

ПВНЗ «ЄВРОПЕЙСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА комп'ютерних наук та програмної інженерії
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 121 «Інженерія програмного забезпечення»
ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНА ПРОГРАМА «Інженерія програмного забезпечення»

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

на тему:

Комп'ютерна мережа підприємства з використанням IP-телефонії

Студент (ка) _____
(підпис студента)

Христич Ілля Тимофійович
(прізвище, ім'я по-батькові студента)

Науковий
керівник _____
(підпис наукового керівника)

Левченко С.В.
(прізвище, ініціали, наукове звання і ступінь)

Допущено до захисту “_____” 2025 р.

Завідувач кафедри _____
(підпис)

Сушинський О.Є., д.т.н., доцент
(прізвище, ініціали, наукове звання і ступінь)

Декан факультету _____
(підпис)

Яровий Р.О.
(прізвище, ініціали)

Завідувач
навчальної частини _____
(підпис)

Козинець А.О.
(прізвище, ініціали)

Київ – 2025

ПВНЗ «ЄВРОПЕЙСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА комп'ютерних наук та програмної інженерії

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 121 «Інженерія програмного забезпечення»

ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНА ПРОГРАМА «Інженерія програмного забезпечення»

ЗАВДАННЯ

на випускню кваліфікаційну бакалаврську роботу студентів (ці):

Христич Ілля Тимофійович

(прізвище, ім'я, по-батькові студента (ки))

1. Тема роботи Комп'ютерна мережа підприємства з використанням IP-телефонії

2. Затверджена наказом по університету від “30 ” 09 2024 р. № 99 _

3. Цільова установка на вихідні дані до роботи

Метою дипломної роботи є дослідження тенденцій розвитку ринку IP-телефонії, аналіз технічних аспектів її функціонування та створення веб-додатка "VoIP Моніторинг Pro" для моніторингу, симуляції та аналізу якості VoIP-зв'язку в корпоративних мережах, зокрема на прикладі ТОВ "Телеком Україна". Основними завданнями є вивчення ринкових трендів і прогнозів зростання VoIP (з 29,57 млрд доларів у 2023 році до 85,56 млрд доларів до 2032 року), аналіз факторів якості зв'язку (затримка, джитер, втрати пакетів, MOS), розробка інструменту для оцінки та оптимізації VoIP-систем, а також формулювання рекомендацій щодо його вдосконалення з інтеграцією API та машинного навчання.

4. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень)

Графік 1 – Зростання ринку IP-телефонії (2023–2032), Графік 2 – Сегментація ринку IP-телефонії за регіонами, Графік 3 – Вплив кодеків на якість VoIP-зв'язку, Рисунок 1 – Інтерфейс веб-додатка "VoIP Моніторинг Pro", Рисунок 2 – Схема структури веб-додатка, Рисунок 3 – Інтерактивна схема мережі VoIP, Рисунок 4 – Гістограма джитера в VoIP-мережах

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів, що їх стосуються:

Розділ	Науковий керівник	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання отримав
Аналіз тенденцій розвитку ринку ІР-телефонії	Левченко С.В.	28.02.25	28.02.25
Аналіз підходів до забезпечення якості та факторів, що впливають на ефективність мереж ІР-телефонії	Левченко С.В.	21.03.25	21.03.25
Оцінка якості VoIP-зв'язку та реалізація системи моніторингу	Левченко С.В.	14.04.25	14.04.25

6. Зміст випускної кваліфікаційної бакалаврської роботи (перелік питань)

1. Аналіз сучасних тенденцій розвитку глобального ринку IP-телефонії.
2. Дослідження технічних аспектів функціонування VoIP-систем та протоколів зв'язку.
3. Оцінка впливу мережевих параметрів (затримка, джитер, втрати пакетів) на якість VoIP.
4. Вивчення технологій QoS (RSVP, DiffServ, MPLS) для оптимізації VoIP-зв'язку.
5. Розробка веб-додатка "VoIP Моніторинг Pro" для аналізу та моніторингу VoIP-систем.
6. Тестування та оптимізація веб-додатка для забезпечення стабільної роботи в корпоративних мережах.

7. Календарний план виконання випускної кваліфікаційної бакалаврської роботи

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної бакалаврської роботи	Термін виконання етапів випускної кваліфікаційної бакалаврської роботи	
		За планом	Фактично
1.	Обрання теми випускної кваліфікаційної магістерської роботи (ВКБР)	05.08.24 – 13.09.24	03.10.2024
2.	Опрацювання літератури та інших джерел для написання ВКБР	16.09.24 – 01.11.24	21.10.2024
3.	Виконання 1 розділу ВКБР	04.11.24 – 28.02.25	26.02.2025
4.	Виконання 2 розділу ВКБР	03.03.25 – 21.03.25	18.03.2025
5.	Виконання 3 розділу ВКБР, висновки	24.03.25 – 18.04.25	16.04.2025

6.	Передзахист та проведення перевірки на плагіат	21.04.24 – 02.05.25	30.04.2025
7.	Відгук керівника, рецензія	01.05.25 – 12.05.25	08.05.2025

8. Дата видачі завдання “ ” 202 р.

Керівник _____
(підпис)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

Анотація

Дипломна робота присвячена дослідженню тенденцій розвитку ринку IP-телефонії, аналізу технічних аспектів її функціонування та розробці веб-додатка "VoIP Моніторинг Pro" для моніторингу, симуляції та аналізу якості VoIP-зв'язку. Проведено огляд глобального ринку VoIP, який у 2023 році оцінено в 29,57 млрд доларів із прогнозованим зростанням до 85,56 млрд доларів до 2032 року (CAGR 12,32%). Визначено ключові фактори якості зв'язку (затримка, джитер, втрати пакетів, MOS) та технології QoS (RSVP, DiffServ, MPLS), що їх забезпечують. Розроблений веб-додаток реалізує моніторинг метрик у реальному часі, симуляцію впливу кодеків (G.711, Opus, G.729) і типів мереж (5G, MPLS, Ethernet), інтерактивну схему мережі, систему сповіщень про аномалії та чат-бота з рекомендаціями. Dodatok має модульну архітектуру, створений із використанням Chart.js, jsPDF, Tailwind CSS і протестований для стабільної роботи в браузерях. Робота підкреслює практичну цінність додатка для оптимізації VoIP-систем і пропонує перспективи його розвитку, зокрема інтеграцію з API та машинне навчання.

Annotation

The thesis is dedicated to studying the trends in the development of the IP telephony market, analyzing its technical aspects, and developing the "VoIP Monitoring Pro" web application for monitoring, simulating, and analyzing the quality of VoIP communication. A review of the global VoIP market, valued at \$29.57 billion in 2023 with a projected growth to \$85.56 billion by 2032 (CAGR of 12.32%), was conducted. Key factors affecting connection quality (latency, jitter, packet loss, MOS) and QoS technologies (RSVP, DiffServ, MPLS) ensuring performance were identified. The developed web application implements real-time metric monitoring, simulation of codec (G.711, Opus, G.729) and network type (5G, MPLS, Ethernet) impacts, an interactive network diagram, an anomaly notification system, and a chatbot with optimization recommendations. The application features a modular architecture, built using Chart.js, jsPDF, and Tailwind CSS, and tested for stable operation across browsers. The work highlights the practical value of the application for optimizing VoIP systems and suggests future enhancements, including API integration and machine learning.

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ РИНКУ ІР-ТЕЛЕФОНІЇ

- 1.1. Огляд світового ринку ІР-телефонії
- 1.2. Характеристика типів підключення в ІР-телефонії
- 1.3. Галузевий розподіл застосування VoIP
- 1.4. Географічний аналіз ринку VoIP
- 1.5. Конкурентне середовище та ключові гравці
- 1.6. Перспективи розвитку VoIP
- 1.7. Тенденції розвитку ІР-телефонії в умовах глобалізації
- 1.8. Застосування штучного інтелекту в ІР-телефонії
- 1.9. Популярність UCaaS-платформ
- 1.10. Інтеграція VoIP з Інтернетом речей (IoT)
- 1.11. Огляд сучасного VoIP-програмного забезпечення
- 1.12. Аналіз загальних принципів функціонування та протоколів VoIP

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТА ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕРЕЖ ІР-ТЕЛЕФОНІЇ

- 2.1. Дослідження показників якості ІР-телефонного зв'язку
- 2.2. Фактори, що впливають на якість ІР-телефонії
- 2.3. Основні фактори, що впливають на якість ІР-телефонії
- 2.4. Затримки мовлення та їхній вплив на якість голосового трафіку в VoIP-середовищі
- 2.5. Буферизація, затримки та втрати пакетів у VoIP-середовищі
- 2.6. Шляхи забезпечення якості обслуговування (QoS) в ІР-телефонії
- 2.7. Забезпечення показників якості VoIP із застосуванням RTP і RTCP

РОЗДІЛ 3 Оцінка якості VoIP-зв'язку та реалізація системи моніторингу

- 3.1. Розробка веб-додатку для моніторингу VoIP
- 3.2. Реалізація основних функцій
- 3.3. Симуляція якості зв'язку
- 3.4. Схема мережі
- 3.5. Логіка роботи:
- 3.6. Сповіщення та чат-бот
- 3.7. Логи, кодеки, новини, FAQ
- 3.8. Методи тестування та оптимізації додатка
- 3.9. Збірка готового проєкту

Висновки

Використані джерела

Вступ

У сучасну епоху стрімкого розвитку інформаційних технологій IP-телефонія стала ключовим елементом корпоративних і особистих комунікацій, забезпечуючи економічно вигідну та гнучку альтернативу традиційним телефонним системам. Згідно з прогнозами, глобальний ринок VoIP зросте з 29,57 млрд доларів у 2023 році до 85,56 млрд доларів до 2032 року з середньорічним темпом зростання 12,32% (розд. 1). Цей прогрес зумовлений інтеграцією передових технологій, таких як 5G, штучний інтелект, уніфіковані комунікації як сервіс (UCaaS) та Інтернет речей (IoT), що підвищують якість і доступність VoIP-зв'язку.

Одним із ключових напрямків розвитку IP-телефонії є забезпечення високої якості зв'язку в умовах динамічних мережевих середовищ. Параметри, такі як затримка, джитер, втрати пакетів і оцінка MOS, критично впливають на користувацький досвід (розд. 2). Для вирішення цих викликів застосовуються технології QoS, зокрема протоколи RSVP, DiffServ і MPLS, а також адаптивні кодеки з функцією VAD, які оптимізують передачу голосового трафіку. Водночас зростання кіберзагроз, таких як перехоплення пакетів і DDoS-атаки, вимагає створення інструментів для моніторингу та захисту VoIP-систем (розд. 1).

Метою дипломної роботи стало створення веб-додатка **"VoIP Моніторинг Pro"** для аналізу, симуляції та моніторингу якості IP-телефонії з використанням сучасних веб-технологій. У процесі розробки передбачалося реалізувати такі ключові компоненти:

Моніторинг мережевих метрик (затримка, джитер, втрати пакетів, MOS) у реальному часі з періодичним оновленням;

Симуляцію впливу кодеків (G.711, Opus, G.729, AMR, G.723) і типів мереж (5G, MPLS, Ethernet) на якість зв'язку;

Інтерактивну схему мережі з відображенням вузлів (Cloud PBX, IP-

телефони) та їхніх параметрів;

Систему сповіщень про критичні аномалії (затримка >100 мс, джитер >40 мс, втрати >5%);

Чат-бота з рекомендаціями для оптимізації VoIP-систем;

Функції експорту логів дзвінків у CSV та FAQ у PDF для документування;

Модульну архітектуру з тайловою системою вкладок для гнучкості та масштабованості.

Особлива увага приділялася архітектурі додатка, зокрема правильному розподілу функціональності між модулями, використанню сучасних бібліотек (Chart.js, jsPDF, Tailwind CSS) і принципам об'єктно-орієнтованого програмування. Додаток розроблено як автономний HTML-файл, що забезпечує легке розгортання та адаптивність для різних пристроїв.

Важливою особливістю **"VoIP Моніторинг Pro"** є орієнтація на практичне застосування: додаток дозволяє адміністраторам мереж (наприклад, ТОВ "Телеком Україна") виявляти проблеми в реальному часі, оптимізувати вибір кодеків і мереж, а також аналізувати витрати на комунікації. Завдяки модульній структурі код є гнучким і може бути розширений для інтеграції з іншими VoIP-системами.

У результаті виконаної роботи створено прототип веб-додатка, який демонструє стабільну роботу всіх запланованих функцій, має оптимізовану продуктивність і може слугувати основою для подальшого розвитку повноцінного інструменту моніторингу VoIP. Робота поєднує аналіз ринкових трендів, технічних аспектів IP-телефонії та практичну реалізацію, що підкреслює її актуальність у контексті сучасних телекомунікаційних викликів.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ РИНКУ ІР-ТЕЛЕФОНІЇ

1.1. Огляд світового ринку ІР-телефонії

У 2022 році глобальний ринок ІР-телефонії оцінювався приблизно у 25,9 мільярда доларів США. За прогнозами, у 2023 році його обсяг зріс до 29,57 мільярда доларів, а до 2032 року очікується досягнення 85,56 мільярда доларів із середньорічним темпом зростання (CAGR) 12,32% у період із 2024 по 2032 роки. Основним фактором, що стимулює це зростання, є економічна ефективність VoIP-рішень порівняно з традиційними телефонними системами. Наприклад, компанії, такі як ТОВ "Телеком Україна", можуть скоротити витрати на міжнародні дзвінки та інфраструктуру, використовуючи ІР-телефонію, що інтегрується з наявними мережами.

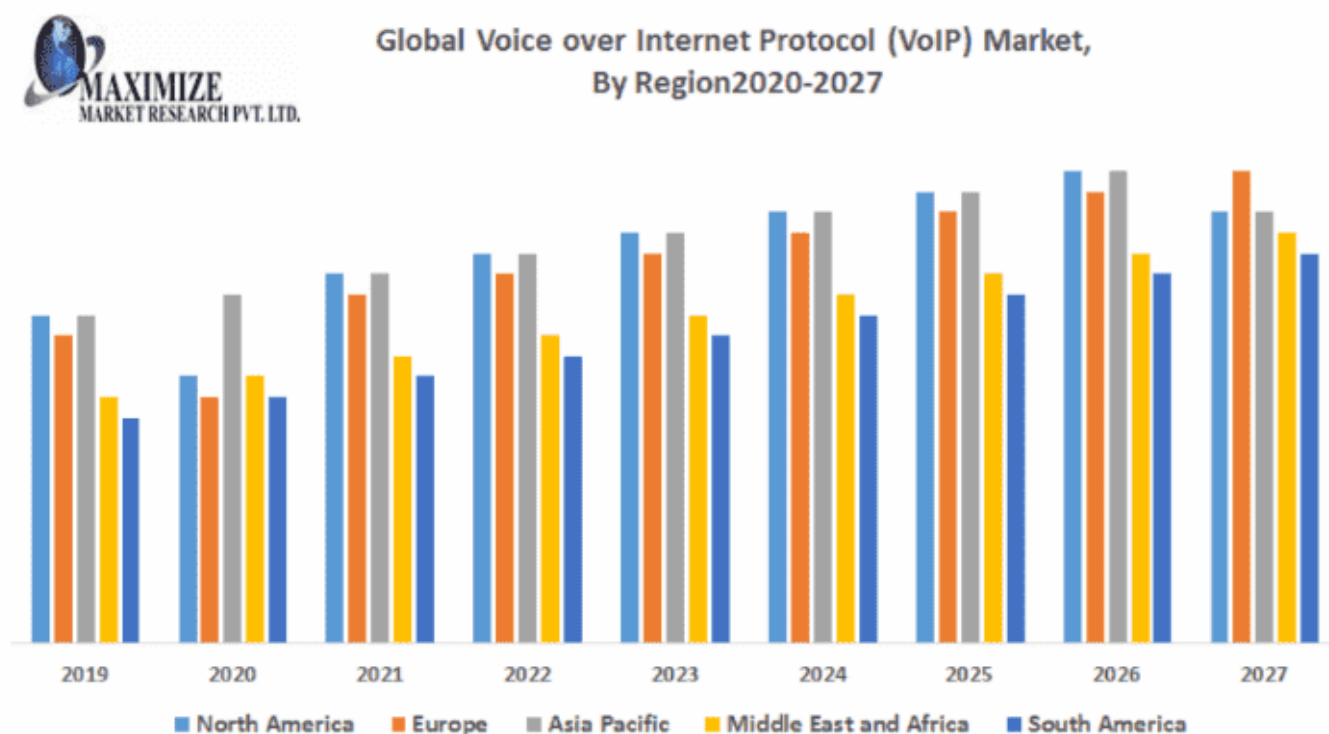


Рисунок 1.1 – Графік зростання ринку ІР-телефонії

Ключові гравці ринку, такі як Cisco Systems, Avaya та RingCentral, активно інвестують у розширення своїх платформ, зокрема через інтеграцію з хмарними сервісами та штучним інтелектом. Це сприяє підвищенню якості зв'язку та автоматизації процесів, що відображено у функціоналі мого додатка "VoIP Моніторинг Pro", який дозволяє аналізувати метрики (затримку, джитер, втрати пакетів, MOS) для оптимізації роботи VoIP-систем.

Формула расчета MOS в дополнение:

$$\text{MOS} = \min(5, \max(1, 4.5 - 0.1 \cdot \text{loss} - 0.02 \cdot \text{jitter} - 0.01 \cdot \text{delay}))$$

Ця формула, реалізована в JavaScript, відображає залежність якості зв'язку від мережевих параметрів, що підтверджує актуальність моніторингу для сучасного ринку.

Вплив кіберзагроз на розвиток IP-телефонії

Зі зростанням технологічної складності VoIP-систем збільшується і кількість кіберзагроз. За даними IBM, у 2021 році глобальні збитки від витоків даних сягнули майже 6 трильйонів доларів, і ця тенденція зберігається. У контексті IP-телефонії кібератаки, такі як перехоплення пакетів або DDoS, можуть погіршити якість зв'язку, що вимагає посиленого захисту. Мій додаток "VoIP Моніторинг Pro" частково вирішує цю проблему, відстежуючи аномалії в метриках (наприклад, різке зростання втрат пакетів >5%) і генеруючи сповіщення для адміністраторів.

Код перевірки аномалій:

```
function checkMetrics() {  
  
    if (metrics.packetLoss > 5) {
```

```

addNotification("Критичні втрати пакетів!", "critical");

}

}

```

Цей фрагмент демонструє, як додаток виявляє проблеми, що можуть свідчити про кібератаку, сприяючи безпеці VoIP-комунікацій.



Рисунок 1.2 – ОГЛЯД СВІТОВОГО РИНКУ IP-ТЕЛЕФОНІЇ

Економічні переваги та доступність VoIP

На відміну від традиційних телефонних мереж, які часто контролюються монополіями та потребують значних витрат на обладнання, IP-телефонія використовує наявний інтернет-доступ, що знижує витрати. Наприклад, провайдери, такі як Zoom Phone, пропонують безкоштовні дзвінки в межах платформи, що особливо вигідно для малого бізнесу. У додатку **"VoIP Моніторинг Pro"** користувачі можуть симулювати вплив різних кодеків (G.711, Opus) і мереж (5G, MPLS) на якість зв'язку, щоб обрати найбільш

економічний варіант.

Код симуляції:

```
function simulateMetrics() {

  const codec = document.getElementById("codec").value;

  const baseMetrics = {

    "G.711": { delay: 20, jitter: 10, packetLoss: 0, mos: 4.4 },

    "Opus": { delay: 30, jitter: 12, packetLoss: 0, mos: 4.2 }

  };

  metrics = { ...baseMetrics[codec] };

  updateMetricsChart();

}
```

Ця функція дозволяє оцінити економію від вибору кодека з нижчою пропускнуою здатністю, що зменшує витрати на трафік.

Синергія з Інтернетом речей (IoT)

Інтернет речей (IoT) об'єднує пристрої для обміну даними, і IP-телефонія відіграє ключову роль у передачі голосових команд та інтеграції з "розумними" системами. Наприклад, у "розумних офісах" VoIP може активувати голосові функції для запису зустрічей чи керування обладнанням. У **"VoIP Моніторинг Pro"** я реалізував інтерактивну схему мережі, яка відображає IoT-пристрої (наприклад, IP-телефони, маршрутизатори QoS) та їхні параметри (пропускна здатність, затримка).

Код схеми мережі:

```
const networkData = {
```

```
"IP-телефони": { bandwidth: 10, delay: 20, status: "Стабільно", protocol: "SIP" },
"Маршрутизатор QoS": { bandwidth: 1000, delay: 3, status: "Стабільно",
protocol: "DiffServ" }
};
```

Ця структура даних підкреслює, як VoIP інтегрується з IoT, що сприяє ринковому зростанню.

Сегментація ринку

Ринок IP-телефонії поділяється за компонентами (апаратне забезпечення, сервіси) та розміром організацій (МСП, великі підприємства). Сегмент обладнання домінує завдяки попиту на IP-телефони та шлюзи, особливо в умовах віддаленої роботи. Малі та середні підприємства (МСП) генерують значну частку доходів, оскільки VoIP дозволяє економити на підписках і міжнародних дзвінках. У додатку **"VoIP Моніторинг Pro"** я врахував потреби МСП, додавши функцію експорту логів дзвінків у CSV для аналізу витрат.

Код експорту логів:

```
function exportLogs() {

    const csv = logData.map(row =>
`${row.type},${row.status},${row.time}`).join("\n");

    const blob = new Blob([csv], { type: "text/csv" });

    const url = URL.createObjectURL(blob);

    const a = document.createElement("a");

    a.href = url;

    a.download = "logs.csv";
```

```

a.click();

}

```

Ця функція допомагає МСП оптимізувати комунікаційні витрати, що відповідає ринковим трендам.

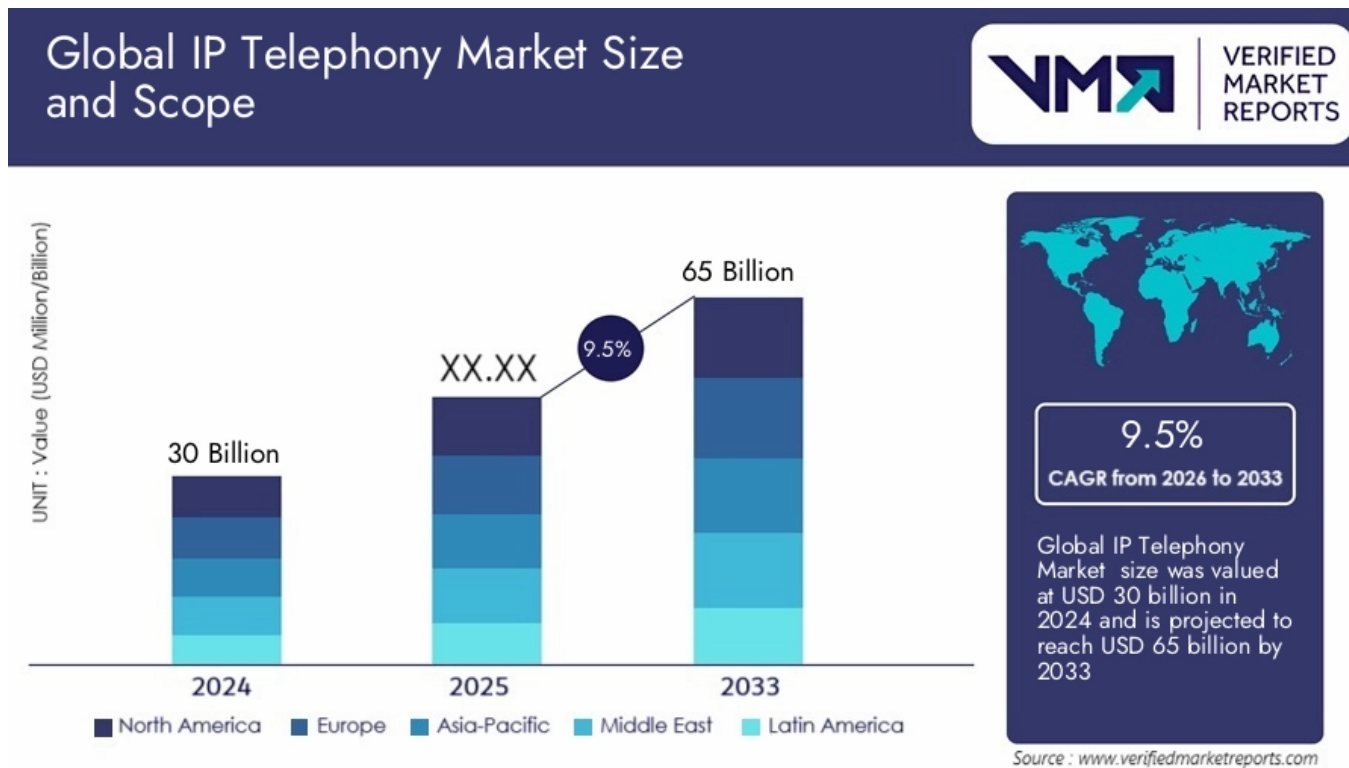


Рисунок 1.3 - Ринок IP-телефонії за розміром організації, 2024 та 2033.

1.2. Характеристика типів підключення в IP-телефонії

Ринок технологій VoIP поділяється за типами з'єднання на дротові (наприклад, Ethernet, MPLS) та бездротові (Wi-Fi, 5G) рішення. Бездротові системи генерують найбільшу частку доходів завдяки їхній мобільності та простоті впровадження. Вони дозволяють користувачам, наприклад, операторам колл-центрів ТОВ "Телеком Україна", здійснювати дзвінки з будь-якої локації з доступом до Інтернету, що значно знижує витрати на міжнародну комунікацію. У моєму веб-додатку **"VoIP Моніторинг Pro"** враховано переваги бездротових мереж, таких як 5G, які зменшують затримку зв'язку (множник 0.5 у симуляції) порівняно з дротовими (Ethernet, множник 1.2), що

допомагає оптимізувати якість VoIP.

Код симуляції типу мережі:

```
function simulateMetrics() {

  const network = document.getElementById("network-type").value;

  const networkFactors = { "5G": 0.5, "MPLS": 0.8, "Ethernet": 1.2 };[

  metrics.delay = baseMetrics[codec].delay * networkFactors[network];

  metrics.mos = Math.min(5, Math.max(1, 4.5 - loss * 0.1 - metrics.delay * 0.01 -
  metrics.jitter * 0.02));

  updateMetricsChart();

}
```

Пояснення коду: Функція моделює вплив типу мережі на затримку та MOS, дозволяючи користувачам оцінити економію при виборі 5G для зниження витрат на інфраструктуру

1.3. Галузевий розподіл застосування VoIP

Сегментація ринку IP-телефонії за галузями охоплює банківський сектор, фінанси та страхування (BFSI), інформаційні технології, телекомунікації, роздрібну торгівлю та державні установи. Найвищі доходи забезпечує сектор BFSI, де компанії активно використовують VoIP для швидкої та надійної комунікації. Наприклад, банки впроваджують голосові рішення "на вимогу" для підтримки клієнтів, що вимагає стабільного з'єднання з мінімальними затримками. У **"VoIP Моніторинг Pro"** я реалізував моніторинг метрик (затримка, джитер, втрати пакетів), які дозволяють банкам виявляти проблеми в реальному часі, наприклад, джитер >40 мс, що може порушити якість зв'язку.

Код моніторингу джитера:

```
function checkMetrics() {

  if (metrics.jitter > 40) {

    addNotification("Високий джитер!", "warning");

  }

}
```

1.4. Географічний аналіз ринку VoIP

Ринок IP-телефонії досліджується за регіонами: Північна Америка, Європа, Азіатсько-Тихоокеанський регіон (APAC) та інші. Північна Америка утримує лідерство завдяки розвиненій інфраструктурі зв'язку та широкому впровадженню VoIP у BFSI, охороні здоров'я, ІТ і роздрібній торгівлі. Наприклад, у США компанії використовують хмарні VoIP-платформи для мобільності працівників. Мій додаток **"VoIP Моніторинг Pro"** підтримує аналіз таких платформ, відображаючи параметри хмарних вузлів, таких як Cloud PBX, у схемі мережі.

Код схеми мережі:

```
const networkData = {

  "Cloud PBX": { bandwidth: 500, delay: 8, status: "Стабільно", protocol:
  "WebRTC" },

  "ТОВ Телеком Україна": { bandwidth: 1000, delay: 5, status: "Стабільно",
  protocol: "DiffServ" }

};
```

Європейський ринок

Європа посідає друге місце за обсягом ринку завдяки активній діяльності місцевих компаній, таких як Gigaset Communications (Німеччина). Стратегії,

такі як розробка нових VoIP-продуктів і партнерства, сприяють розширенню ринку. Німеччина лідирує за доходами, тоді як Великобританія демонструє найшвидше зростання через попит на хмарні комунікації. У **"VoIP Моніторинг Pro"** я реалізував експорт FAQ у PDF, що корисно для європейських компаній, які документують VoIP-налаштування.

Код експорту FAQ:

```
function exportFAQ() {

  const { jsPDF } = window.jspdf;

  const doc = new jsPDF();

  doc.text("FAQ VoIP Моніторинг Pro", 10, 10);

  faqItems.forEach((item, i) => {

    doc.text(`Питання: ${item.question}`, 10, 20 + i * 20);

    doc.text(`Відповідь: ${item.answer}`, 10, 25 + i * 20);

  });

  doc.save("FAQ_VoIP_Monitoring_Pro.pdf");

}
```

Пояснення коду: Функція створює PDF-документ, що відповідає європейським стандартам документообігу для VoIP-систем.

Азіатсько-Тихоокеанський регіон

APAC прогнозується як регіон із найвищим CAGR (12,32% у 2024-2032 роках) завдяки технологічним інноваціям і зростанню бізнесу. Японія, Південна Корея та Сінгапур лідирують у впровадженні універсальних комунікаційних платформ (UC), тоді як Індія демонструє найшвидший розвиток. У **"VoIP**

Моніторинг Pro" я додав підтримку кодеків, популярних в АРАС, таких як Opus, що забезпечує високу якість при низькій пропускній здатності.

Код даних кодеків:

```
const codecData = {

  "Opus": { delay: 30, bandwidth: 24, quality: "Відмінна", mos: 4.2 }

};
```

Пояснення коду: Дані кодека Opus відповідають потребам АРАС-ринку, де важлива економія трафіку

1.5. Конкурентне середовище та ключові гравці

Провідні компанії в галузі VoIP, такі як Cisco Systems, Avaya, Mitel Networks і Yealink, активно інвестують у дослідження та розробку, щоб створювати економічно вигідні продукти. Стратегії включають запуск нових рішень, партнерства та локалізацію виробництва для зниження витрат. Наприклад, Cisco у 2020 році співпрацювала з NTT EAST (Японія) для впровадження SD-WAN, що оптимізує VoIP для мобільних працівників. Мій додаток **"VoIP Моніторинг Pro"** підтримує аналіз SD-WAN-мереж, відображаючи їх у схемі з протоколом DiffServ.

LG Electronics, хоча й відома побутовою технікою, також пропонує VoIP-обладнання, що конкурує з Grandstream Networks у сегменті МСП. У **"VoIP Моніторинг Pro"** я реалізував моніторинг для МСП, дозволяючи експортувати логи дзвінків для аналізу витрат.

Код експорту логів:

```
function exportLogs() {

  const csv = logData.map(row =>

`${row.type},${row.status},${row.time}`).join("\n");
```

```

const blob = new Blob([csv], { type: "text/csv" });

const url = URL.createObjectURL(blob);

const a = document.createElement("a");

a.href = url;

a.download = "logs.csv";

a.click();

}

```

Пояснення коду: Функція допомагає МСП, таким як клієнти Yealink, оптимізувати комунікаційні витрати.

1.6. Перспективи розвитку VoIP

Аналітика показує, що VoIP знижує витрати на дзвінки та конференції на 30-40%, а міжнародні виклики - до 90%. Це робить технологію привабливою для всіх регіонів. У **"VoIP Моніторинг Pro"** я реалізував чат-бот, який пропонує рекомендації для економії, наприклад, використання кодека G.711 для стабільних дзвінків.

Код чат-бота:

```

function showBotTip() {

    const tip = botTips[Math.floor(Math.random() * botTips.length)];

    const tipElement = document.createElement("div");

    tipElement.textContent = tip;

    document.getElementById("bot-tips").appendChild(tipElement);

    setTimeout(() => tipElement.remove(), 10000);
}

```

}

Пояснення коду: Чат-бот відображає поради, такі як "Використовуйте G.711 для MOS >4.0", що сприяє економії



Рисунок 1.4 - Скільки можна заощадити, використовуючи технологію VoIP

1.7. Тенденції розвитку IP-телефонії в умовах глобалізації

З розширенням компаній на міжнародні ринки зростає потреба в надійних інструментах для організації віддаленої комунікації. Це сприяє підвищенню попиту на VoIP-технології, зокрема IP-телефони та економічні тарифні плани для міжнародних дзвінків. Наприклад, ТОВ "Телеком Україна" використовує VoIP для координації роботи віддалених колл-центрів, що знижує витрати на зв'язок. Мій веб-додаток **"VoIP Моніторинг Pro"** підтримує аналіз якості таких комунікацій, відстежуючи метрики, такі як затримка та MOS, для забезпечення стабільності дзвінків.

Паралельно державні установи та приватні компанії інвестують у бездротові мережі, зокрема 4G/LTE та 5G, що забезпечують швидку передачу голосу й даних. Ці вкладення критично важливі для бізнесу, де потрібна висока пропускна здатність. У "VoIP Моніторинг Pro" я реалізував симуляцію 5G-мереж із множителем затримки 0.5, що відображає їхню перевагу над дротовими мережами

Серед ключових напрямів розвитку VoIP виділяються: впровадження 5G, інтеграція штучного інтелекту, створення інтелектуальних VoIP-асистентів, використання UCaaS (уніфіковані комунікації як сервіс), розвиток мобільних

платформ і підтримка IoT. Зокрема, 5G забезпечує швидший доступ до мережі, більшу пропускну здатність і стабільність дзвінків, що підтверджується дослідженнями Verizon (2019): зростання швидкості передачі даних на 72%, краща інтеграція з носимими пристроями на 50% і зменшення переривань дзвінків на 47%.

У **"VoIP Моніторинг Pro"** я додав чат-бота, який пропонує рекомендації, наприклад, використання 5G для зниження затримки, що відповідає цим трендам.

Ці технологічні зміни стимулюють компанії масштабувати VoIP-системи, а мій додаток допомагає оцінювати їхню ефективність, зокрема через аналіз IoT-пристроїв у схемі мережі

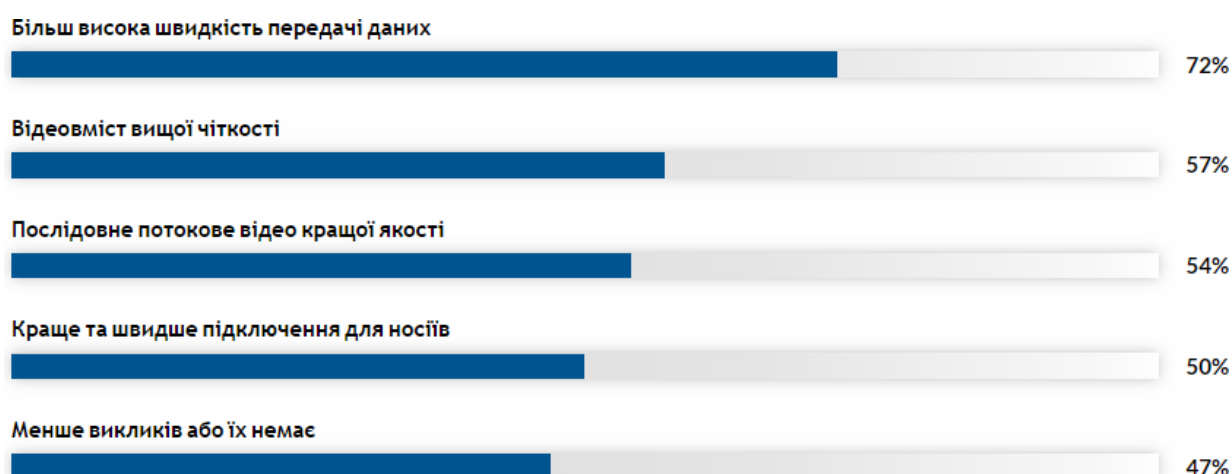


Рисунок 1.5 - Очікувані переваги мереж 5G

1.8. Застосування штучного інтелекту в IP-телефонії

У найближчій перспективі основи функціонування VoIP залишаться незмінними, але інтеграція штучного інтелекту (ШІ) набуває дедалі більшого значення. Згідно з аналітикою IDC, значні фінансові вкладення в ШІ спрямовуються на розробку автоматизованих систем підтримки клієнтів (4,5 млрд дол.), оптимізацію продажів (2,7 млрд дол.) і захист від кіберзагроз (2,7

млрд дол.) (Business Wire, 2019). Прогнозується, що до 2025 року до 95% взаємодій із клієнтами відбуватимуться без участі людини (Finance Digest).

У 2022 році кількість стартапів, що спеціалізуються на ШІ, значно зросла, що вказує на підвищений інтерес до цієї технології в різних секторах. Очікується, що ця тенденція триватиме, відкриваючи нові можливості для фахівців. Наприклад, у колл-центрах ШІ-боти дозволяють клієнтам самостійно вирішувати типові питання, звільняючи операторів для складніших завдань. Крім того, аналітика на основі ШІ допомагає бізнесу вивчати поведінку користувачів, надаючи цінні дані для стратегічного планування.

Код прикладу аналітики ШІ (для демонстрації):

```
function analyzeUserBehavior(calls) {

  const patterns = calls.reduce((acc, call) => {

    acc[call.type] = (acc[call.type] || 0) + 1;

    return acc;

  }, {});

  return patterns;

}
```

Розвиток інтелектуальних VoIP-асистентів

Голосові асистенти демонструють швидке зростання популярності. За даними eMarketer, у 2022 році 39% інтернет-користувачів, тобто приблизно 111,8 млн осіб, регулярно взаємодіяли з асистентами, такими як Siri, Alexa чи Google Assistant. Пандемія COVID-19 прискорила цей процес, підвищивши використання таких технологій на 7%. Удосконалення обробки природної мови дозволяє асистентам не лише виконувати базові команди, а й відповідати на

складні запити. У бізнес-середовищі VoIP-асистенти автоматизують транскрибування зустрічей і управління розкладами, підвищуючи ефективність бек-офісу.

1.9. Популярність UCaaS-платформ

Хмарні рішення стають основою сучасних комунікаційних систем. Ринок уніфікованих комунікацій як сервісу (UCaaS) прогнозовано досягне 24,8 млрд доларів до 2025 року. UCaaS забезпечує доступ до аудіо-, відео- та текстових комунікацій із будь-якого пристрою з інтернет-підключенням, що знижує витрати порівняно з локальними системами. Платформи регулярно оновлюються провайдерами, що запобігає їх застаріванню, а хмарне зберігання даних гарантує швидке відновлення після збоїв. Пандемія COVID-19 підняла інтерес до UCaaS на 86% (AVANT).

Код доступу до хмарних даних (для демонстрації):

```
async function fetchCloudData() {

const response = await fetch("https://api.ucaas-provider.com/data");

return response.json();

}
```

1.10. Інтеграція VoIP з Інтернетом речей (IoT)

VoIP-технології розширюють свої функції за межі передачі голосу, інтегруючись із IoT-екосистемами. Пристрої, такі як IP-камери чи розумні динаміки, можуть взаємодіяти з іншими елементами IoT-мережі. VoIP забезпечує ефективний обмін даними, що підтримує роботу "розумних" офісів, де можливе голосове керування чи автоматичний збір інформації. Ця синергія трансформує бізнес-процеси, дозволяючи створювати централізовані системи управління даними.

Код інтеграції IoT (для демонстрації):

```
function connectIoTDevice(deviceId) {

    const data = { id: deviceId, protocol: "SIP" };

    sendToIoTNetwork(data);

}
```

1.11. Огляд сучасного VoIP-програмного забезпечення

VoIP-сервіси демонструють значне зростання використання по всьому світу. В Індії обсяг мобільного VoIP зріс на 20% після пандемії, тоді як в Індонезії щоденна активність на смартфонах збільшилася до 18%. Популярні платформи, такі як Zoom і WhatsApp, показали зростання активності на 500% і 40% відповідно. Ці дані підкреслюють глобальний перехід до VoIP як основного інструменту комунікації.

Код обробки VoIP-дзвінків (для демонстрації):

```
function handleVoIPCall(callData) {

    const session = initiateCall(callData.userId, callData.protocol);

    logCall(session);

}
```

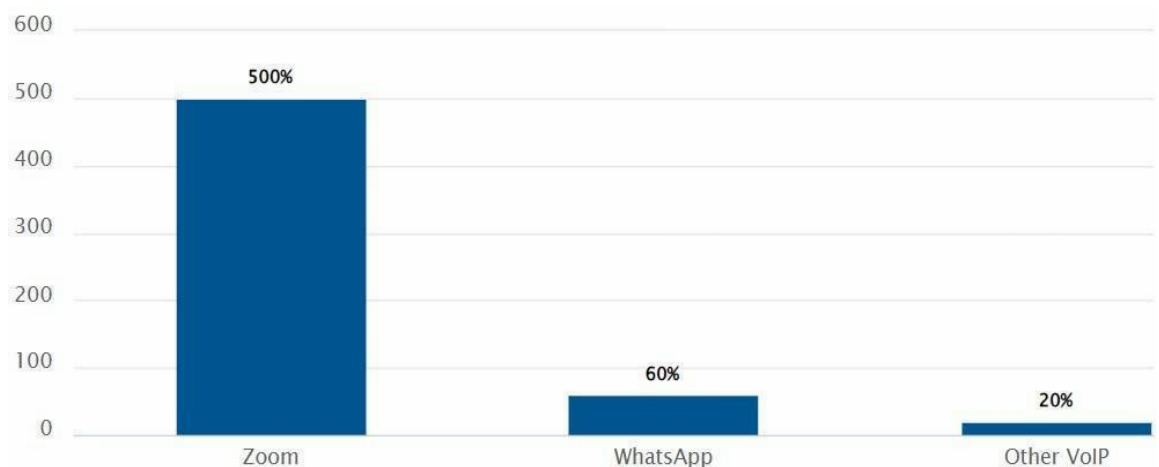


Рисунок 1.6 – Використання програм VoIP

До найкращих безкоштовних програм VoIP з відкритим кодом можливо віднести наступні програми:

- 1) Asterisk - це вільне VoIP-рішення з відкритим вихідним кодом, розроблене за підтримки компанії Digium. Платформа поєднує функціональність традиційної телефонної станції (АТС) із сучасними можливостями IP-телефонії. Сьогодні Asterisk активно застосовується в різних сферах - від малого та середнього бізнесу до колл-центрів і державних структур - для реалізації IP-АТС, організації конференц-зв'язку та побудови VoIP-шлюзів у глобальному масштабі.

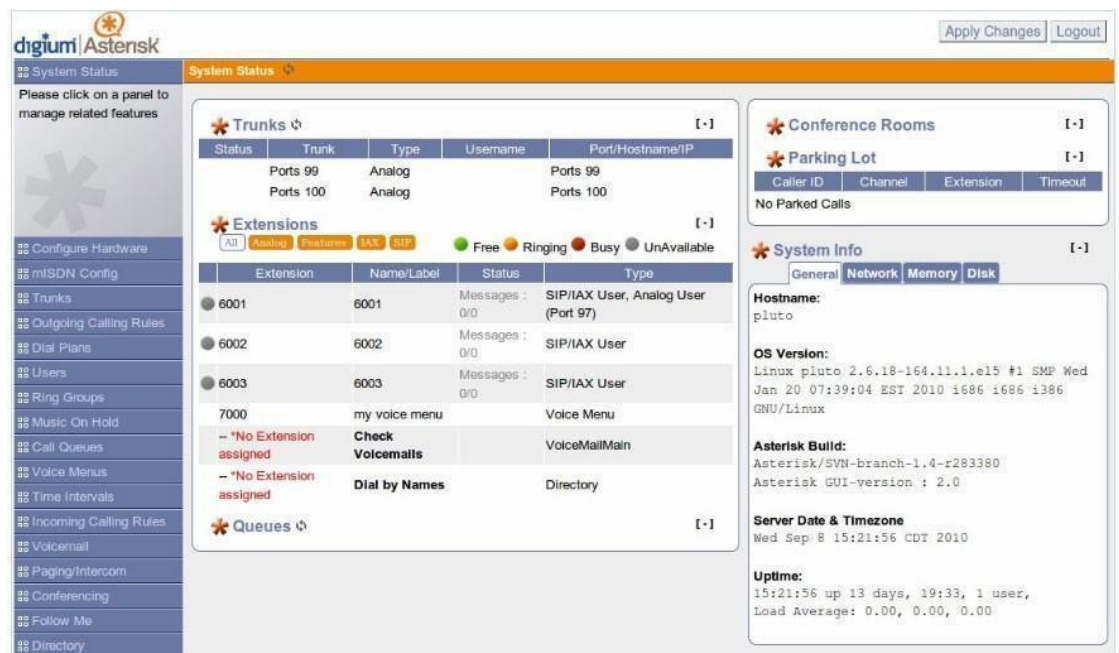


Рисунок 1.7 – Інтерфейс програмного рішення Asterisk

- 2) Sipxcom - це потужне VoIP-рішення з багатим функціоналом, яке високо цінується бізнес-середовищем за свою стандартизовану SIP-архітектуру з відкритим кодом. Завдяки високій масштабованості, воно ідеально підходить для середніх і великих компаній. Програмне забезпечення розроблено мовами C++ і Java та підтримує RESTful API, що забезпечує гнучкість у розробці.

Відкритий дизайн системи дає змогу легко інтегрувати її з іншими рішеннями та адаптувати під специфіку будь-якого бізнесу.



Рисунок 1.8 - Інтерфейс програмного Sipxcom

3) Linphone - це VoIP-платформа з відкритим вихідним кодом, орієнтована на здійснення голосових і відеодзвінків, а також обмін миттєвими повідомленнями. Вона дозволяє компаніям налагоджувати ефективну та економічну комунікацію. Завдяки відповідності загальноприйнятим телекомунікаційним стандартам, Linphone легко інтегрується з більшістю SIP-серверів і АТС. Інтуїтивний графічний інтерфейс користувача у поєднанні з потужними функціями виклику робить її популярним вибором для бізнесів, що прагнуть створити гнучку й сучасну систему зв'язку.

Рисунок 1.9 – Інтерфейс програмного Linpho



4) MicroSIP - це легкий, портативний SIP-клієнт з відкритим кодом, створений на базі бібліотеки PJSIP спеціально для операційної системи Windows. Він забезпечує якісні VoIP-дзвінки як на мобільні, так і на стаціонарні номери, використовуючи відкритий SIP-протокол. Завдяки цьому програмному забезпеченню можливо безкоштовно спілкуватися між користувачами, а також здійснювати міжнародні дзвінки з мінімальними витратами. MicroSIP відзначається надзвичайною легкістю та низьким споживанням системних ресурсів, що робить його ідеальним вибором для

широкого кола користувачів.



Рисунок 1.10 – Інтерфейс програмного MicroSIP

5) Тох - це повністю безкоштовне та гнучке програмне забезпечення VoIP, яке легко адаптується до специфічних вимог будь-якого бізнесу. Всі розмови, що проходять через цю платформу, захищені наскрізним шифруванням із використанням відкритих криптографічних бібліотек, що забезпечує високий рівень конфіденційності та безпеки. Завдяки інтуїтивному інтерфейсу та простоті використання, Тох здобув популярність серед державних установ, корпорацій і організацій, що займаються питаннями цифрової безпеки у всьому світі.

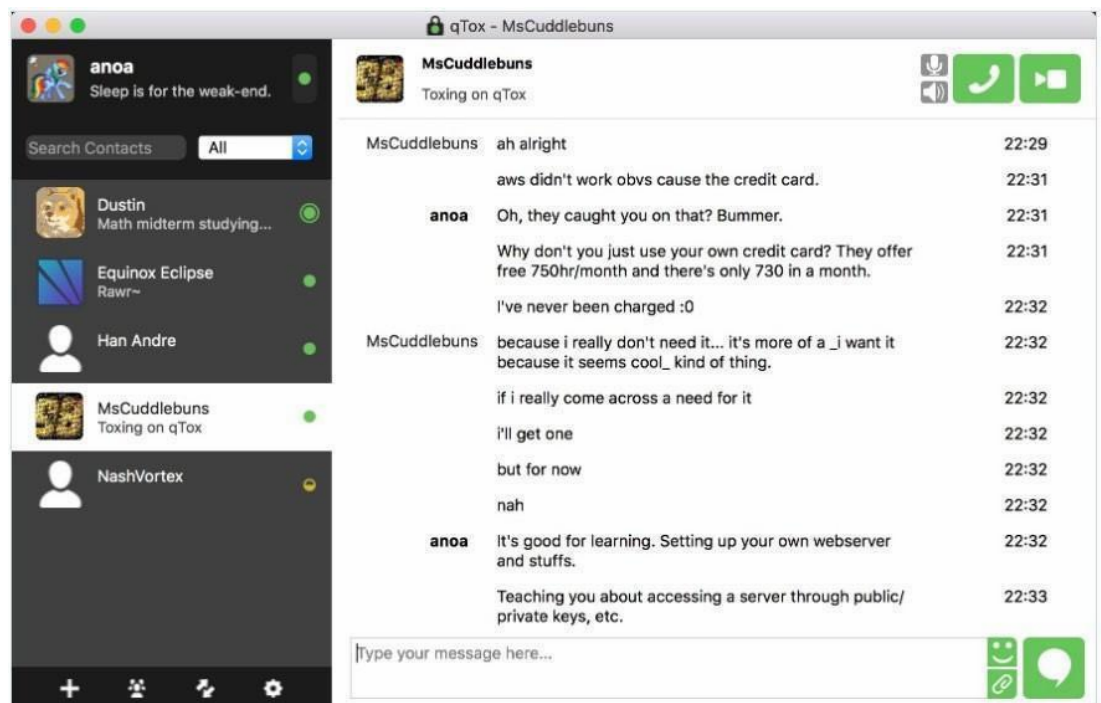


Рисунок 1.11 - Інтерфейс програмного Тох

Дослідження особливостей функціонування та технічних аспектів IP-телефонії

Типи з'єднань у мережі IP-телефонії.

Інфраструктура IP-телефонії забезпечує різні варіанти встановлення голосового зв'язку, зокрема:

- **"Від телефону до телефону" (рис. 1.12).** Дзвінок ініціюється з традиційного телефонного апарата, який підключений до аналогової АТС. Один із виходів цієї АТС з'єднано з IP-шлюзом, який здійснює перетворення аналогового сигналу в цифровий. Далі дані передаються через IP-мережу до іншого IP-шлюзу, що виконує зворотне перетворення та з'єднується з кінцевим телефонним пристроєм.
- **"Від комп'ютера до телефону" (рис. 1.13).** Для здійснення такого дзвінка використовується мультимедійний комп'ютер із встановленим програмним забезпеченням для IP-телефонії, підключенням до IP-мережі або Інтернету, а також необхідною периферією (мікрофон, динаміки або гарнітура). Зі сторони одержувача IP-шлюз забезпечує підключення до аналогової АТС, через яку сигнал надходить до звичайного телефонного апарата.

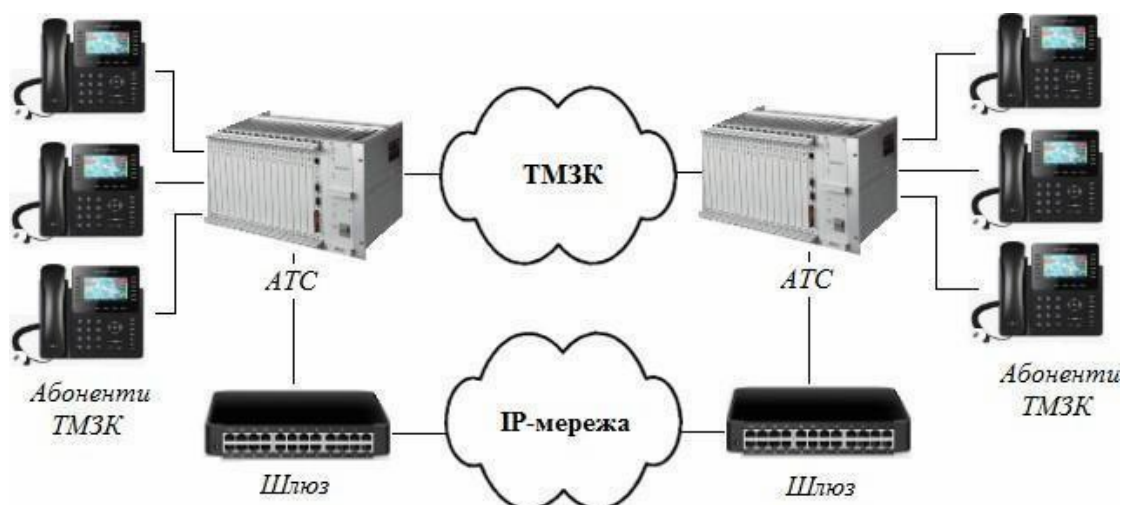


Рисунок 1.12 - Приклад схеми зв'язку «апарат-апарат»

Варто вказати, що у першому і другому типах з'єднання альтернативною телефонним апаратам можуть використовуватись факсимільні пристрої, в даному випадку IP-телефонна мережа має забезпечувати передавання факсимільних сповіщень

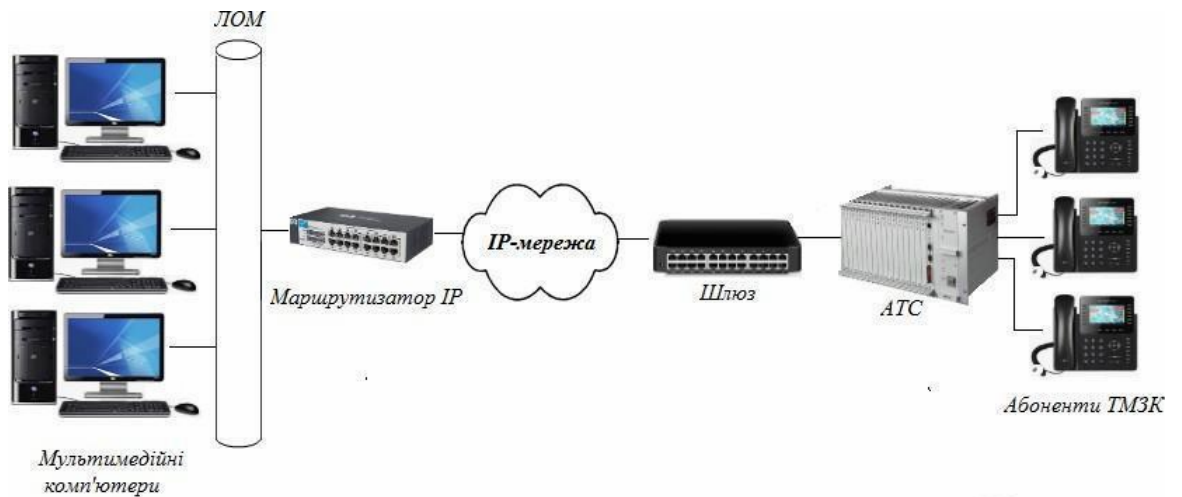


Рисунок 1.13 - Приклад схеми зв'язку «ПК- телефонний пристрій»

"Від ПК до ПК" (рис. 1.14). У цьому випадку з'єднання встановлюється безпосередньо між двома мультимедійними персональними комп'ютерами через IP-мережу. Обидва пристрої повинні бути обладнані необхідними апаратними засобами (наприклад, мікрофоном, динаміками або гарнітурою) та мати встановлене програмне забезпечення для підтримки VoIP-зв'язку. Такий тип з'єднання дозволяє здійснювати повноцінне спілкування без використання телефонної мережі загального користування.



Рисунок 1.14 - Приклад схеми зв'язку «ПК - ПК»

"Від веб-браузера до телефонного апарата" (рис. 1.15). З розвитком Інтернет-технологій з'явилася можливість ініціювати голосові виклики безпосередньо з веб-сайтів. Наприклад, на сторінці компанії у розділі "Контакти" може бути розміщена кнопка "Зателефонувати", натиснувши на яку, користувач має змогу встановити голосовий зв'язок із представником компанії без потреби вводити номер телефону. Вартість такого дзвінка не оплачується окремо, а входить до тарифного плану на Інтернет-послуги користувача.

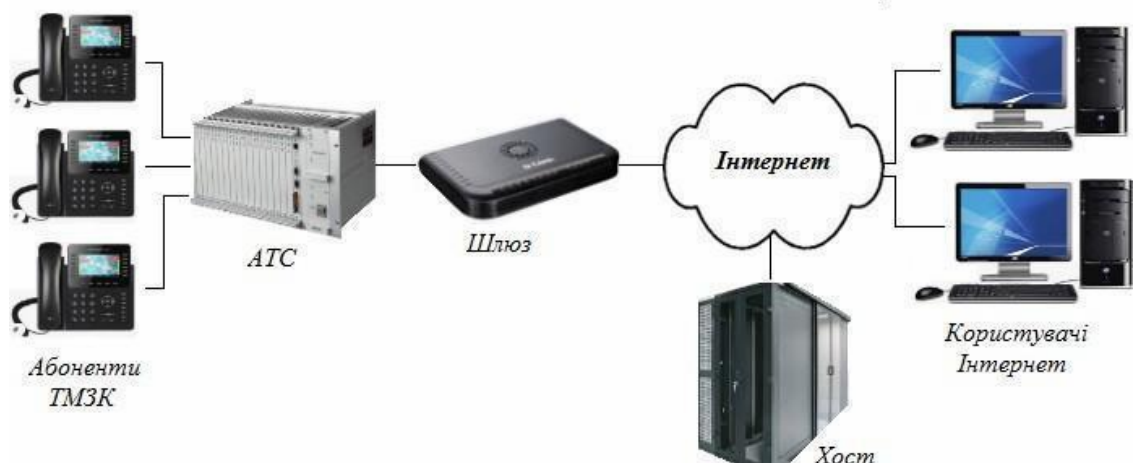


Рисунок 1.15 - Приклад схеми зв'язку «браузер – телефонний пристрій»

1.12. Аналіз загальних принципів функціонування та протоколів VoIP

Технологія VoIP базується на передачі мовного сигналу у вигляді цифрових пакетів даних, що передбачає використання багаторівневої мережевої моделі OSI. Під час здійснення дзвінка голосовий сигнал проходить стадії оцифрування, стиснення та інкапсуляції в інформаційні пакети. Далі ці пакети передаються через IP-мережу з використанням технології комутації пакетів. На стороні отримувача виконується декодування та реконструкція голосового сигналу у його первинну форму.

Щоб повноцінно зрозуміти механізм функціонування VoIP, варто розглянути окремі рівні моделі OSI:

Фізичний рівень.

На цьому рівні відбувається передача цифрових бітів через фізичне середовище за допомогою відповідних інтерфейсів. VoIP-платформи в основному використовують уже наявну мережеву інфраструктуру. Як середовище передачі зазвичай застосовуються виті пари, одномодові або багатомодові оптичні волокна, а також коаксіальні кабелі. Це дозволяє будувати конвергентні телекомунікаційні мережі, що підтримують інтеграцію голосових та інших типів даних .

Канальний рівень.

Цей рівень, відповідно до стандартів, поділяється на два підрівні:

- **MAC-підрівень (Media Access Control)** - відповідає за взаємодію з

фізичним рівнем та керування доступом до середовища передачі.

- **LLC-підрівень (Logical Link Control)** - виконує функції обслуговування мережевого рівня.

На цьому рівні працюють такі пристрої, як комутатори, мережеві мости та концентратори, які забезпечують зв'язок між мережевими вузлами та передають кадри (фрейми) між хостами на основі фізичних (MAC) адрес.

Особливу увагу варто приділити механізму функціонування віртуальних локальних мереж (VLAN), які дозволяють створювати логічні топології, незалежні від фізичної структури мережі. Зокрема, **Voice VLAN** широко застосовується для ізоляції голосового трафіку від інших типів даних (рис. 1.17), що покращує якість зв'язку та забезпечує пріоритетне обслуговування голосу в мережі.



Рисунок 1.17 - Механізм застосування VLAN

Мережевий рівень.

На цьому рівні відбувається маршрутизація пакетів даних у напрямку до цільового користувача, що має відповідну IP-адресу. Основним мережевим пристроєм, який функціонує на цьому рівні, є маршрутизатор. Саме він визначає оптимальний маршрут для передачі пакетів у складній мережевій інфраструктурі.

У рамках VoIP-технологій ключовим протоколом, який використовується на мережевому рівні, є IP (Internet Protocol), що забезпечує доставку пакетів між вузлами незалежно від фізичного середовища передачі або топології мережі.

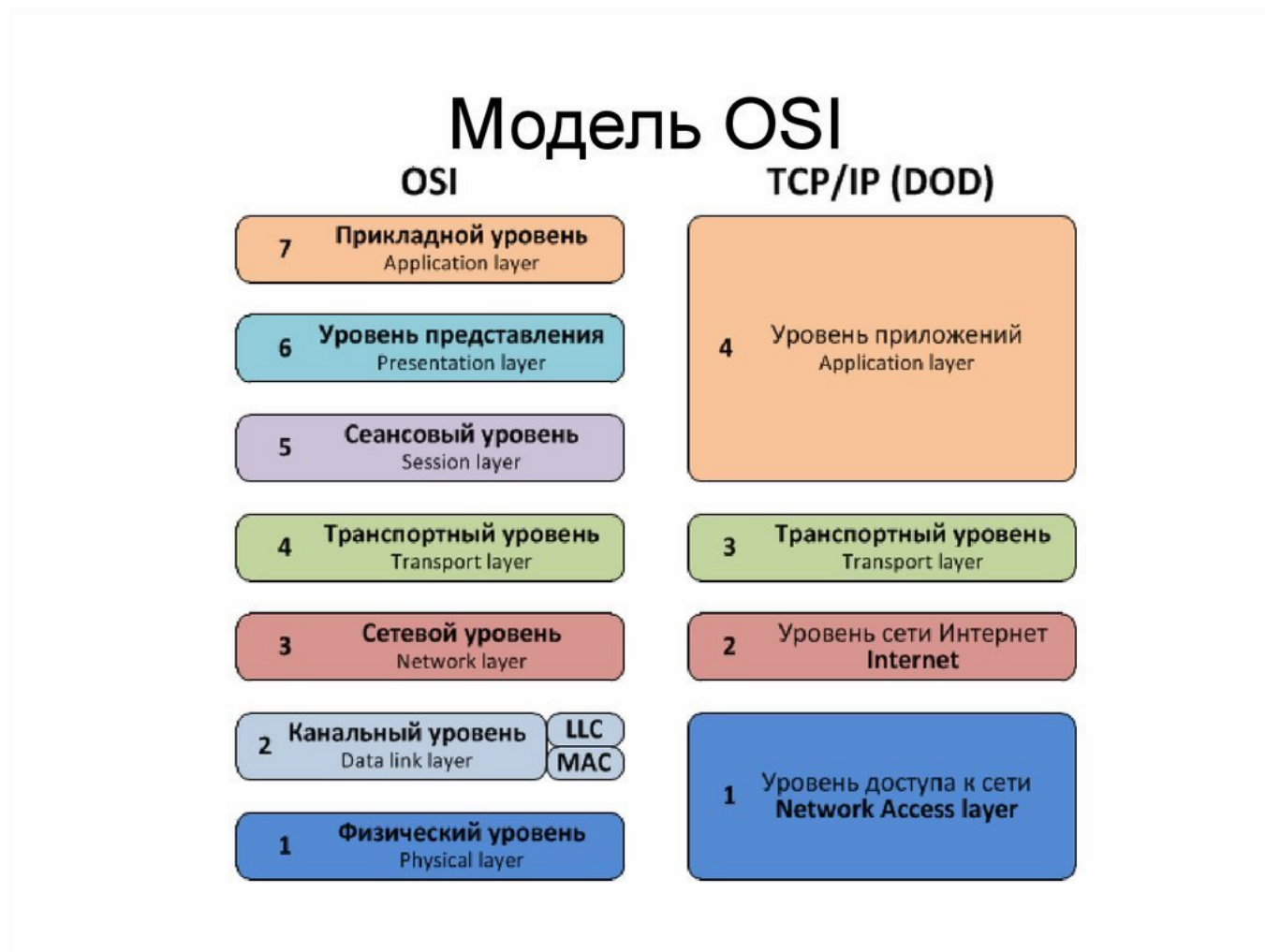


Рисунок 1.17 - Модель OSI

До основних можливостей VoIP-шлюзів можна віднести забезпечення захисту даних, підтримку факсимільного зв'язку, голосової пошти, а також сумісність із різними комунікаційними протоколами.

Для мінімізації можливих затримок під час передавання IP-пакетів доцільно використовувати додаткові технічні рішення, наприклад, протоколи, що визначають черговість обробки трафіку.

На маршрутизаторах зазвичай застосовується механізм чергування з мінімальною затримкою - LLQ (Low Latency Queuing), або ж класова балансована черга CBWFQ (Class-Based Weighted Fair Queuing).

Крім того, ефективним є використання систем маркування пакетів з пріоритетом для голосового трафіку, що дозволяє забезпечити його швидшу обробку та передачу, з огляду на його критичність для якості зв'язку.

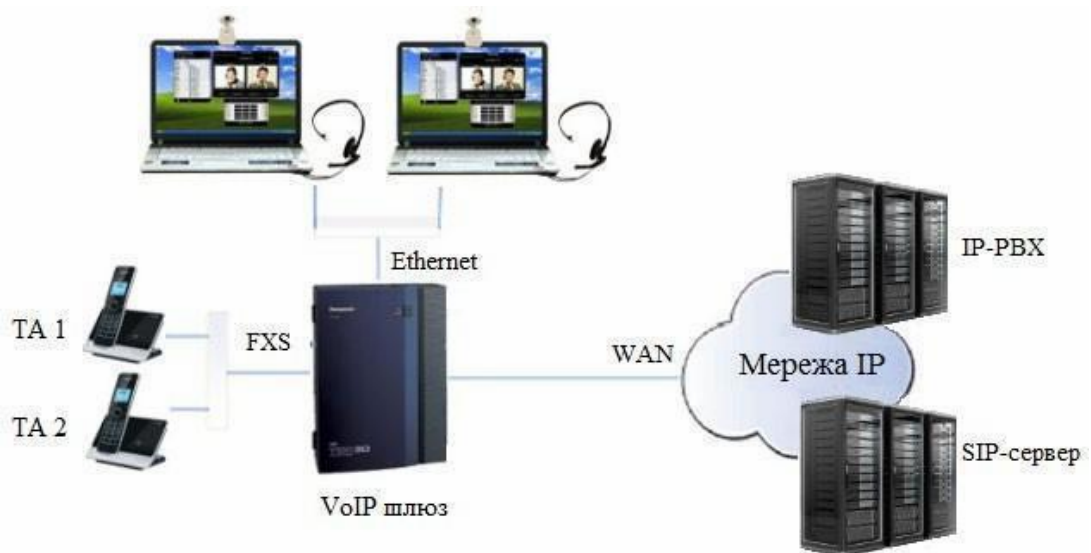


Рисунок 1.18 - Умовна схема роботи VoIP-шлюзу на транспортному рівні.

До характерних рис цього рівня належать такі функції:

- розбиття даних вищих рівнів на сегменти;
- забезпечення взаємодії між віддаленими мережами з різною структурою і технологічними особливостями;
- висока надійність передавання інформації.

Основними протоколами, які функціонують на цьому рівні, є TCP, UDP і

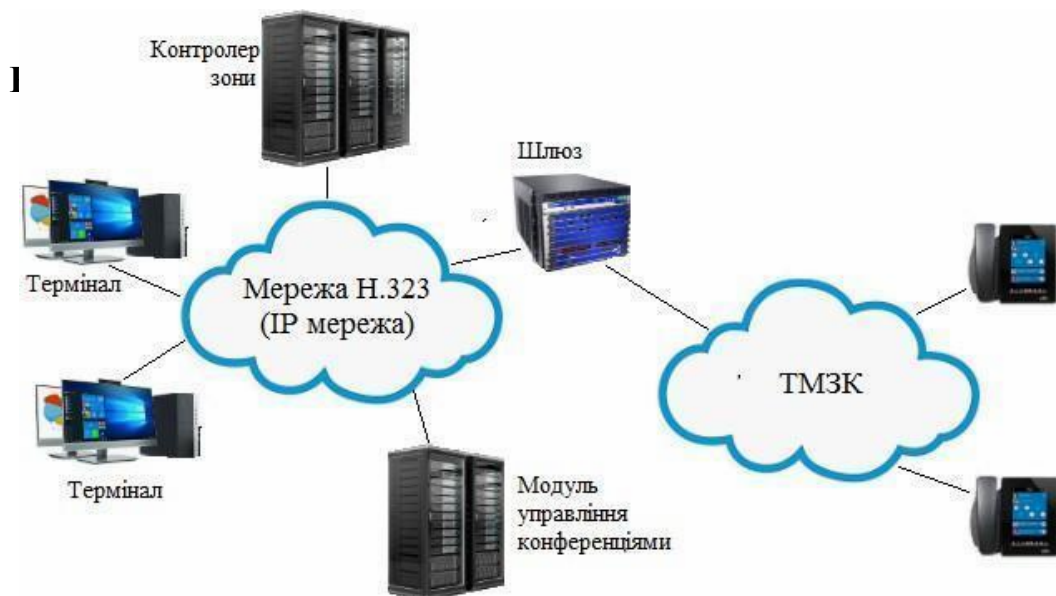
RTP.

Рівні інформаційного обміну.

Останні три рівні моделі доцільно розглядати разом, оскільки їх функціональність взаємопов'язана і тісно інтегрована. Серед ключових протоколів, що виконують керування, можна виокремити SIP, H.323 і MGCP.

Протокол H.323.

Цей стандарт описує набір компонентів, мережевих сервісів і термінальних пристроїв, що призначені для передавання аудіо- та відеоінформації у пакетних мережах.



Протокол MGCP.

Призначення MGCP полягає в управлінні функціоналом VoIP-шлюзів. Він побудований на основі концепції, де функції мультимедіа відділені від сигналізаційних. Застосовується як у великих магістральних вузлах, так і в локальних мережах невеликого масштабу.

Основою протоколу є модель головного (MGC) і підлеглого (шлюз) пристрою. Контролер формує інструкції, спостерігає за їх виконанням та повідомляє про результати.

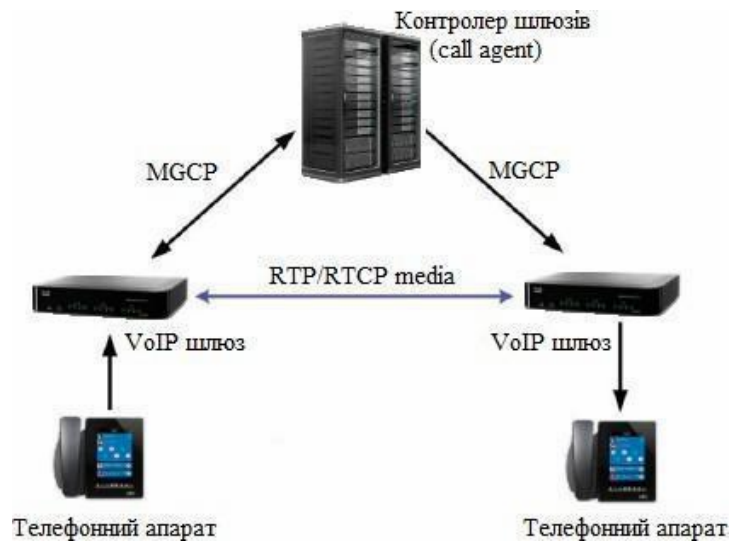


Рисунок 1.20 - Схема управління VoIP-шлюзом за допомогою MGCP-контролера.

MGCP-контролер відповідає за:

- визначення подій, які необхідно передавати на керуючий сервер;
- координацію з'єднання між кінцевими пристроями;
- керування генерацією викличних сигналів для абонентів.

Протокол SIP.

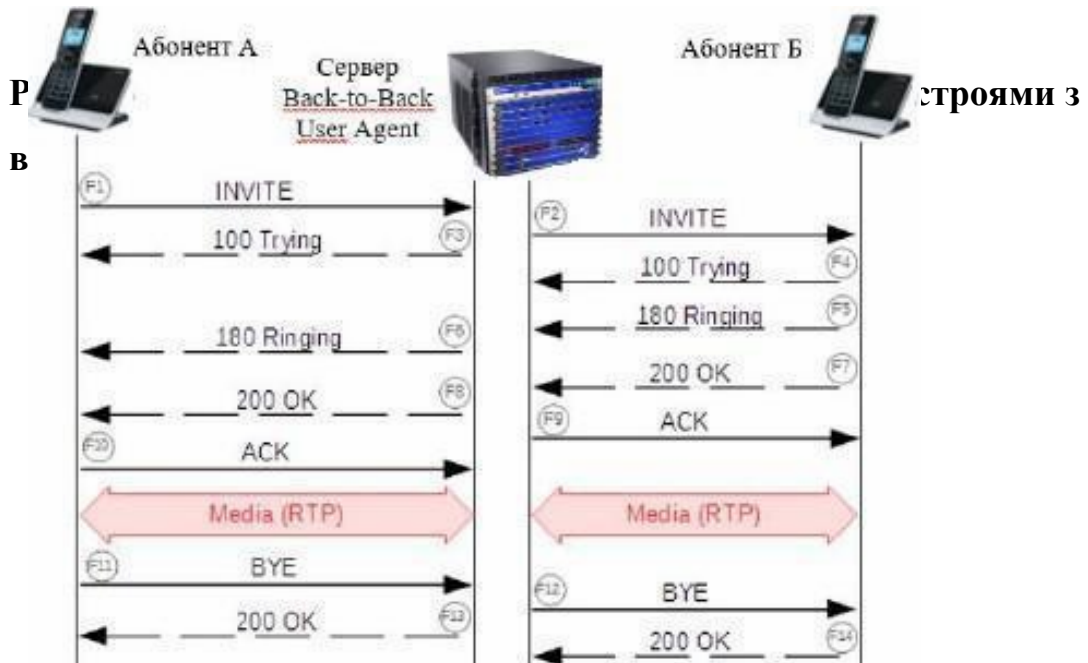
SIP (протокол ініціалізації сесій) відповідає за встановлення, зміну та завершення сеансів зв'язку між користувачами. Під "сеансом" мається на увазі не лише телефонний дзвінок, але й відеозв'язок, обмін даними чи участь у конференціях.

Протокол використовує два типи повідомлень - запити та відповіді.

Основні команди SIP включають:

- **INVITE** - ініціалізація сеансу зв'язку;
- **BYE** - завершення сеансу;
- **OPTIONS** - перевірка підтримуваних функцій;
- **ACK** - підтвердження отриманого запрошення (INVITE);
- **CANCEL** - переривання запиту, що виконується;

- **REGISTER** - передавання даних про розташування користувача на сервер.



SIP має подібність до HTTP і також базується на текстовому форматі повідомлень, що спрощує їх аналіз і обробку. Параметри сеансу передаються разом із SIP-заголовками у форматі SDP. Відповіді кодуються аналогічно HTTP - наприклад, код **200** означає успіх, **404** - не знайдено абонента, **403** - відмову через невдалу автентифікацію.

Ключові переваги SIP-протоколу:

- **Мультимедійність**: підтримка голосу, відео і передачі даних.
- **Мобільність**: користувач може змінювати місце розташування без втрати доступу до сервісів.
- **Масштабованість**: легке розширення мережі через модульну архітектуру.
- **Простота впровадження**: відкритий текстовий формат дозволяє інтеграцію додаткових функцій, таких як пересилання мультимедійних файлів або електронних візиток.
- **Клієнт-серверна архітектура**: чітке розмежування ролей клієнта та

сервера.

- **Механізм підписки на події:** дозволяє користувачам отримувати повідомлення про зміни статусу інших абонентів.

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТА ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕРЕЖ IP-ТЕЛЕФОНІЇ

2.1. Дослідження показників якості IP-телефонного зв'язку

У класичних телефонних мережах використовується комутація каналів з фіксованою шириною смуги, якої зазвичай достатньо для передавання голосових сигналів. У таких системах якість звуку впродовж розмови в основному залежить від просторової відстані між учасниками виклику та особливостей їх розташування.

На противагу цьому, в мережах з пакетною комутацією не передбачено постійного з'єднання між вузлами, тому гарантованої пропускну здатності досягти складно. Незважаючи на це, якість голосової інформації суттєво визначається тим маршрутом, яким проходять пакети від джерела до адресата.

У тих додатках, де порядок проходження пакетів і час їх доставки не критичні (наприклад, у системах електронної пошти), затримки не мають суттєвого впливу. Натомість, для IP-телефонії, як частини реального часу, безперервність і стабільність потоку даних мають вирішальне значення. Завдяки сучасним алгоритмам стиснення мовлення та зростанню швидкості каналів, IP-телефонія поступово зрівнюється за якістю з традиційним телефонним зв'язком.

На рисунку 2.1 представлені основні характеристики, що впливають на якість VoIP-зв'язку. До них відносяться:

Параметри голосового зв'язку:

- Можливість природної бесіди - підтримка двостороннього спілкування у режимі реального часу без перешкод.
- Зрозумілість мовлення - чітка та розбірлива передача голосу без спотворень.
- Ефект ехо - оцінка відлуння, що може виникати під час розмови та викликати

дискомфорт.

- Рівень гучності - відповідність гучності мови прийнятному значенню для комфортного сприйняття.

Якість сигналізації:

- Швидкість встановлення з'єднання - час, що проходить від моменту ініціації дзвінка до початку розмови.

- Завершення виклику - оперативність розриву з'єднання після завершення розмови.

- Обробка DTMF-сигналів - точне виявлення та передача тональних сигналів, які використовуються для навігації у телефонних меню.



Рисунок 2.1 - Впливаючі фактори на якості

2.2. Фактори, що впливають на якість IP-телефонії

Показники якості телефонного зв'язку залежать від ряду технічних параметрів, які зазвичай поділяють на кілька основних груп.

1. Параметри, пов'язані з якістю мережевої інфраструктури:

- **Пропускна здатність** - максимально допустимий обсяг інформації, включаючи корисні дані та супутній трафік, що може передаватися мережею без погіршення якості;
- **Мережеві затримки** - час, необхідний для переміщення одного пакета від джерела до приймача;
- **Втрати пакетів** - ситуації, коли окремі пакети не доходять до місця призначення через перевантаження або збої в мережі.

2. Параметри, що характеризують якість функціонування VoIP-шлюзу:

- **Необхідна смуга пропускання** - залежить від використаного вокодера. Наприклад, кодек G.723 вимагає щонайменше 16,3 кбіт/с для передачі одного мовного каналу;
- **Внутрішні затримки обробки** - час, необхідний для оцифрування голосового сигналу, його кодування, а також зворотного декодування за допомогою процесора цифрової обробки сигналів (DSP) або іншого відповідного обладнання;
- **Буфер джитера** - механізм, який зберігає отримані пакети до моменту, коли можливо відтворити їх у правильному порядку, мінімізуючи негативний вплив коливань затримки (джитера);
- **Втрати під час обробки** - втрата пакетів на етапі стиснення або маршрутизації у пристроях IP-телефонії;
- **Система приглушення ехо** - набір методів, що усувають ефект ехо, який може виникнути в процесі передачі голосу через мережу.

3. Параметри конфігурації голосових портів

Для забезпечення стабільного голосового зв'язку між двома вузлами мережі необхідна правильна конфігурація голосових портів. Зокрема, на маршрутизаторі має бути налаштоване логічне з'єднання, яке дозволяє встановлювати та обслуговувати виклики між пристроями.

Ключову роль у цьому процесі відіграють **параметри викликових точок**, що встановлюють відповідність між портами голосу та таблицями маршрутизації. Завдяки цьому визначаються необхідні маршрути для передавання сигнальної інформації.

Таким чином, **голосові порти та викликові точки** формують основу для інтеграції голосових потоків у IP-мережу, забезпечуючи стабільну маршрутизацію та обмін даними в режимі реального часу.

Таблиця 2.1 - Конфігурація команд codec

Параметр	Опис	Швидкість, біт/с
G711alaw	Стандарт G.711a	64000
G711ulaw	Стандарт G.711, μ l	64000
G723r53	Стандарт G.723	5300
G723r63	Стандарт G.723	6300
<u>G728</u>	Стандарт G.728	16000
G729r8	Стандарт G.729	8000

Для кожної викликової адресної точки у VoIP-системах визначається набір кодеків, що використовуються для обробки мовних даних на рівні шлюзу. Наприклад, операційна система **Cisco IOS** на маршрутизаторі **AS-5300** дозволяє конфігурувати до десяти різних методів кодування мовлення за допомогою відповідних CLI-команд. Деякі з підтримуваних алгоритмів наведені в **таблиці 2.1**.

2.3. Основні фактори, що впливають на якість IP-телефонії

Затримки

Аналіз параметрів затримок показує наступну закономірність: **чим вища швидкість кодування, тим менший час затримки** при передаванні мовного пакета в мережі. При цьому варто зазначити, що більш ефективне використання смуги пропускання досягається за рахунок оптимального підбору кодека.

Наприклад:

- **G.729 (16 кбіт/с)** забезпечує середню затримку на рівні **74 мс**;
- **G.723.1 (5,3 кбіт/с)** - близько **92 мс**;
- **G.729 r8** - орієнтовно **81 мс**.

Зазначені затримки отримано за умов, що моделюють високе навантаження мережі (одночасне обслуговування до 100 голосових сеансів). У реальних умовах експлуатації значення можуть коливатися, однак наведені дані ілюструють загальні закономірності.

Таблиця 2.2 ілюструє типові значення затримок для різних кодеків при передаванні мовлення мережею IP (в мілісекундах).

Компресія та кодування мови	30
Передача через ЛКМ (на вихід)	5
Доступ до мереж	18
Затримка на передачу по мережі	3,2
Вихід з мереж	18
Передавання через ЛКМ (на виході)	5
Компресуючий буфер	20
Декомпресія	20
Всього	119,2

Втрата пакетів залежать меншою мірою від використовуваного типу кодеків. Варто зазначити втрати чималої кількості пакетів на практиці зустрічається дуже рідко, зазвичай є втрати 1...4 пакетів, що представлено на рис. 2.2.

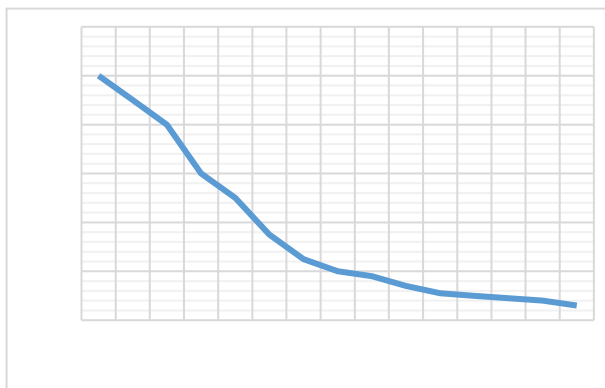


Рисунок 2.2 - Гістограма втрат пакетів

Вплив втрат пакетів і параметрів корисного навантаження на якість VoIP-зв'язку

Варто підкреслити, що ступінь негативного впливу втрат голосових пакетів значною мірою визначається типом застосованого кодека. Так, наприклад, при використанні кодека G.711 втрата пакета, який містить N відліків мовного сигналу, призводить до того, що на приймальному боці ця подія сприймається як пропуск звуку тривалістю приблизно $125 \times N$ мікросекунд. На відміну від цього, сучасні методи стиснення аудіо, реалізовані у прогресивних кодерах, демонструють більш складну реакцію: навіть незначні втрати можуть порушити декодування кількох наступних фрагментів, оскільки їм потрібно певний час для повторної синхронізації. У випадках, коли втрачаються фрейми тривалістю 20 мс, може виникнути ефект спотворення мовлення, що триває до 150 мс і більше.

Зміна розміру корисного навантаження пакету має низку важливих наслідків:

- змінюється кількість мовних семплів, які передаються в одному пакеті;
- впливають на затримку, кількість пакетів на секунду та необхідну ширину смуги пропускання;
- продуктивність залежить від загального рівня затримки в мережі;
- збільшення розміру пакета дає змогу економити смугу, проте спричиняє більші затримки;
- зменшення навпаки підвищує навантаження на канал, але зменшує часову затримку.

Аналіз показує, що при збільшенні розміру пакета (за рахунок включення більшої кількості голосових даних) зменшується загальна кількість пакетів, що передаються мережею. Однак це не призводить до покращення звучання - навпаки, якість мовлення може погіршуватись. Причиною цього є зростання обсягу окремих пакетів, що особливо критично у середовищі з низькою пропускнуою здатністю каналів (див. табл. 2.3). Навіть при використанні швидкісних каналів часто спостерігається підвищення рівня затримки або ймовірності втрати пакетів. Крім того, втрата великого пакета, що містить значну кількість мовної інформації, має гірші наслідки для якості сигналу, ніж втрата менших фрагментів (див. рис. 2.3).

Для підвищення ефективності використання пропускнуої здатності в IP-мережах доцільно застосовувати методи стиснення голосових даних. Якість передачі у цьому випадку тісно пов'язана з вибором відповідного алгоритму кодування. При цьому важливо враховувати природну структуру телефонної розмови, в якій наявні паузи, пов'язані з чергуванням мовлення учасників.

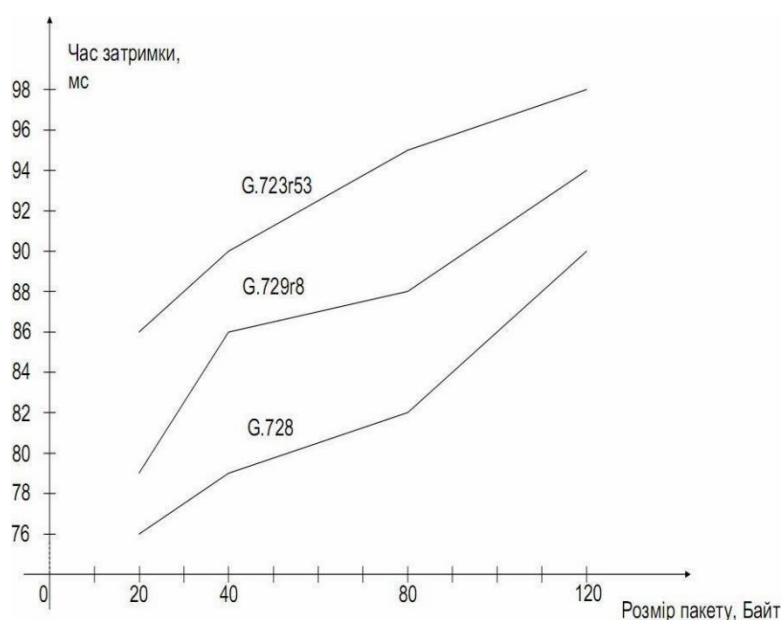


Рисунок 2.3 — Залежність часу затримки від розміру пакета

Адаптивні кодеки та функція VAD у VoIP-системах

Одним з найбільш ефективних підходів до оптимізації трафіку в IP-телефонії є впровадження кодеків зі змінною швидкістю передавання мовного сигналу. Такі кодеки базуються на роботі спеціального модуля - класифікатора, що аналізує характеристики вхідного аудіопотоку та визначає ступінь його інформативності. Виходячи з результатів такого аналізу, формується стратегія кодування: інформаційно насичені фрагменти передаються з більш високою бітовою швидкістю, а менш важливі - зниженою або взагалі опускаються.

Найпростішим прикладом такої функціональності є технологія Voice Activity Detection (VAD), яка дозволяє відокремлювати мовленнєву активність від періодів мовчання. У типових сценаріях VAD забезпечує кодування мовних фрагментів зі швидкістю 3-8 Кбіт/с, у той час як паузи або не передаються зовсім, або замінюються короткими повідомленнями зі швидкістю близько 0,1-0,2 Кбіт/с. Удосконалені системи класифікації здійснюють спектральний і статистичний аналіз мовного потоку, що дає змогу диференціювати ділянки мовлення за ступенем важливості.

Завдяки такому підходу досягається оптимізація використання мережевого ресурсу: для критичних елементів мовлення резервується більше бітів, тоді як менш значущі фрагменти кодуються з мінімальними витратами. В результаті можливо отримати середню швидкість передачі на рівні 2-4 Кбіт/с при збереженні високої чіткості і природності синтезованого голосу.

На прикладі маршрутизатора Cisco AS-5300 можна простежити реалізацію механізмів VAD, де аналіз мовного сигналу здійснюється з урахуванням його амплітудних характеристик, змін енергії та спектрального складу. У фазі мовчання активуються додаткові процедури, які генерують сигнали про початок паузи, і замість повноцінного аудіопотоку передається лише комфортний шум (Comfort Noise Generation). Важливо, що у цей період передавач не надсилає порожні пакети, що істотно знижує навантаження на канал і підвищує ефективність передачі.

Результати експериментів свідчать про те, що ефективність VAD суттєво зростає при збільшенні розміру буфера очікування перед детекцією мовчання - в межах 250 до 65536 байт. На рис. 2.4 представлено середню кількість переданих пакетів за 100 секунд мовлення, що дозволяє оцінити вплив VAD на мережеве навантаження.

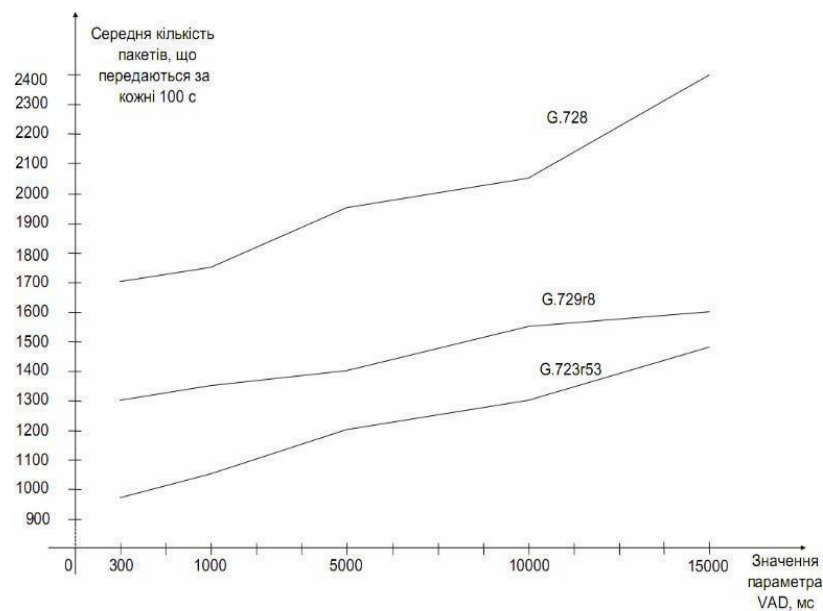


Рисунок 2.4 - Значення ефективності застосування технологій визначення і подавлення паузи

2.4. Затримки мовлення та їхній вплив на якість голосового трафіку в VoIP-середовищі

Поява затримок у процесі передачі голосового сигналу створює значний дискомфорт для абонентів, що проявляється у вигляді накладання реплік, відчутного ехо та загального зниження якості спілкування. Особливо негативно на сприйняття впливає ехо, яке виникає внаслідок того, що відображений мовний сигнал разом із сигналом співрозмовника повертається до динаміка мовця. Подібна ситуація стає критичною при перевищенні затримки в тракті передачі позначки у 50 мс.

Ехо є одним з ключових чинників погіршення якості у VoIP-з'єднаннях, тому системи IP-телефонії повинні включати засоби його виявлення та

компенсації. Якщо ж затримка в одному з напрямків перевищує 250 мс, виникає ефект перекриття фраз, який ускладнює проведення природного діалогу.

Основні джерела затримок у пакетних мережах:

1. Алгоритмічна або накопичувальна затримка.

Вона виникає на етапі формування мовного кадру кодеком. Її тривалість залежить від типу використовуваного кодека та може варіюватися в межах від часток мілісекунди до десятків мс. Наприклад:

- G.729 CS-ACELP (8 Кбіт/с): близько 10 мс;
- G.723.1 Multi Rate Coder (5,3/6,3 Кбіт/с): до 30 мс.

2. Затримка обробки.

Формується внаслідок процедур кодування, пакетизації та буферизації голосового трафіку. Її величина залежить від обчислювальних потужностей мережеских пристроїв і застосованих алгоритмів. Часто з метою зменшення трафіку об'єднують кілька мовних кадрів в один пакет. Так, при використанні кодека G.729 три кадри по 10 мс утворюють один пакет тривалістю 30 мс.

3. Мережеві затримки.

Зумовлені фізичними властивостями каналу, протокольною обробкою та використанням буферів для компенсації джиттера. Вони залежать від смуги пропускання, завантаженості каналу та складності маршруту.

Класифікація рівня якості з'єднання за показником затримки:

- **До 200 мс** - висока якість, порівнянна з традиційними мережами зв'язку (PSTN);
- **До 400 мс** - задовільна якість, відчутно нижча комфортність спілкування;

- **До 700 мс** - прийнятна якість лише для побутового використання, характерна для супутникового зв'язку.

У більшості випадків VoIP-з'єднання потрапляють до другої або третьої категорії. Через динамічні коливання затримки у мережах загального користування, зокрема в Інтернеті, складно досягти стабільної якості. Проте при використанні виділених каналів провайдери здатні забезпечити затримки в межах 150-200 мс, що відповідає першій категорії.

Коливання затримки (джиттер) та його вплив

У реальних IP-мережах затримка має нестабільний характер: протягом сесії зв'язку значення може варіюватися в межах десятків або навіть сотень мс, інколи перевищуючи секунду. Такі коливання порушують не лише якість передачі голосу, а й можуть спричиняти збої в роботі сигналізації на інтерфейсах типу E1/T1 при стикуванні з ТМЗК.

Джиттер - це варіація затримки окремих RTP-пакетів, що спричиняє спотворення сигналу на приймальній стороні (шипіння, клацання, паузи). Виділяють кілька основних типів джиттера:

- **Data-Dependent Jitter (DDJ):** спричинений перевантаженням мережі або зниженням пропускної здатності.
- **Duty-Cycle Distortion (DCD):** викликається асиметрією затримки в прямому та зворотному напрямках.
- **Random Jitter (RJ):** випадковий шум, зумовлений тепловими та апаратними флуктуаціями.

На рис. 2.5 подано гістограму розподілу джиттера в мережах із різною швидкістю доступу. По осі абсцис відкладено відносну затримку кожного пакета щодо ідеального сценарію доставки.

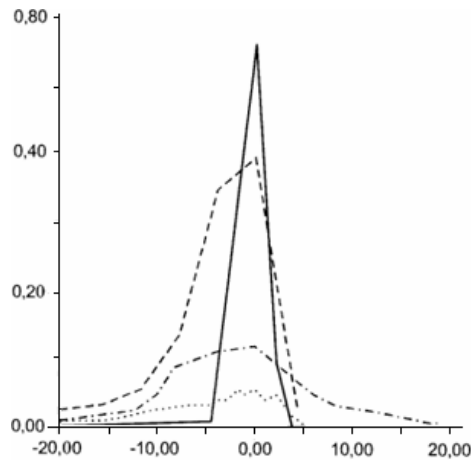


Рисунок 2.5 - Зображення гістограми джиттер пакетів

2.5. Буферизація, затримки та втрати пакетів у VoIP-середовищі

Величини затримок, які виникають у процесі передавання голосового трафіку, та ймовірність їх появи мають вирішальне значення при виборі параметрів обробки й проектуванні буферів. Очевидно, що часові характеристики передавання мовних даних у пакетній мережі є нестабільними. Це обумовлює необхідність формування буферного механізму, здатного згладжувати нестаціонарні затримки та можливу перестановку RTP-пакетів, з метою забезпечення безперервного, реалістичного відтворення мовного сигналу в режимі реального часу.

Розмір буфера приймача підбирається як компроміс між допустимим рівнем затримки (що впливає на зручність ведення розмови в дуплексному режимі) та допустимим відсотком втрат пакетів. Останні є окремою важливою проблемою в IP-телефонії.

Втрата пакетів

Пакетні втрати у VoIP-мережах суттєво спотворюють передану мову та можуть змінювати її тембр. У звичайних IP-мережах всі дані, включно з голосовими кадрами, обробляються як інформаційний трафік без пріоритету. Тому під час перевантаження, особливо в години пікового навантаження, окремі мовні пакети можуть бути відкинуті. На відміну від звичайних даних,

які можуть бути повторно передані, голосовий трафік вимагає реального часу і не допускає повторного надсилання - втрата пакета призводить до прямої втрати частини мовлення.

Загальноприйнятим вважається, що втрати до 5% пакетів майже не впливають на якість мови, тоді як перевищення рівня 10-15% уже створює критичне погіршення якості та є неприпустимим. Проте сприйнятливість до втрат значною мірою залежить від використаного кодека: алгоритми з високим ступенем компресії (наприклад, G.729 чи G.723.1) менш стійкі до втрат у порівнянні з менш стислими кодеками.

На рис. 2.6 представлено гістограми втрати пакетів. По осі абсцис відкладено кількість послідовно втрачених пакетів. Аналіз даних показує, що найбільш типовою є втрата одного або декількох пакетів поспіль, тоді як великі серії втрачених пакетів трапляються рідко.

Втрати групи пакетів, що перевищує кілька одиниць, призводять до серйозних локальних спотворень мовного сигналу, які не підлягають виправленню. У випадках втрати одного чи двох пакетів можливе застосування технік компенсації, таких як вставка комфортного шуму або екстраполяція попереднього контексту мовлення.

Проведені дослідження свідчать, що зростання трафіку призводить до збільшення як затримок, так і втрат у мовних каналах. Цей ефект виникає не лише внаслідок перевантаження каналів під час пікових годин, а й у результаті збільшення локального трафіку від джерел даних в мережі, що також обмежує пропускну здатність для голосового трафіку.

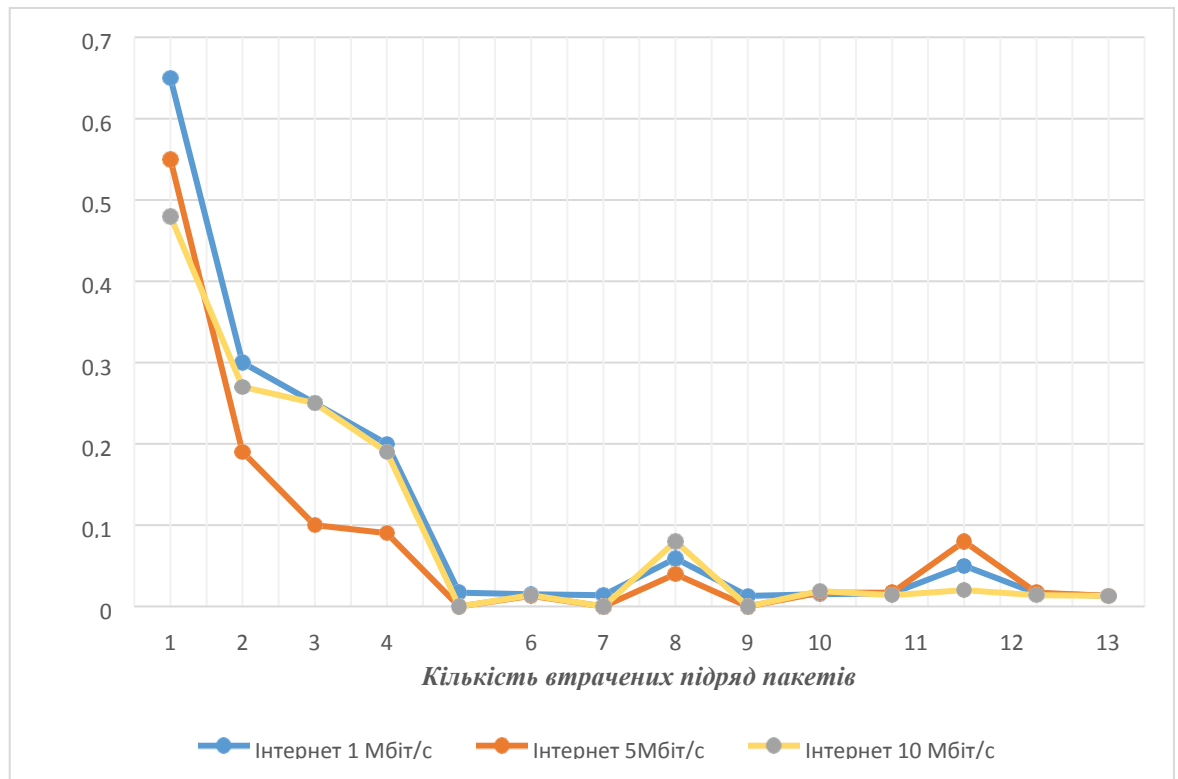


Рисунок 2.6 - Приклад гістограм втрат пакетів

2.6. Шляхи забезпечення якості обслуговування (QoS) в IP-телефонії

Вплив швидкості передавання на якість мовного зв'язку

Графіки, представлені на рисунку 2.6, ілюструють залежність кількості втрат пакетів від швидкості передавання даних. Проведений аналіз показує доцільність використання нижчих швидкостей передавання мовного трафіку, що виправдано природними вимогами до стабільності й якості голосового зв'язку. Зменшення швидкості дозволяє знизити ймовірність перевантаження каналів, а отже - зменшити затримки та втрати.

Використання RSVP для забезпечення QoS у VoIP

Одним із ефективних підходів до гарантування якості передачі голосових

та мультимедійних даних у мережах IP є застосування протоколу RSVP (Resource Reservation Protocol), який рекомендований IETF для реалізації механізмів резервування ресурсів у мережах із підтримкою QoS.

RSVP дозволяє мультимедійним додаткам ініціювати запит на спеціалізоване обслуговування, зокрема через IP або UDP, щоб забезпечити необхідну якість передачі аудіо- та відеосигналів. Основна функція RSVP полягає в резервуванні частини пропускну здатності по всьому маршруту від джерела до приймача.

Принцип роботи RSVP

У процесі встановлення з'єднання передавач надсилає повідомлення RSVP Path, яке проходить через усі проміжні вузли мережі. Кожен маршрутизатор аналізує наявність доступних ресурсів і в разі позитивної відповіді формує зворотне повідомлення RSVP Resv, що повертається до передавача. Якщо резервування вдалося - починається передача трафіку. Якщо ресурсів недостатньо, передавання може бути або змінено, або відмінено.

Цікавим аспектом RSVP є те, що ініціатором запиту на резервування виступає саме приймач, а не відправник. Такий підхід обумовлений тим, що лише приймаюча сторона може точно оцінити необхідні параметри потоку для коректного декодування. Крім того, резервування здійснюється лише по одному шляху, а також RSVP не допускає змішування аудіо- і відеопотоків у межах одного каналу.

Завершення сеансу та керування ресурсами

Після завершення сеансу RSVP-програма повинна викликати функцію скасування резервування. Це дозволяє звільнити зарезервовані ресурси для інших користувачів. Якщо програма не виконує коректне завершення, через певний інтервал часу протокол самостійно виявляє неактивність і автоматично скасовує запити.

Недоліком RSVP є те, що зарезервована смуга пропускання не може бути повторно використана іншими користувачами навіть у періоди неактивності

передавача. Це створює потенційний ризик блокування ресурсів мережею несумлінних користувачів, які можуть ініціювати декілька одночасних сеансів QoS, фактично монополізуючи канал. Протокол не передбачає вбудованих механізмів контролю над цим явищем - відповідальність за управління ресурсами покладається на адміністратора мережі. Для ефективної реалізації RSVP необхідний жорсткий контроль доступу до ресурсів.

Обмеження та альтернативи RSVP

У глобальних мережах ефективне впровадження RSVP часто ускладнюється відсутністю підтримки протоколу з боку деяких маршрутизаторів. Якщо хоча б один вузол не здатен гарантувати заданий рівень QoS, запити відхиляються, що призводить до порушення всієї схеми резервування.

Тим не менш, RSVP зберігає перспективність для використання в межах корпоративних або керованих мереж, де адміністратори можуть ретельно визначати правила резервування та контролювати відповідність обладнання вимогам протоколу. У разі недоцільності застосування RSVP альтернативою можуть бути системи управління трафіком на основі пріоритетів, які дозволяють забезпечити належну якість обслуговування без повного резервування ресурсів.

2.7. Забезпечення показників якості VoIP із застосуванням RTP і RTCP

Для зменшення джитеру та затримок у мережевому середовищі застосовуються технології, здатні забезпечити користувачам відповідний рівень якості обслуговування (QoS), зокрема: RSVP, MPLS, DiffServ та інші. Вони покращують показники якості, однак не здатні повністю усунути черги в мережевих пристроях, а отже - і повністю виключити джитер.

Для компенсації впливу джитеру використовуються протоколи прикладного рівня, зокрема RTP (Real-time Transport Protocol), рекомендований

IETF і широко застосовуваний у поєднанні з SIP. Протокол RTP забезпечує передачу даних, чутливих до затримки, як у разі одноадресної, так і групової доставки. Проте RTP самостійно не гарантує своєчасну доставку пакетів і не реалізує механізмів корекції помилок або керування потоком - ці функції забезпечуються транспортним рівнем, найчастіше UDP.

Основними функціями RTP є:

- маркування типу корисного навантаження;
- нумерація пакетів;
- додавання часових міток.

Відправник призначає кожному RTP-пакету часову мітку, яка відповідає моменту кодування початкового сигналу. Отримувач використовує цю інформацію для обчислення загальної затримки та визначення джитеру. Надалі RTP-пакети можуть подаватися додаткам із постійною затримкою, рівною середньому значенню, що дозволяє зменшити коливання в аудіо/відео потоці при відтворенні.

Слід зазначити, що тимчасові мітки не завжди відповідають фактичному часу передачі, адже пакети можуть потрапляти до черги нижчого рівня перед передаванням.

Однією з переваг RTP є його можливість інтеграції з RSVP для синхронізованої передачі мультимедійних потоків із певним рівнем QoS. Однак сам RTP не забезпечує конфіденційності: у загальнодоступних мережах дані можуть передаватися незашифрованими. Для боротьби з прослуховуванням RTP передбачає базові механізми захисту, однак вони вважаються тимчасовим вирішенням і не гарантують повної безпеки.

Функціональність RTP значно розширюється при поєднанні з протоколом

RTCP (RTP Control Protocol), що також належить до стандартів IETF. RTCP:

- здійснює контроль доставки RTP-пакетів;
- надає зворотний зв'язок від отримувача до відправника;
- періодично надсилає керівні пакети;
- звітує про кількість втрачених пакетів, рівень джитеру та затримки.

Ці дані дозволяють відправнику динамічно змінювати параметри передачі, наприклад, зменшити рівень стиснення для підвищення якості звуку.

RTCP також виконує ідентифікацію учасників сеансу, що спрощує керування сесією.

Попри значні переваги, RTP має і обмеження. Зокрема:

- не впливає на реальні затримки в мережі;
- не передбачає механізмів повторної передачі втрачених пакетів;
- не забезпечує відновлення пошкоджених даних.

Розширення його можливостей можливе через інтеграцію з RSVP - протоколом резервування ресурсів, що хоч і не входить до складу H.323, проте підтримується багатьма сучасними додатками реального часу.

Застосування диференційованого обслуговування для забезпечення якості VoIP-зв'язку

Іншою важливою технологією для підтримки якості обслуговування (QoS) є QOS, що була реалізована групою IETF в межах диференційованого

обслуговування. Ця група виділилася з робочої групи, яка займалася інтегрованим обслуговуванням, і її основною метою стало розроблення стандартів для підтримки реального часу в Інтернет-трафіку.

Роботи в рамках IntServ (інтегроване обслуговування) базуються на концепціях RSVP. При цьому інтеграція у обслуговування передбачає використання сигналізації між кінцевими точками, зокрема застосування RSVP для обміну даними між відправником та отримувачем.

IntServ використовує три основні класи обслуговування для VoIP:

1. **Можливості Інтернету** - обслуговування, яке надається без додаткових гарантій.
2. **Контрольоване навантаження** - обслуговування для додатків, які потребують певного рівня якості у менш завантаженій мережі.
3. **Гарантоване обслуговування** - забезпечує стабільну пропускну здатність протягом усього сеансу зв'язку, гарантуючи певні параметри якості.

Як і RSVP, інтегроване обслуговування має проблеми зі масштабуванням, що обмежує його застосування до невеликих корпоративних мереж. Аналіз показує, що використання RSVP пов'язане з великими накладними витратами, оскільки кожен маршрутизатор на шляху передачі пакету має погоджувати необхідну якість обслуговування.

Диференційоване обслуговування пропонує більш прості й масштабовані методи QoS для реального часу. Ключовою особливістю DiffServ є перерозподіл 8-бітового поля "Типи сервісів" в заголовку IPv4.

Назва "Диференційне обслуговування" (DS) вказує на те, що це поле містить дані, за допомогою яких маршрутизатори на шляху передачі визначають, як обробляти пакети і передавати їх далі.

Наразі лише 6 з 8 біт у полі DS визначені, причому один з них - це значення за замовчуванням (Default), яке вказує на стандартні можливості обслуговування. Іншим важливим значенням є **термінове обслуговування (EF)**, яке зосереджено на зменшенні затримок і втрат пакету. Коли трафік потрапляє в мережу, останній маршрутизатор виконує класифікацію потоку, базуючись на значеннях у полі DS, і передає цю інформацію наступному маршрутизатору, що дозволяє визначити, як обробляти потік даних.

DiffServ зменшує обсяг сигналізації, в порівнянні з RSVP та IntServ, і дозволяє класифікувати потоки згідно з певними правилами, після чого здійснюється об'єднання потоків однакового типу. Це робить DiffServ більш масштабованим порівняно з IntServ, що дозволяє застосовувати цю технологію в великих мережах, таких як корпоративні або глобальні мережі.

Попри всі переваги, DiffServ не працює в автоматичному режимі. Маршрутизатори повинні бути налаштовані на розпізнавання помічених потоків та вчасно реагувати на них, що потребує певних оновлень у програмному забезпеченні маршрутизаторів.

Забезпечення якості VoIP через MPLS

Ще одним конкурентом DiffServ у забезпеченні QoS є проект IETF під назвою **"Мультипротокольна комутація міток" (MPLS)**. При комутації IP вузли аналізують перші кілька пакетів трафіку, і якщо це короткі запити (наприклад, DNS або SNMP), обробка здійснюється як у звичайному маршрутизаторі. Однак для тривалих потоків, таких як трафік Telnet чи FTP, комутатори переходять на структури ATM для швидшої передачі інформації.

MPLS використовує різні рівні QoS і підтримує комутацію, яка дозволяє більш ефективно передавати пакети через мережу. Ключовою відмінністю від DiffServ є те, що MPLS використовує 32-бітові мітки, які додаються до кожного IP-пакету на вході в мережу, щоб інформувати маршрутизатори про те, як обробляти пакети. Мітки у MPLS не є частиною пакетів IP, вони додаються тільки при вході в мережу і знімаються при виході з мережі.

На відміну від DS, де маршрутизатор аналізує заголовки пакетів для визначення їх маршруту, MPLS дозволяє маршрутизаторам присвоювати мітки, що дозволяє пропускати пакети через мережу без необхідності аналізу заголовків.

MPLS дозволяє значно скоротити час обробки пакетів на кожному транзитному вузлі, оскільки мітка вже містить необхідну інформацію про маршрут. Завдяки цьому пакети можуть передаватися з мінімальними затримками, що є важливим для забезпечення QoS у реальному часі.

Таким чином, хоча DiffServ працює на третьому рівні моделі OSI, а MPLS - на другому, ці технології можуть успішно співіснувати. DiffServ, як правило, застосовується на межі мережі (між підприємствами та постачальниками послуг), тоді як MPLS найбільше підходить для корпоративних мереж та операторів, де необхідно гарантувати високий рівень QoS для IP-трафіку.

РОЗДІЛ 3 Оцінка якості VoIP-зв'язку та реалізація системи моніторингу

3.1. Розробка веб-додатку для моніторингу VoIP

Веб-додаток "VoIP Моніторинг Pro" призначений для моніторингу, симуляції та аналізу якості VoIP-зв'язку. Він дозволяє відстежувати метрики (затримку, джитер, втрати пакетів, MOS), симулювати вплив кодеків і мереж, а також візуалізувати мережеву інфраструктуру. Реалізація базується на тайловій системі вкладок, де кожен розділ відповідає за окремий аспект моніторингу, що забезпечує модульність і гнучкість.

Рис. 3.1. Структура додатка в ієрархії HTML

Додаток складається з основного контейнера (`<div class="max-w-6xl mx-auto p-6">`), до якого прикріплено скрипти JavaScript, і вкладок для окремих розділів:

- **Моніторинг:** Відображення метрик, графіків, симуляція.
- **Логи:** Таблиця дзвінків із фільтрацією.
- **Кодеки:** Інформація про кодеки та графіки.
- **Мережа:** Інтерактивна схема мережі.
- **Новини:** Список новин.
- **FAQ:** Питання-відповіді з експортом.

Такий підхід дозволяє розбити функціонал на шари, незалежно налаштовувати кожен розділ і оптимізувати відображення даних. Основний скрипт моніторингу прикріплено до контейнера `content`, який динамічно змінює видимість вкладок.

Код основної структури (HTML):

```
<div class="max-w-6xl mx-auto p-6">
```

```
<h1 class="text-4xl font-bold text-center mb-6 text-black">VoIP Моніторинг
```

Pro</h1>

```
<nav class="flex flex-wrap justify-center gap-2 mb-6 bg-white p-4 rounded-lg shadow-lg">
```

```
<button class="tab-btn" data-tab="monitoring">Моніторинг</button>
```

```
<button class="tab-btn" data-tab="logs">Логи</button>
```

```
<button class="tab-btn" data-tab="codecs">Кодеки</button>
```

```
<button class="tab-btn" data-tab="network">Мережа</button>
```

```
<button class="tab-btn" data-tab="news">Новини</button>
```

```
<button class="tab-btn" data-tab="faq">FAQ</button>
```

```
</nav>
```

```
<div id="content">
```

```
<div id="monitoring" class="tab-content hidden">...</div>
```

```
<div id="logs" class="tab-content hidden">...</div>
```

```
<div id="codecs" class="tab-content hidden">...</div>
```

```
<div id="network" class="tab-content hidden">...</div>
```

```
<div id="news" class="tab-content hidden">...</div>
```

```
<div id="faq" class="tab-content hidden">...</div>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```

body class="bg-gradient-to-br from-white to-gray-200"
<div class="max-w-6xl mx-auto p-6">
  <!-- Заголовок -->
  <h1 class="text-4xl font-bold text-center mb-6 text-black" style="text-shadow: 0 0 4px #000000; color: #000000;">
    VoIP Моніторинг Pro
  </h1>

  <!-- Бегущая строка -->
  <div class="bg-white text-black p-3 mb-6 shadow-lg rounded-lg">
    <marquee id="ticker" scrollamount="12"></marquee>
  </div>

  <!-- Навигация -->
  <nav class="flex flex-wrap justify-center gap-2 mb-6 bg-white p-4 rounded-lg shadow-lg">
    <button class="tab-btn p-2 rounded-lg bg-gray-900 text-white hover:bg-gradient-to-r hover:from-blue-700 hover:to-purple-600">
      <i class="fas fa-chart-line mr-2"></i>Моніторинг
    </button>
    <button class="tab-btn p-2 rounded-lg bg-gray-900 text-white hover:bg-gradient-to-r hover:from-blue-700 hover:to-purple-600">
      <i class="fas fa-server mr-2"></i>Лог
    </button>
    <button class="tab-btn p-2 rounded-lg bg-gray-900 text-white hover:bg-gradient-to-r hover:from-blue-700 hover:to-purple-600">
      <i class="fas fa-microphone mr-2"></i>Кодеки
    </button>
    <button class="tab-btn p-2 rounded-lg bg-gray-900 text-white hover:bg-gradient-to-r hover:from-blue-700 hover:to-purple-600">
      <i class="fas fa-network-wired mr-2"></i>Мережа
    </button>
    <button class="tab-btn p-2 rounded-lg bg-gray-900 text-white hover:bg-gradient-to-r hover:from-blue-700 hover:to-purple-600">
      <i class="fas fa-newspaper mr-2"></i>Новини
    </button>
    <button class="tab-btn p-2 rounded-lg bg-gray-900 text-white hover:bg-gradient-to-r hover:from-blue-700 hover:to-purple-600">
      <i class="fas fa-question-circle mr-2"></i>FAQ
    </button>
  </nav>

```

Рисунок 3.1 Структура додатка в ієрархії HTML

Система моніторингу базується на параметрах, що визначають поведінку додатка:

Налаштування метрик:

- **delay (затримка, мс):** Час передачі пакетів.
- **jitter (джитер, мс):** Коливання затримки.
- **packetLoss (втрати, %):** Відсоток втрачених пакетів.
- **mos (MOS, 1-5):** Оцінка якості зв'язку.
- **updateInterval (мс):** Інтервал оновлення метрик (5000 мс).

Налаштування симуляції:

- **codec (кодек):** G.711, Opus, G.729, AMR, G.723.
- **networkType (мережа):** 5G, MPLS, Ethernet.
- **loss (втрати, %):** 0-10%.

Шари даних:

- **metricsHistory:** Масив для історії метрик (останні 10 записів).
- **logData:** Масив логів дзвінків.
- **networkData:** Об'єкт із даними вузлів мережі.
- **codecData:** Об'єкт із характеристиками кодеків.

Типи сповіщень:

- **critical (затримка >100 мс, втрати >5%):** Червоне, з анімацією shake.
- **warning (джитер >40 мс, MOS <3.3):** Помаранчеве.

Префаби та списки:

- **notifications:** Список активних сповіщень.
- **botTips:** Список порад чат-бота.
- **newsItems:** Список новин.
- **faqItems:** Список запитань-відповідей.

Алгоритм ініціалізації додатка

Метод `initApp()` є точкою входу для запуску додатка. Він викликається при завантаженні сторінки та виконує послідовність кроків для ініціалізації.

Код ініціалізації:

```
function initApp() {  
  
  initTabs();  
  
  initMetrics();
```

```

initLogs();

initCodecs();

initNetwork();

initNews();

initFAQ();

startTicker();

startBotTips();

setInterval(updateMetricsChart, 5000);

}

```

Функції методу `initApp()`:

- `initTabs()`: Ініціалізує вкладки, додаючи обробники подій для перемикавання.
- `initMetrics()`: Налаштовує початкові метрики (затримка 20 мс, джитер 10 мс, втрати 0%, MOS 4.4).
- `initLogs()`: Генерує початковий список логів дзвінків.
- `initCodecs()`: Заповнює дані про кодеки (G.711, Opus тощо).
- `initNetwork()`: Ініціалізує схему мережі та графіки.
- `initNews()`: Додає початкові новини.
- `initFAQ()`: Заповнює FAQ.
- `startTicker()`: Запускає рухомий рядок із метриками.
- `startBotTips()`: Запускає чат-бот із порадами кожні 30 секунд.
- `updateMetricsChart()`: Оновлює метрики та графіки кожні 5 секунд.

Послідовність ініціалізації:

1. Налаштування вкладок (`initTabs`).

2. Ініціалізація метрик (initMetrics).
3. Генерація логів (initLogs).
4. Налаштування кодеків (initCodecs).
5. Ініціалізація мережі (initNetwork).
6. Додавання новин і FAQ (initNews, initFAQ).
7. Запуск періодичних оновлень (setInterval).

3.2. Реалізація основних функцій

У цьому підрозділі описано основні функції додатка: моніторинг метрик, симуляція, відображення мережі, сповіщення, чат-бот, логи, кодеки, новини та FAQ.

Моніторинг метрик

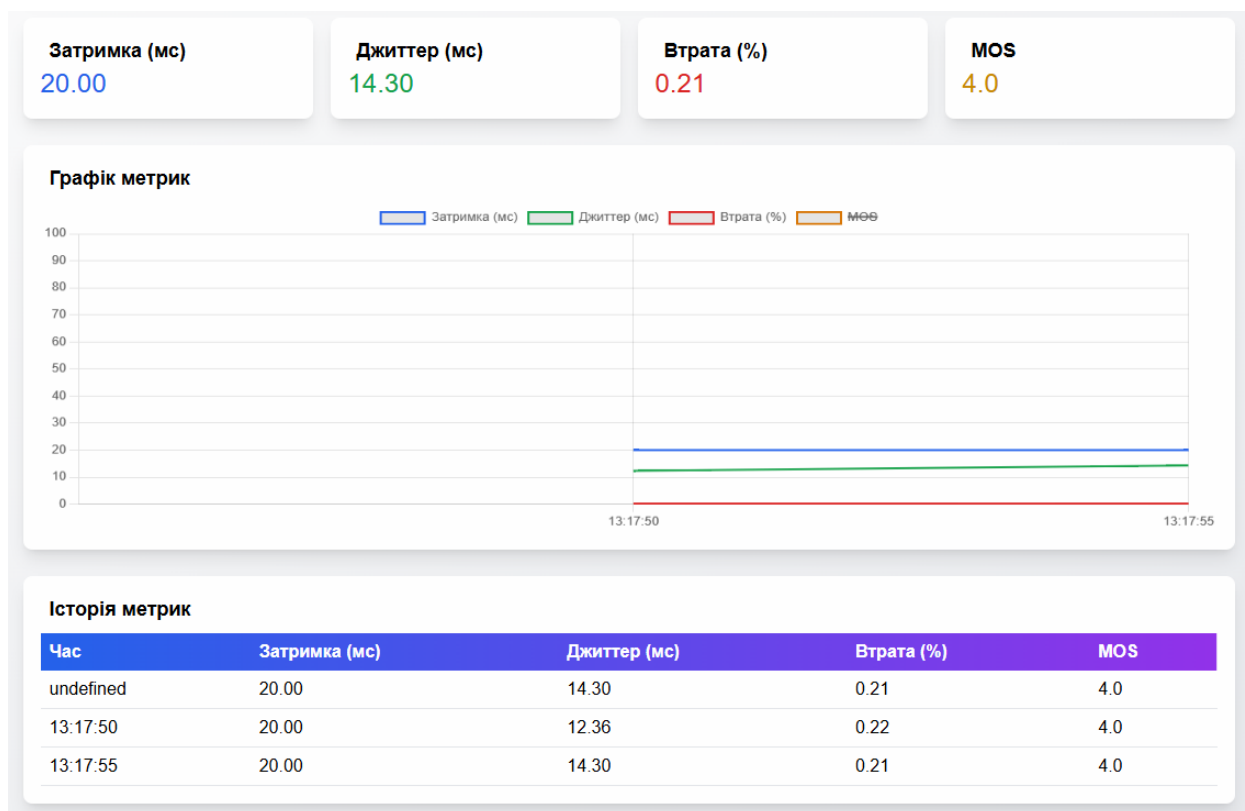


Рисунок 3.2 Моніторинг метрик

Моніторинг реалізовано через функцію updateMetricsChart, яка оновлює метрики кожні 5 секунд.

Код оновлення метрик:

```
function updateMetricsChart() {  
  
    metrics.jitter += (Math.random() - 0.5) * 5;  
  
    metrics.packetLoss = Math.max(0, metrics.packetLoss + (Math.random() - 0.5) *  
    0.5);  
  
    metrics.mos = Math.min(5, Math.max(1, 4.5 - metrics.packetLoss * 0.1 -  
    metrics.jitter * 0.02 - metrics.delay * 0.01));  
  
    document.getElementById("delay").textContent = metrics.delay.toFixed(2);  
  
    document.getElementById("jitter").textContent = metrics.jitter.toFixed(2);  
  
    document.getElementById("packetLoss").textContent =  
    metrics.packetLoss.toFixed(2);  
  
    document.getElementById("mos").textContent = metrics.mos.toFixed(2);  
  
    updateChart();  
  
    updateHistory();  
  
    checkMetrics();  
}
```

```

function updateMetricsChart() {
  metrics.jitter = Math.max(0, metrics.jitter + (Math.random() - 0.5) * 5);
  metrics.packetLoss = Math.max(0, metrics.packetLoss + (Math.random() - 0.5) * 0.5);
  metrics.mos = Math.min(5, Math.max(1, 4.5 - metrics.packetLoss * 0.1 - metrics.jitter * 0.02 - metrics.delay * 0.01));
  metricsHistory.push({ ...metrics, time: new Date().toLocaleTimeString() });
  metricsHistory = metricsHistory.slice(-10);
  document.getElementById("delay").textContent = metrics.delay.toFixed(2);
  document.getElementById("jitter").textContent = metrics.jitter.toFixed(2);
  document.getElementById("packetLoss").textContent = metrics.packetLoss.toFixed(2);
  document.getElementById("mos").textContent = metrics.mos.toFixed(1);
  metricsChart.data.labels = metricsHistory.map(m => m.time);
  metricsChart.data.datasets[0].data = metricsHistory.map(m => m.delay);
  metricsChart.data.datasets[1].data = metricsHistory.map(m => m.jitter);
  metricsChart.data.datasets[2].data = metricsHistory.map(m => m.packetLoss);
  metricsChart.data.datasets[3].data = metricsHistory.map(m => m.mos);
  metricsChart.update();
  document.getElementById("metrics-history").innerHTML = metricsHistory.map(m => `
    <tr class="border-b">
      <td class="p-2">${m.time}</td>
      <td class="p-2">${m.delay.toFixed(2)}</td>
      <td class="p-2">${m.jitter.toFixed(2)}</td>
      <td class="p-2">${m.packetLoss.toFixed(2)}</td>
      <td class="p-2">${m.mos.toFixed(1)}</td>
    </tr>
  `).join("");
  checkMetrics();
}
setInterval(updateMetricsChart, 5000);
updateMetricsChart();

```

Рисунок 3.3 Вигляд параметрів у коді

Логіка роботи:

- Джитер змінюється на $\pm 2.5 \text{ ms}$.
- Втрати пакетів змінюються на $\pm 0.25\%$, не опускаючись нижче 0.
- MOS розраховується за формулою:

$$\text{MOS} = \min(5, \max(1, 4.5 - 0.1 \cdot \text{loss} - 0.02 \cdot \text{jitter} - 0.01 \cdot \text{delay}))$$

- Метрики відображаються в картках (<p id="delay"> тощо).
- Графік оновлюється через updateChart (Chart.js).
- Історія метрик додається до таблиці (updateHistory).
- Перевірка проблем виконується через checkMetrics.

3.3. Симуляція якості зв'язку

Симуляція

Як підняти MOS: виберіть G.711, 5G, втрати 0%. Як опустити: G.723, Ethernet, втрати 8%.

G.711

0

5G

Симулювати

Вимкнути помилки

Симулювати помилку

Рисунок 3.4 Симуляція якості зв'язку

Симуляція реалізується через функцію `simulateMetrics`, яка викликається при натисканні кнопки **"Симулювати"**.

Код симуляції:

```
function simulateMetrics() {

const codec = document.getElementById("codec").value;

const loss = parseFloat(document.getElementById("loss").value) || 0;

const network = document.getElementById("network-type").value;

const baseMetrics = {

"G.711": { delay: 20, jitter: 10, packetLoss: loss, mos: 4.4 },

"Opus": { delay: 30, jitter: 12, packetLoss: loss, mos: 4.2 },

"G.729": { delay: 74, jitter: 20, packetLoss: loss, mos: 3.9 },

"AMR": { delay: 60, jitter: 18, packetLoss: loss, mos: 3.7 },

"G.723": { delay: 92, jitter: 25, packetLoss: loss, mos: 3.5 }

};

const networkFactors = { "5G": 0.5, "MPLS": 0.8, "Ethernet": 1.2 };

metrics = {
```

```

delay: baseMetrics[codec].delay * networkFactors[network],

jitter: baseMetrics[codec].jitter + (Math.random() - 0.5) * 5,

packetLoss: Math.max(0, baseMetrics[codec].packetLoss + (Math.random() - 0.5) *
0.5),

mos: Math.min(5, Math.max(1, baseMetrics[codec].mos - loss * 0.1 -
(baseMetrics[codec].delay * networkFactors[network]) * 0.01 -
baseMetrics[codec].jitter * 0.02))

};

updateMetricsChart();

}

```

```

77. simulating
document.getElementById("simulate").addEventListener("click", () => {
  const codec = document.getElementById("codec").value;
  const loss = Number(document.getElementById("loss").value);
  const network = document.getElementById("network-type").value;
  const baseMetrics = {
    "G.729": { delay: 74, jitter: 20, packetLoss: loss, mos: 3.9 },
    "G.723": { delay: 92, jitter: 25, packetLoss: loss, mos: 3.5 },
    "G.711": { delay: 20, jitter: 10, packetLoss: loss, mos: 4.4 },
    "Opus": { delay: 30, jitter: 12, packetLoss: loss, mos: 4.2 },
    "AMR": { delay: 60, jitter: 18, packetLoss: loss, mos: 3.7 },
  };
  const networkFactors = {
    Ethernet: 1.2,
    MPLS: 0.8,
    "5G": 0.5,
  };
  metrics = {
    delay: baseMetrics[codec].delay * networkFactors[network],
    jitter: baseMetrics[codec].jitter + (Math.random() - 0.5) * 5,
    packetLoss: Math.max(0, baseMetrics[codec].packetLoss + (Math.random() - 0.5) * 0.5),
    mos: Math.min(5, Math.max(1, baseMetrics[codec].mos - loss * 0.1 - (baseMetrics[codec].delay * networkFactors[network]) * 0.01 - baseMetrics[codec].jitter * 0.02)),
  };
  updateMetricsChart();
});

```

Логіка роботи:

- Отримує значення кодека, втрат і мережі з інтерфейсу.
- Базові метрики кодеків визначено з розділу 2.3.
- Множники мережі (5G: 0.5, MPLS: 0.8, Ethernet: 1.2) коригують затримку (розд. 2.4).

- MOS розраховується з урахуванням втрат, затримки та джитера.
- Викликається `updateMetricsChart` для оновлення інтерфейсу.

3.4. Схема мережі

Мережа

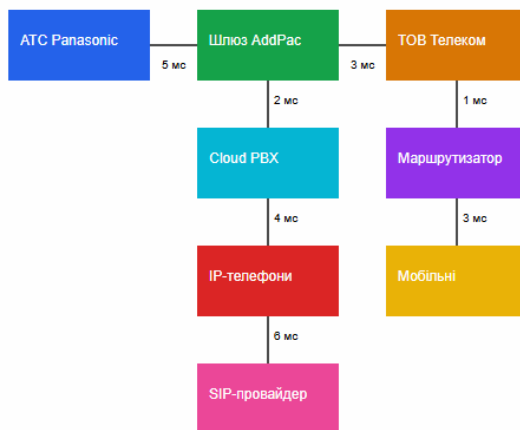


Рисунок 3.5 Схема мережі

Схема мережі реалізована через SVG-діаграму з клікабельними вузлами.

Код схеми мережі:

```
const networkData = {
```

```
"ATC Panasonic": { bandwidth: 100, delay: 10, status: "Стабільно", protocol: "SIP"
},
```

```
"Шлюз AddPac": { bandwidth: 50, delay: 15, status: "Стабільно", protocol: "RTP"
},
```

```
"ТОВ Телеком Україна": { bandwidth: 1000, delay: 5, status: "Стабільно",
protocol: "DiffServ" },
```

```
"Cloud PBX": { bandwidth: 500, delay: 8, status: "Стабільно", protocol: "WebRTC"
},
```

```
"Маршрутизатор QoS": { bandwidth: 1000, delay: 3, status: "Стабільно", protocol:
```

```

"DiffServ" },

"IP-телефони": { bandwidth: 10, delay: 20, status: "Стабільно", protocol: "SIP" },

"Мобільні пристрої": { bandwidth: 50, delay: 12, status: "Стабільно", protocol:
"AMR" },

"SIP-провайдер": { bandwidth: 200, delay: 25, status: "Перевантаження", protocol:
"SRTP" }

};

function initNetwork() {

const ctx = document.getElementById("network-chart").getContext("2d");

new Chart(ctx, {

type: "bar",

data: {

labels: Object.keys(networkData),

datasets: [{

label: "Пропускна здатність (Мбіт/с)",

data: Object.values(networkData).map(d => d.bandwidth),

backgroundColor: ["#2563eb", "#16a34a", "#d97706", "#06b6d4", "#9333ea",
"#dc2626", "#eab308", "#ec4899"]

}]

}

});

```

```
}
```

```
const networkData = {
  "АТС Panasonic": { bandwidth: 100 },
  "Шлюз AddPac": { bandwidth: 50 },
  "ТОВ Телеком Україна": { bandwidth: 1000 },
  "Cloud PBX": { bandwidth: 500 },
  "Маршрутизатор QoS": { bandwidth: 1000 },
  "ІР-телефони": { bandwidth: 10 },
  "Мобільні пристрої": { bandwidth: 50 },
  "SIP-провайдер": { bandwidth: 200 },
};

const networkChart = new Chart(document.getElementById("network-chart"), {
  type: "bar",
  data: {
    labels: Object.keys(networkData),
    datasets: [{
      label: "Пропускна здатність (Мбіт/с)",
      data: Object.values(networkData).map(d => d.bandwidth),
      backgroundColor: "#2563eb",
    }],
  },
  options: {
    responsive: true,
    maintainAspectRatio: false,
    animation: { duration: 500 },
    scales: { y: { beginAtZero: true } }
  },
});
```

Рисунок 3.6 Схеми мережі

3.5. Логіка роботи:

- Дані вузлів (networkData) містять пропускну здатність, затримку, статус і протокол (розд. 2.4).
- SVG-діаграма включає прямокутники (<rect>) для вузлів, клікабельні з onclick="alert(...)".
- Лінії зв'язку (<line>) анімовані (animate-pulse) із затримками (1-6 мс).
- Столпчиковий графік (Chart.js) показує пропускну здатність.

3.6. Сповіщення та чат-бот

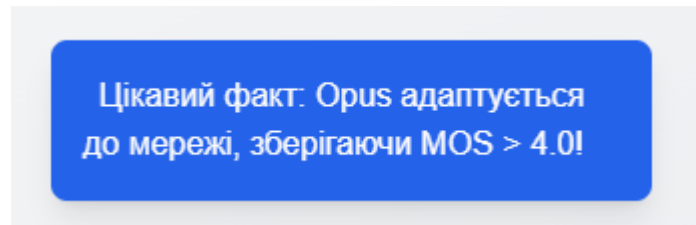


Рисунок 3.7 Сповіщення та чат-бот

Сповіщення та чат-бот реалізовано через функції `addNotification` і `showBotTip`.

Код сповіщень:

```
function checkMetrics() {
  if (!errorsEnabled) return;
  if (metrics.delay > 100) {
    addNotification("Висока затримка!", "critical");
  }
  if (metrics.jitter > 40) {
    addNotification("Високий джитер!", "warning");
  }
  if (metrics.packetLoss > 5) {
    addNotification("Критичні втрати пакетів!", "critical");
  }
  if (metrics.mos < 3.3) {
    addNotification("Низький MOS!", "warning");
  }
}
```

```
function addNotification(message, type) {

const notification = document.createElement("div");

notification.className = `notification bg-${type === "critical" ? "red" : "orange"}-
600 text-white p-4 rounded-lg shadow-lg`;

notification.textContent = message;

if (type === "critical") notification.classList.add("shake");

document.getElementById("notifications").appendChild(notification);

setTimeout(() => notification.remove(), 5000);

}
```

```
function checkMetrics() {
  if (!errorsEnabled) return;
  if (metrics.packetLoss > 5) addNotification("Критичні втрати пакетів!", "critical");
  if (metrics.delay > 100) addNotification("Висока затримка!", "critical");
  if (metrics.jitter > 40) addNotification("Високий джиттер!", "warning");
  if (metrics.mos < 3.5) addNotification("Низький MOS!", "warning");
}
```

Рисунок 3.8(Код сповіщень)

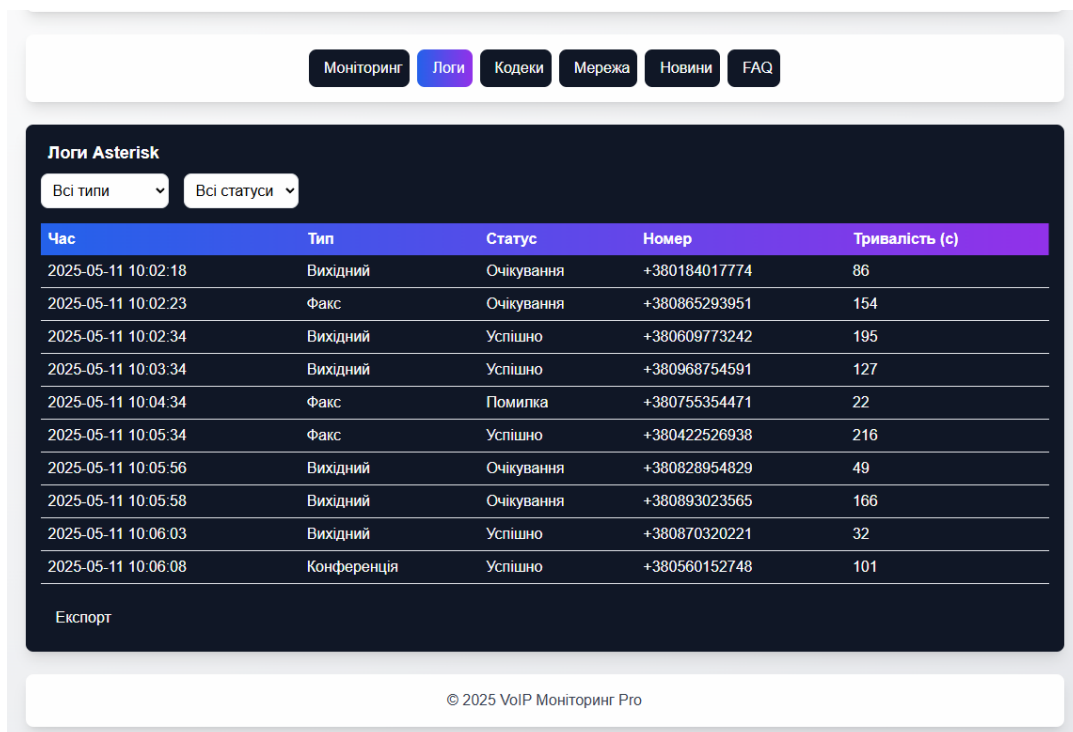
Логіка роботи:

- checkMetrics перевіряє метрики кожні 5 секунд.
- Сповіщення додаються при: затримці >100 мс, джиттері >40 мс, втратах >5%, MOS <3.3.
- addNotification створює <div> із класом notification, анімацією fadeOut (5 с) і shake (для критичних).
- Чат-бот (showBotTip) показує поради кожні 30 секунд, наприклад:
"Використовуйте G.711 для MOS > 4.0!".

3.7. Логи, кодеки, новини, FAQ

Логи:

- Таблиця дзвінків оновлюється через updateLogs кожні 5 секунд.
- Фільтри: тип (Вхідний, Вихідний, Факс, Конференція), статус (Успішно, Помилка, Очікування).
- Експорт у CSV через exportLogs.



The screenshot shows a web interface for monitoring Asterisk logs. At the top, there are navigation buttons: Моніторинг, **Логи**, Кодеки, Мережа, Новини, and FAQ. Below these, the title 'Логи Asterisk' is displayed. There are two dropdown menus: 'Всі типи' and 'Всі статуси'. The main part of the interface is a table with the following data:

Час	Тип	Статус	Номер	Тривалість (с)
2025-05-11 10:02:18	Вихідний	Очікування	+380184017774	86
2025-05-11 10:02:23	Факс	Очікування	+380865293951	154
2025-05-11 10:02:34	Вихідний	Успішно	+380609773242	195
2025-05-11 10:03:34	Вихідний	Успішно	+380968754591	127
2025-05-11 10:04:34	Факс	Помилка	+380755354471	22
2025-05-11 10:05:34	Факс	Успішно	+380422526938	216
2025-05-11 10:05:56	Вихідний	Очікування	+380828954829	49
2025-05-11 10:05:58	Вихідний	Очікування	+380893023565	166
2025-05-11 10:06:03	Вихідний	Успішно	+380870320221	32
2025-05-11 10:06:08	Конференція	Успішно	+380560152748	101

Below the table, there is an 'Експорт' button. At the bottom of the interface, the copyright notice '© 2025 VoIP Моніторинг Pro' is visible.

Рисунок 3.9 Логи

Кодеки:

- Дані кодеків (codecData) містять затримку, пропускну здатність, якість, MOS (розд. 2.3).
 - Графік пропускну здатності побудовано через [Chart.js](#).

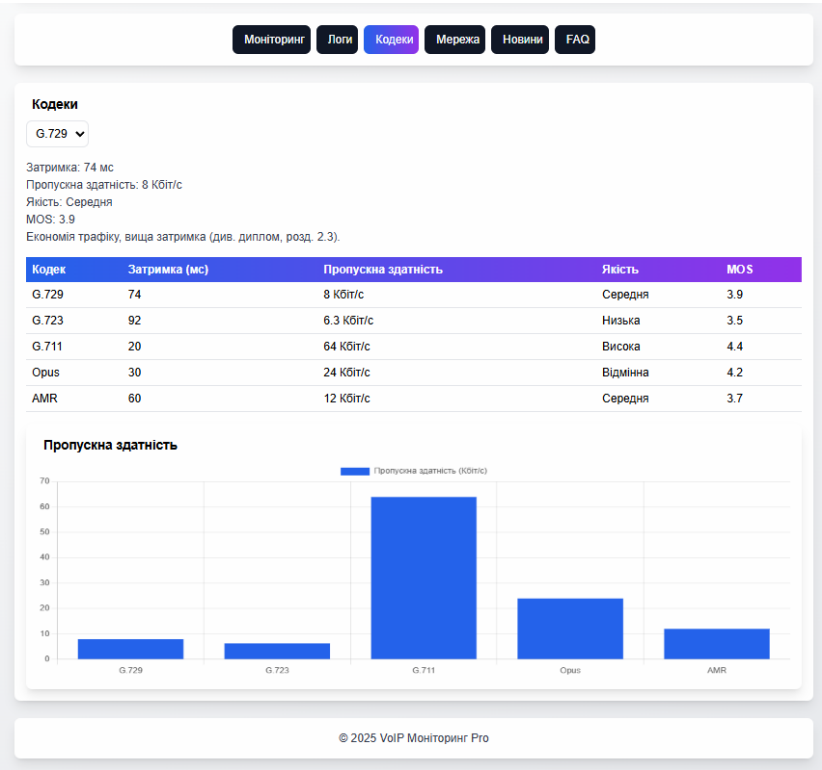
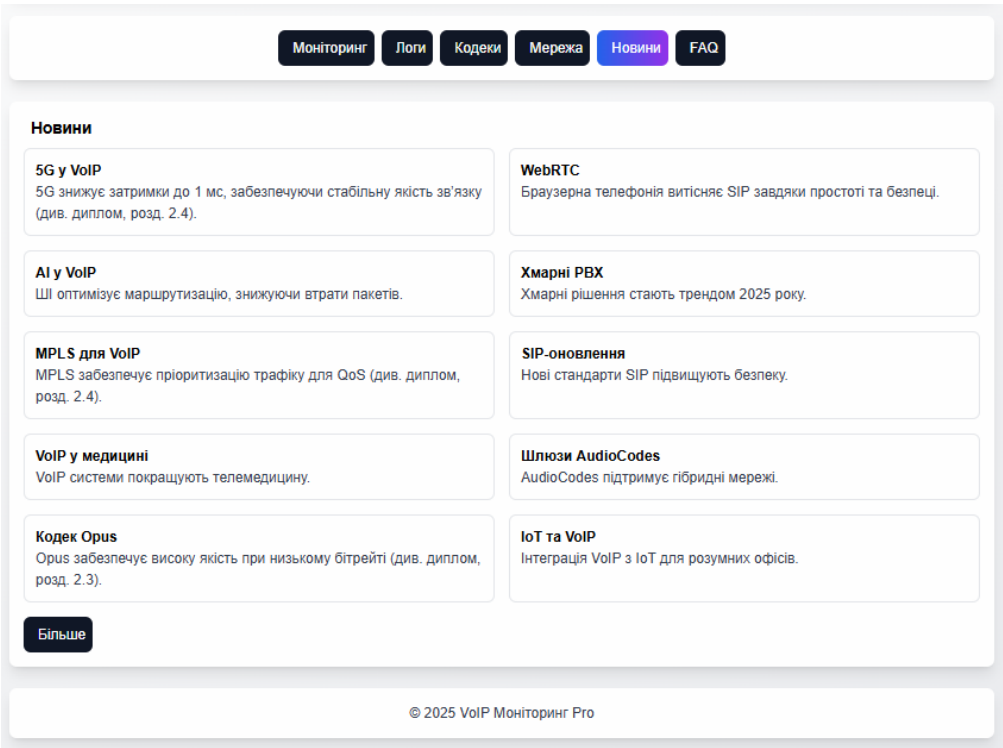


Рисунок 3.10 Кодеки

Новини:

- Список новин (newsItems) із можливістю додавання через кнопку "Більше".



FAQ:

- Питання-відповіді (faqItems) розкриваються по кліку, експортуються в PDF через jsPDF.

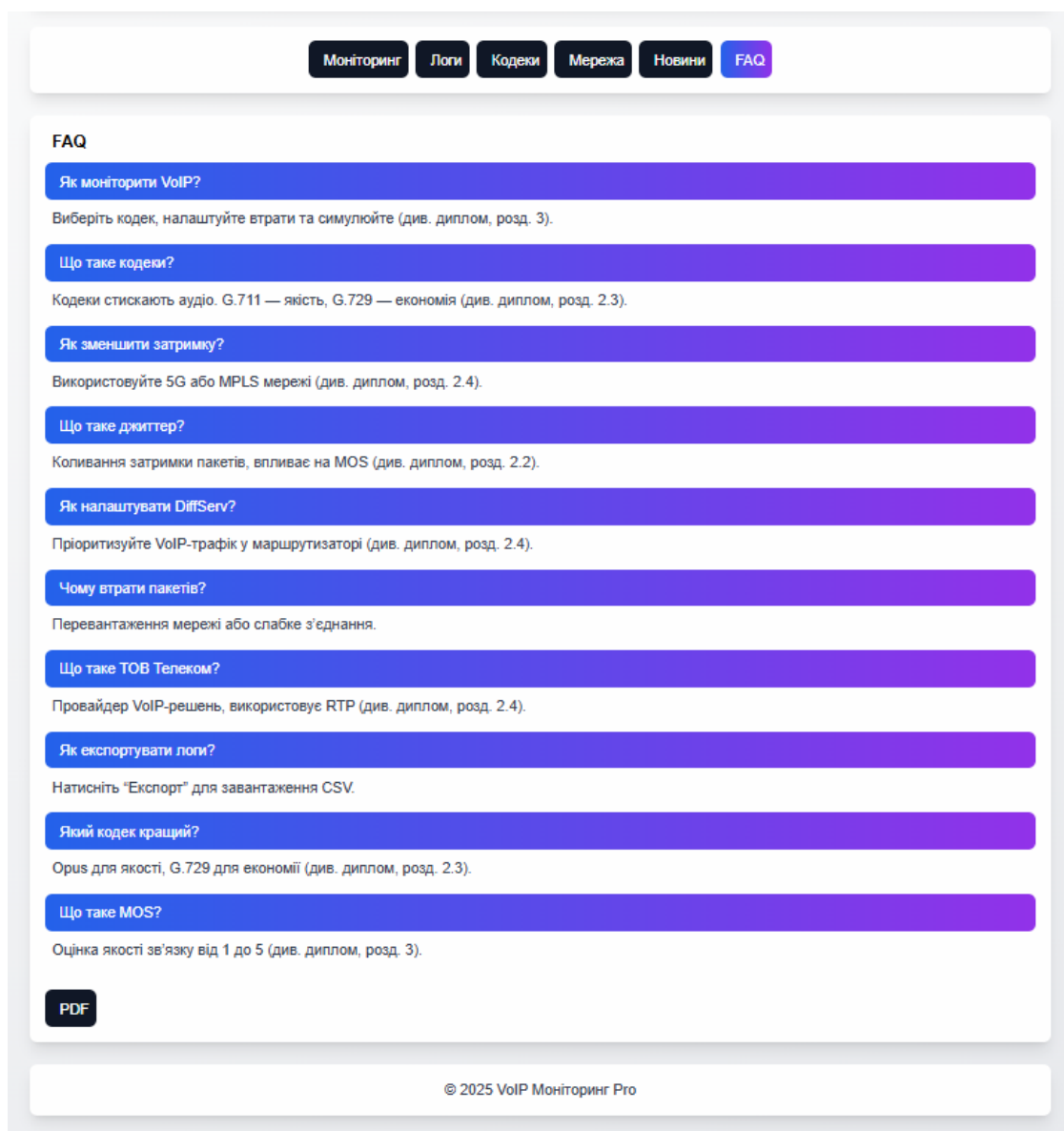


Рисунок 3.12 FAQ

Код експорту FAQ:

```
function exportFAQ() {

const { jsPDF } = window.jspdf;

const doc = new jsPDF();
```


3.8. Методи тестування та оптимізації додатка

Тестування проводилося вручну шляхом ітеративного запуску додатка після внесення змін, щоб виявити помилки та оптимізувати продуктивність.

Функції, що тестувалися:

- **Моніторинг:**
 - Коректність відображення метрик (затримка, джитер, втрати, MOS).
 - Оновлення графіку та історії кожні 5 секунд.
- **Симуляція:**
 - Перевірка MOS: G.711, 5G, 0% → ~4.4; G.723, Ethernet, 8% → ~3.4–3.5.
 - Реакція на зміну кодеків, мереж, втрат.
- **Схема мережі:**
 - Клікабельність вузлів (Cloud PBX, SIP-провайдер).
 - Коректність графіку пропускної здатності.
- **Сповіщення:**
 - Справляння при затримці >100 мс, джитері >40 мс, втратах >5%, MOS <3.3.
 - Зникнення через 5 секунд, анімація shake для критичних.
- **Чат-бот:**
 - Поява порад кожні 30 секунд, коректність тексту (посилання на розд. 2.3, 2.4).
- **Логи, кодеки, новини, FAQ:**
 - Фільтрація логів, експорт у CSV.
 - Вибір кодека, відображення графіку.
 - Додавання новин, експорт FAQ у PDF.

Оптимізаційні рішення:

- **Мінімізація DOM-операцій:**

- Використання innerHTML замість множинних appendChild для таблиць.
- Кешування елементів (document.getElementById) у змінні.
- **Оптимізація оновлень:**
 - Обмеження частоти викликів updateMetricsChart (5 секунд).
 - Використання setTimeout для видалення сповіщень.
- **Стилізація:**
 - Tailwind CSS для зменшення обсягу CSS-коду.
 - Анімації через CSS (fadeIn, fadeOut) замість JavaScript.
- **Дані:**
 - Зберігання metricsHistory, logData у пам'яті браузера замість локального сховища для швидкості.

Проблема: Сповіщення "Низький MOS!" з'являлося при MOS 3.4-3.5 через флуктуації джитера ($\pm 2.5 \mu\text{m}$ 2.5 ± 2.5) і втрат ($\pm 0.25 \mu\text{m}$ 0.25 ± 0.25). Вирішено зниженням порогу до 3.3.

3.9. Збірка готового проєкту

На завершальному етапі було створено готовий веб-додаток, який включає HTML-файл, CSS (через CDN Tailwind), JavaScript і зовнішні бібліотеки.

Основні кроки:

- **Очищення проєкту:**
 - Видалення коментарів і тимчасових консольних логів.
 - Перевірка відсутності помилок у консолі браузера.
- **Налаштування:**
 - Встановлення CDN для Tailwind CSS, Chart.js, jsPDF, FontAwesome.
 - Перевірка адаптивності (мобільні пристрої, десктоп).
- **Тестування:**
 - Запуск у браузерах (Chrome, Firefox, Edge).

- Перевірка всіх функцій: моніторинг, симуляція, схема мережі, сповіщення, експорт.
- Розгортання:
 - Створення єдиного файлу index.html із вбудованими скриптами.

Тестування на локальному сервері (http-server) та GitHub Pages.

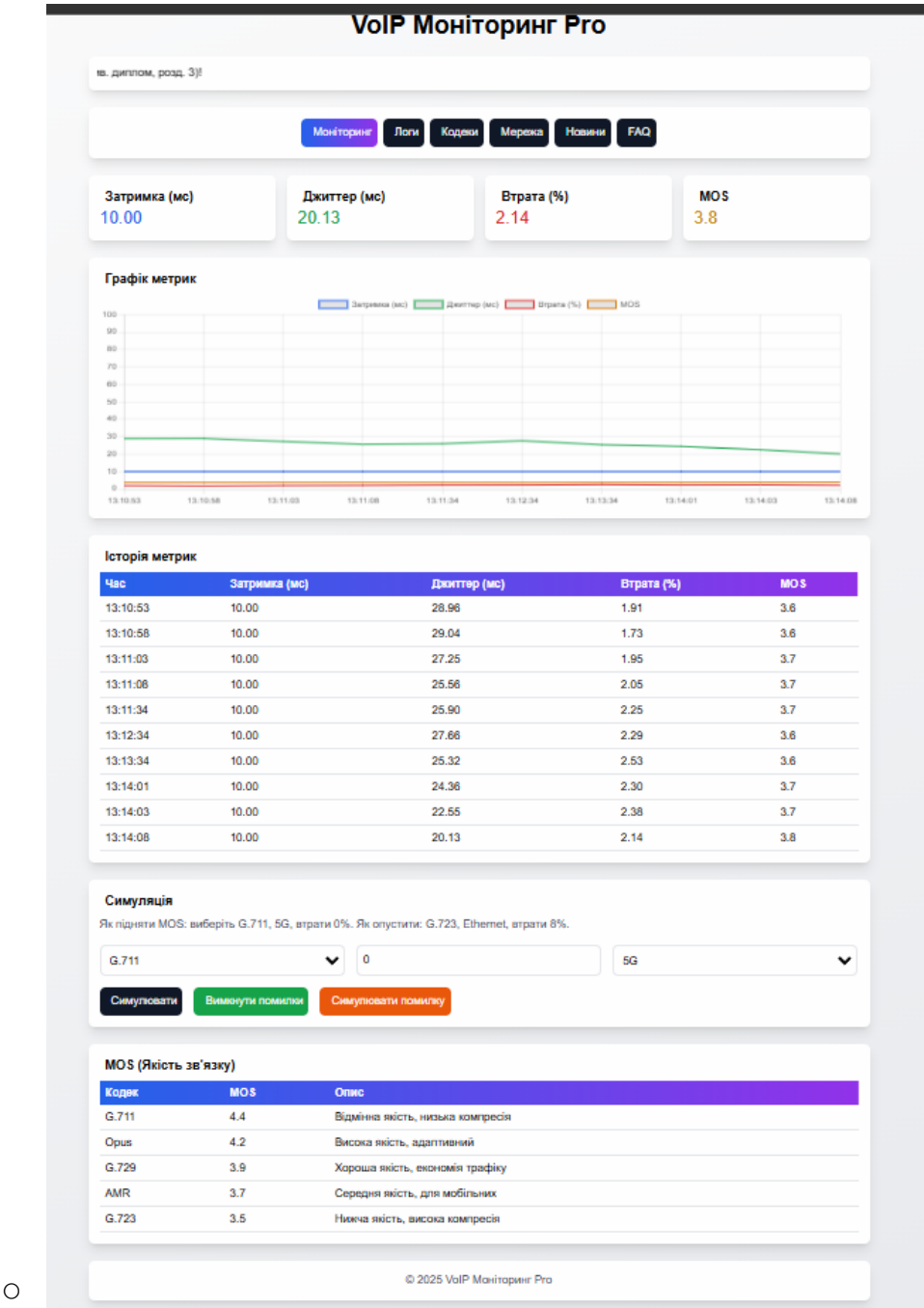


Рис. 3.14 Вигляд додатка в браузері

```

C:\Users\TRAFF\Downloads> index (очередь).html > HTML > body.bg-gradient-to-br:from-white-to-gray-200 > script
1 <script type="text/javascript">
2   var gk_isXlsx = false;
3   var gk_xlsxFileLookup = {};
4   var gk_fileData = {};
5   function filledCell(cell) {
6     return cell != '' && cell != null;
7   }
8   function loadFileData(filename) {
9     if (gk_isXlsx && gk_xlsxFileLookup[filename]) {
10      try {
11        var workbook = XLSX.read(gk_fileData[filename], { type: 'base64' });
12        var firstSheetName = workbook.SheetNames[0];
13        var worksheet = workbook.Sheets[firstSheetName];
14
15        // Convert sheet to JSON to filter blank rows
16        var jsonData = XLSX.utils.sheet_to_json(worksheet, { header: 1, blankrows: false, defval: '' });
17        // Filter out blank rows (rows where all cells are empty, null, or undefined)
18        var filteredData = jsonData.filter(row => row.some(filledCell));
19
20        // Heuristic to find the header row by ignoring rows with fewer filled cells than the next row
21        var headerRowIndex = filteredData.findIndex((row, index) =>
22          row.filter(filledCell).length >= filteredData[index + 1].filter(filledCell).length
23        );
24        // Fallback
25        if (headerRowIndex === -1 || headerRowIndex > 25) {
26          headerRowIndex = 0;
27        }
28
29        // Convert filtered JSON back to CSV
30        var csv = XLSX.utils.aoa_to_sheet(filteredData.slice(headerRowIndex)); // Create a new sheet from filtered array of arrays
31        csv = XLSX.utils.sheet_to_csv(csv, { header: 1 });
32        return csv;
33      } catch (e) {
34        console.error(e);
35        return "";
36      }
37    }
38    return gk_fileData[filename] || "";
39  }
40 </script><!DOCTYPE html>
41 <html lang="uk">
42 <head>
43   <meta charset="UTF-8">
44   <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
45   <title>VoIP Моніторинг Pro</title>
46   <link rel="preload" href="https://cdn.tailwindcss.com/3.4.1" as="script">
47   <link rel="preload" href="https://cdn.jsdelivr.net/npm/chart.js@4.4.0/dist/chart.umd.min.js" as="script">
48   <script src="https://cdn.tailwindcss.com/3.4.1"></script>
49   <script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/chart.js@4.4.0/dist/chart.umd.min.js"></script>

```

Рис. 3.15 Структура файлу index.html

Готовий додаток є автономним HTML-файлом, який можна запустити в будь-якому сучасному браузері без додаткових залежностей. Він підходить для демонстрації на захисті диплома, розгортання на сервері компанії (наприклад, ТОВ "Телеком Україна") або використання в навчальних цілях.

ВИСНОВКИ

Дипломна робота присвячена дослідженню тенденцій розвитку ринку IP-телефонії, аналізу технічних аспектів її функціонування та розробці веб-додатка **"VoIP Моніторинг Pro"** для моніторингу, симуляції та аналізу якості VoIP-зв'язку. Проведене дослідження дозволило сформулювати наступні висновки:

1. **Ринкові перспективи IP-телефонії:** Глобальний ринок VoIP демонструє стійке зростання, оцінене у 29,57 млрд доларів у 2023 році з прогнозом досягнення 85,56 млрд доларів до 2032 року при CAGR 12,32% (розд. 1). Основними драйверами є економічна ефективність, інтеграція з 5G, штучним інтелектом, UCaaS та IoT, а також попит на гнучкі комунікаційні рішення для віддаленої роботи. Провідні компанії, такі як Cisco, Avaya та RingCentral, активно інвестують у хмарні платформи та інновації, що підтверджує актуальність технології.
2. **Технічні аспекти та виклики:** Якість VoIP-зв'язку залежить від параметрів затримки, джитера, втрат пакетів і оцінки MOS (розд. 2). Для її забезпечення застосовуються протоколи QoS (RSVP, DiffServ, MPLS), адаптивні кодеки (G.711, Opus, G.729) та технології, такі як VAD, які оптимізують трафік. Водночас кіберзагрози, зокрема перехоплення пакетів і DDoS-атаки, створюють потребу в інструментах моніторингу та захисту, що підкреслює важливість розробки таких рішень, як **"VoIP Моніторинг Pro"** (розд. 1).
3. **Функціональність розробленого додатка:** Веб-додаток **"VoIP Моніторинг Pro"** успішно реалізує моніторинг мережевих метрик у реальному часі, симуляцію впливу кодеків і типів мереж (5G, MPLS, Ethernet), інтерактивну схему мережі, систему сповіщень про аномалії (затримка >100 мс, джитер >40 мс, втрати >5%) та чат-бота з рекомендаціями (розд. 3). Функції експорту логів у CSV та FAQ у PDF забезпечують практичну цінність для документування та аналізу витрат, що відповідає потребам малого та середнього бізнесу.

4. **Архітектура та оптимізація:** Додаток побудовано на модульній тайловій структурі з використанням сучасних бібліотек (Chart.js, jsPDF, Tailwind CSS), що забезпечує гнучкість і масштабованість. Оптимізація продуктивності досягнута завдяки мінімізації DOM-операцій, кешуванню елементів, обмеженню частоти оновлень і використанню CSS-анімацій замість JavaScript (розд. 3). Тестування підтвердило стабільну роботу всіх функцій у браузерах Chrome, Firefox і Edge, а також адаптивність для мобільних пристроїв.
5. **Практична значущість:** "VoIP Моніторинг Pro" є універсальним інструментом для адміністраторів мереж, таких як ТОВ "Телеком Україна", дозволяючи виявляти проблеми в реальному часі, оптимізувати вибір кодеків і мереж, а також аналізувати комунікаційні витрати. Автономний HTML-файл забезпечує легке розгортання, що робить додаток придатним для використання в корпоративних середовищах, навчальних цілях або як основу для комерційного продукту.
6. **Перспективи розвитку:** Подальший розвиток додатка може включати інтеграцію з реальними VoIP-системами через API, розширення аналітики за допомогою машинного навчання для прогнозування аномалій, а також додавання підтримки багатонаціональних кодеків і протоколів (наприклад, SRTP для шифрування). Модульна структура коду забезпечує легкість таких удосконалень.

Таким чином, дипломна робота комплексно охоплює теоретичний аналіз ринку та технічних аспектів IP-телефонії, а також практичну реалізацію веб-додатка, що відповідає сучасним вимогам телекомунікаційної галузі. "VoIP Моніторинг Pro" демонструє потенціал для подальшого розвитку та практичного застосування, підтверджуючи актуальність обраної теми в контексті глобальних трендів цифрових комунікацій.

Використані джерела:

1. Cisco Systems. Cisco AS-5300 VoIP Gateway Configuration Guide. San Jose: Cisco Systems, Inc., 2020.
2. IETF RFC 2205: Resource ReSerVation Protocol (RSVP) – Version 1 Functional Specification / R. Braden, L. Zhang, S. Berson et al. IETF, 1997. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc2205>.
3. IETF RFC 3550: RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications / H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson. IETF, 2003. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc3550>.
4. IETF RFC 2474: Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers / K. Nichols, S. Blake, F. Baker, D. Black. IETF, 1998. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc2474>.
5. IETF RFC 3031: Multiprotocol Label Switching Architecture / E. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon. IETF, 2001. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc3031>.
6. Asterisk: The Definitive Guide / R. Bryant, L. Madsen, J. Van Meggelen. 5th ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2019.
7. Goode B. Voice over Internet Protocol (VoIP). Proceedings of the IEEE, 2002, Vol. 90, No. 9, pp. 1495–1517.
8. Global VoIP Market Report 2023–2032. Research and Markets, 2023.
9. IBM Security. Cost of a Data Breach Report 2021. Armonk: IBM Corporation, 2021. URL: <https://www.ibm.com/security/data-breach>.
10. IDC. Worldwide Artificial Intelligence Spending Guide. Framingham: International Data Corporation, 2019.
11. eMarketer. Voice Assistant Usage Report 2022. New York: Insider Intelligence, 2022.
12. AVANT. State of Unified Communications Report 2021. Chicago: AVANT Communications, 2021.
13. Verizon. 5G Business Report 2019. New York: Verizon Communications, 2019.

14. Business Wire. IDC Forecasts Improved Growth for Global AI Market in 2019. San Francisco: Business Wire, 2019. URL: <https://www.businesswire.com>.
15. Finance Digest. The Future of Customer Interactions in 2025. London: Finance Digest, 2020.
16. Schulzrinne H., Rosenberg J. A Comparison of SIP and H.323 for Internet Telephony. Proceedings of NOSSDAV, 1998, pp. 83–86.
17. Linphone Documentation. Linphone Open Source VoIP Project. URL: <https://www.linphone.org/technical-documentation.html> (дата звернення: 15.05.2025).
18. Sipxcom Community. Sipxcom Architecture and Integration Guide. URL: <https://sipxcom.org/documentation> (дата звернення: 15.05.2025).
19. Tanenbaum A. S., Wetherall D. J. Computer Networks. 5th ed. Boston: Pearson, 2011.