великі (0,5 – 25%).

На рис. 3.2 наведено значення ймовірностей втрат для різних буферних розмірів. Діапазон  $Nb$  був вибраний з огляду на те, що поточні мережні пристрої мають розмір буфера близько ста клітин. Розмір стека передбачається максимум 100 пакетів. Як впливає з рисунку, якщо розмір буфера з 50 клітин (одна клітина може бути записана один пакет), різко збільшуються ймовірності втрат вже на завантажувальному  $\rho = 0,7$ .

Це тому, що в разі приходу в максимально можливий вибух пакетів, які

перевищують розмір буфера, деякі пакети будуть відкинуті. Якщо кількість місць у буфері відповідають максимальному розміру пакетів, втрати відбуваються тільки при завантаженні 0,85. У цьому випадку можливі два прибуття зі стосу через відносно короткий проміжок часу, внаслідок чого блокує пакети в буфері, і, отже, втрати пакетів.

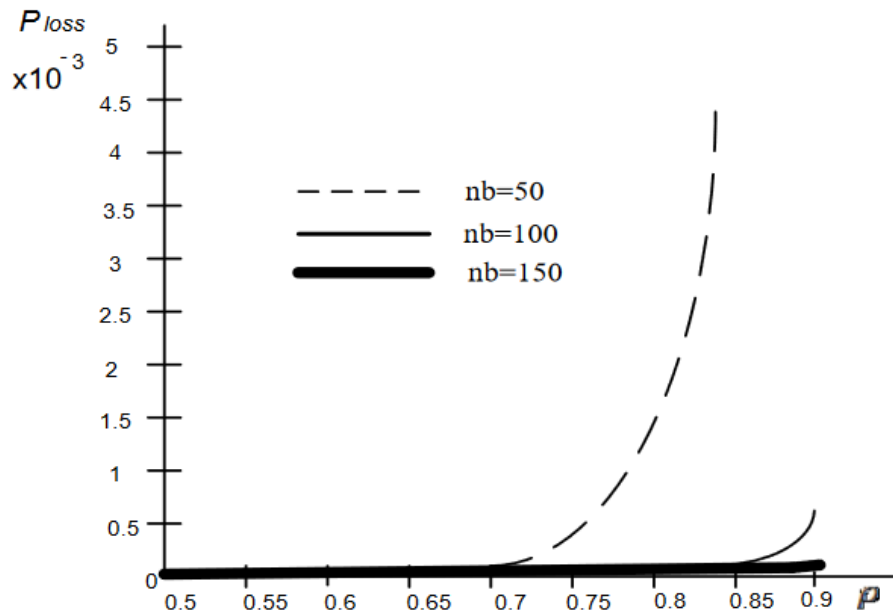


Рисунок 3.2 – Залежність ймовірності втрат від розміру буфера для Р/Р/1

Збільшення втрати, які спостерігаються тільки при дуже високих навантаженнях, пояснюються також прилипанням пакетів, що приходять в буфер через невеликий період часу.

У зв'язку з цим виникає завдання визначення мінімально можливого розміру буфера, в якому втрата буде несумісною з Угодою про трафік. При завантаженні  $\rho = 0,7$  мінімально можливий розмір буфера близько 20 клітин (розподіл Р/Р, характеристичний показник  $a = 1,5$ , максимально можливий розмір пачки 100 пакетів). І тут втрати вбираються у 1% [9].

Таким чином, при розрахунку розміру буфера необхідно зосередитись на характеристиках трафіку, що генерується конкретного застосування, визначення ступеня його розміру та законів розподілу.

### 3.2 Коригування втрат трафіку реального часу з урахуванням перевищення максимально допустимої затримки

Втрати пакетів трафіку реального часу будуть негативно позначатися на якості послуги, що надається, тому має сенс розглядати втрати у точці прийому. Тоді втрати з'єднанні для трафіку реального часу можуть бути оцінені як:

$$P_{e2e} = 1 - (1 - P_{net}) \cdot (1 - P_{ter}) \quad (3.9)$$

де  $P_{net}$  – чистий збиток;  $P_{ter}$  – збиток від термінального пристрою через перевищення допустимої затримки (тільки для трафіку в реальному часі та потокового).

Причина  $P_{ter}$  насамперед затримує тремтіння. У цьому випадку допустимі значення затримки у всій мережі для трафіку в реальному часі буде мати вирішальне значення, тобто угода не виконуватиметься від руху.

Розглянемо випадок, коли є максимальне значення затримки наскрізне з'єднання  $T_{man}$ . Тоді в режимі реального часу всі пакети трафіку, для яких затримки мережі можна вважати загубленим.

Таким чином,  $P_{ter} = P\{T_{net} > T_{max}\}$  – ймовірність того, що вхідний пакет перевищив максимально допустиму затримку.

Джерело виникнення збитків внаслідок перевищення максимально допустимого буфера затримки джиттера діє. Потім ви можете собі уявити, як  $P_{ter}$  ймовірність втрат у буфері флуктуацій. У цьому випадку завдання зводиться до визначення  $P_{ter}$  проблеми визначення ймовірності втрат у буфері вузла. На рис. 3.3 показано вклад буфера тремтіння та мережі загальних втрат. Для розрахунку величина буфера тремтіння було прийнято 20 мс, значення буферного вузла мережі 50 місць.

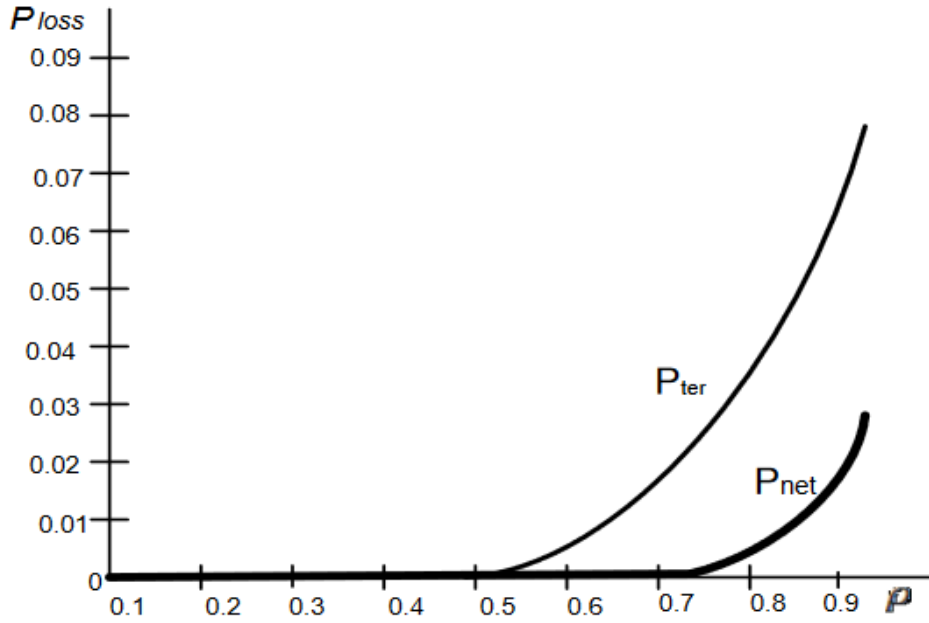


Рисунок 3.3 – Величина втрат мережі  $P_{net}$  та в джиттер-буфері  $P_{ter}$  залежно від завантаження системи

Враховуючи (3.8), отримаємо співвідношення для розрахунку  $P_{ter}$ :

$$P_{ter} = \frac{1-\rho}{1-\rho^{\frac{2}{c_{a\_jitt}^2+c_{s\_jitt}^2} \cdot t_{j\_max}+1}} \cdot \rho^{\frac{2}{c_a^2+c_s^2} \cdot t_{j\_max}} \quad (3.10)$$

де  $Ca\_jitt$  і  $Cs\_jitt$  – квадратичні коефіцієнти варіації відповідно розподілів вхідного потоку та часу обслуговування,  $tj\_max$  – розмір буфера,  $\rho$  – завантаження системи.

Пакети, що надходять у джиттер-буфер, затримуються в ньому на час, необхідний для вирівнювання затримки, причому максимальна затримка не перевищує  $t_{max} - t_{codec} - t_{net}$ . Позначимо одне місце у буфері як затримку на одиницю часу  $t$ . Тоді  $tj\_max$  – максимальний розмір джиттер-буфера.

## ВИСНОВОК

Під час проведення магістерського дослідження було виконано всі пункти, що відповідають поставленим задачам, а саме: проведено огляд варіантів побудови мереж IP-телефонії, з розглядом переваг та недоліків такої реалізації. Проведено визначення та опис факторів, що впливають на якість передачі голосу. Було визначено, що найбільший вплив на якість передачі голосу в IP-телефонії мають затримка доставки; джиттер; пропускна спроможність мережі; ймовірність втрати пакетів; необхідна ширина лінії. Розглянуто питання нормування параметрів та стандартизації QoS в IP телефонії. Проведено аналіз методів оцінки якості передачі в IP мережі та згідно розглянутих методів було розраховано та отримано графіки зміни залежності величини затримки від завантаження системи P/P/1 для різних довжин пакетів, залежності ймовірності втрат від розміру буфера для P/P/1, характеристики величин втрат мережі  $P_{net}$  та в джиттер-буфері  $P_{ter}$  залежно від завантаження системи. Отримані характеристики дають змогу визначати клас якості послуг для різних типів реалізації мережі IP-телефонії.

Таким чином поставлені задачі були виконані в повній мірі.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. IP-телефонія. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://rci-c.com/technology/telefoniya/>
2. Телекомунікаційні та інформаційні мережі. Підручник / Воробієнко П.П., Нікітюк Л.А., Резніченко П.І. – К.: САММІТ-Книга, 2010. – 708 с.
3. Що таке IP-телефонія і навіщо вона потрібна бізнесу? [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://streamtele.com/uk/ip-telefoniya-dlya-biznesa-polnoe-rukovodstvo-dlya-novichkov/>
4. Дослідження впливу завантаженості мережі на якість передавання VOIP / Чорний А.М., Журбинський Д.А., Євтушенко І.О. Вісник Черкаського державного технологічного університету. Технічні науки, 4/2019. С. 56-62,
5. Азарова А.О. Комп'ютерні мережі та телекомунікації: Навчальний посібник / Азарова А.О., Лисак Н.В. – Вінниця: ВНТУ, 2012.– 293 с.
6. Основи технології VoIP та IP-телефонії / Дмитро Черкасов. ТЕЛЕКОМ Військовий зв'язок. 2017/2, с. 98-104. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ekmair.ukma.edu.ua/server/api/core/bitstreams/6ba897a4-84c9-4193-8311-82a7c60bf784/content>
7. Перспективи використання IP-телефонії. Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/17536/2880.pdf?sequence=3>
8. Корпоративна мережа IP-телефонії [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.rgc.kiev.ua/main.php?css=sscc0hr70.11td0bd0ne0qq>
9. QoS and QoE management in UMTS cellular systems, Edited by David Soldani, Man Li and Renaud Cuny, John Wiley & Sons, Ltd. pp, 1-7, 2006.
10. Abdul-Bary Raouf Suleiman, and Abdulhameed Hameed, "Simulation of SIP-based VoIP for Mosul University Communication Network", International Journal of Computing and Digital Systems, vol. 2, no. 2, pp.89-94, 2013.
11. Bassam M. AL-Mahadeen, and Ameen Al Mseden, "Improving the QoS of VoIP over WiMAX networks using OPNET Modeler", International Journal of Computer Science and Network Security, vol. 17, no. 8, pp. 132-142, August 2017.
12. Вегешна Ш. Якість обслуговування в мережах IP. Cisco, 2003. –368с.