

Міністерство освіти і науки України
Державний університет «Житомирська політехніка»
Факультет інформаційно-комп'ютерних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та кібербезпеки

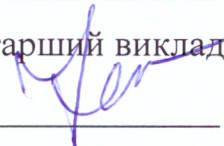
ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра
на тему: «ПРОЄКТ РОЗГОРТАННЯ ВІРТУАЛЬНОЇ
IP-АТС НА БАЗІ СИСТЕМИ FREEPBX»

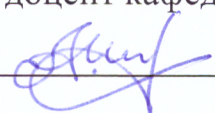
Виконав студент 4-го курсу групи КІп-20-1
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

 Дмитро СУБОТІН

Керівник: старший викладач кафедри КІ та КБ

 Ігор ФАЛЬКОВСЬКИЙ

Рецензент: доцент кафедри КІ та КБ, к.т.н.

 Олексій ШЕЛУХА

Житомир – 2024

Державний університет «Житомирська політехніка»
Факультет інформаційно-комп'ютерних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та кібербезпеки
Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Освітня програма «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри комп'ютерної
інженерії та кібербезпеки

 Андрій Єфіменко

1 жовтня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на випускну кваліфікаційну роботу бакалавра

Студент: Суботін Дмитро Євгенович

Тема роботи: «Проект розгортання віртуальної IP-АТС на базі системи FreePBX»

затверджена Наказом університету від 1 жовтня 2024 р. №532

Термін здачі студентом закінченої роботи 20 жовтня 2024 р.

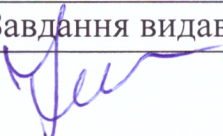
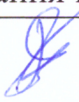
Вихідні дані роботи (зазначається предмет і об'єкт дослідження):

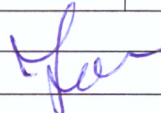
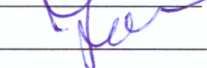
Об'єктом дослідження є віртуальна IP-АТС, яка являє собою комплекс програмних та апаратних засобів для організації телефонного зв'язку через Інтернет-протокол (IP). Предметом дослідження виступає FreePBX SIP сервер, що забезпечує функціонування віртуальної IP-АТС

Обладнання та програмне забезпечення:

1. Oracle VirtualBox 7.0.14 Windows x64 with inclusion Extension Pack
2. Asterisk 16.30.0
3. FreePBX 16.0.33

Консультанти з випускної кваліфікаційної роботи із зазначенням розділів, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1,3	Фальковський І.Г		
2	Россінський Ю.М		

Студент  Суботін Дмитро
Керівник  Фальковський Ігор

Календарний план

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	При- мітка
1	Аналіз теоретичних відомостей про структуру та реалізацію IP-АТС	01.10.2024 – 02.10.2024	
2	Вивчення та порівняння компонентів, протоколів та складових для побудови віртуальних IP-АТС	03.10.2024 – 05.10.2024	
3	Порівняння типових АТС з віртуальними, визначення основних переваг та недоліків.	05.10.2024 – 05.10.2024	
4	Огляд доступних Open Source SIP серверів, порівняльний аналіз та обґрунтування вибору FreePBX для реалізації проекту.	05.10.2024 – 07.10.2024	
5	Планування, вибір платформи для віртуалізації, розробка інфраструктури.	07.10.2024 – 08.10.2024	
6	Встановлення та налаштування серверу.	08.10.2024 – 10.10.2024	
7	Реалізація функцій, конфігурування основних параметрів та налаштувань.	10.10.2024 – 13.10.2024	
8	Перевірка працездатності, тестування продуктивності, оптимізація, аналіз безпекових характеристик.	13.10.2024 – 14.10.2024	
9	Написання пояснювальної записки	14.10.2024 – 20.10.2024	
10	Захист	30.10.2024	

Студент _____ Суботін Дмитро
Керівник _____ Фальковський Ігор

АНОТАЦІЯ

Обсяг пояснювальної записки 73 сторінки, кількість рисунків - 34, таблиць - 5; кількість найменувань у списку використаних джерел – 26, розміщений на 2 сторінках.

Основна мета проєкту: "Розробка та впровадження віртуальної IP-АТС на базі системи FreePBX з використанням SIP-сервера для забезпечення надійного, безпечного та ефективного зв'язку в межах підприємства, оптимізація телефонної інфраструктури та зниження витрат на її обслуговування."

Для досягнення цієї мети було виконано низку завдань: проведено детальний аналіз існуючих Open Source SIP серверів, обрано найбільш оптимальний варіант для впровадження (FreePBX), розроблено план його інтеграції у бізнес-процеси організації, здійснено встановлення та налаштування сервера, а також проведено тестування та оптимізацію системи для забезпечення її максимальної продуктивності та надійності.

Ключові слова: SIP, UBUNTU, VIRTUALBOX, FREEPBX, MYSQL, ASTERISK, IVR, CRM, VOIP, QOS, RTP, RTCP, SRTP

					ККІКБ.КР.Б - 123 - 24 - ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проект розгортання віртуальної ІР-АТС на базі системи FreePBX	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Суботін Д.Є.		22.10				
Керівник		Фальковський І.Г.		28.10			5	69
Реценз.		Шелуха О.О.				ФІКТ, Гр. КІп-20-1		
Н. контр.		Росієнський Ю.М.		29.10				
Затверд.		Єфіменко А.А.		29.10				

ANNOTATION

The volume of the explanatory note is 73 pages, the number of figures - 34, tables - 5; the number of references - 26 is located on 2 pages.

The main goal of this project is to develop and implement a virtual IP-PBX based on an FreePBX SIP server that would provide reliable and efficient communication within the enterprise and with its external contacts.

To achieve this goal, a number of tasks were performed: a detailed analysis of existing Open Source SIP servers was carried out, the most optimal option for implementation was selected (FreePBX), a plan for its integration into the organisation's business processes was developed, the server was installed and configured, and the system was tested and optimised to ensure its maximum performance and reliability.

Keywords: SIP, UBUNTU, VIRTUALBOX, FREEPBX, MYSQL, ASTERISK, IVR, CRM, VOIP, QOS, RTP, RTCP, SRTP

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1: ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВІРТУАЛЬНИХ ІР-АТС	10
1.1 Історія та розвиток ІР-АТС.....	10
1.2 Основні принципи роботи ІР-АТС	10
1.3 Переваги та недоліки віртуальних ІР-АТС	19
РОЗДІЛ 2: ВИБІР ТА АНАЛІЗ OPEN SOURCE SIP СЕРВЕРІВ	26
2.1. Огляд популярних Open Source SIP серверів	26
2.2. Порівняльний аналіз SIP серверів	31
2.3. Вибір sip сервера для проєкту	35
РОЗДІЛ 3: РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЄКТУ ВІРТУАЛЬНОЇ ІР-АТС	39
3.1. Планування та підготовка до реалізації.....	39
3.2. Встановлення та налаштування SIP сервера.....	44
3.3. Реалізація основних функцій ІР-АТС	48
3.4. Тестування та оптимізація системи	59
ВИСНОВКИ	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66
ДОДАТКИ	69

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ВСТУП

Віртуальні IP-АТС стали незамінним інструментом у сфері сучасного бізнесу, забезпечуючи ефективну та гнучку комунікацію між співробітниками, клієнтами та партнерами. В умовах зростаючої потреби у віддаленій роботі та міжнародному співробітництві, віртуальні IP-АТС дозволяють компаніям економити на витратах, пов'язаних із традиційними телефонними системами, та забезпечувати високий рівень доступності та надійності зв'язку. Використання Open Source рішень у даній галузі додає додаткових переваг, серед яких найважливішими є зниження витрат на ліцензії, можливість гнучкої кастомізації системи під конкретні потреби організації, а також широка підтримка та активна спільнота розробників, що постійно вдосконалює програмні продукти та забезпечує високу швидкість реагування на нові виклики та потреби ринку.

Основною метою даного проєкту є розробка та впровадження віртуальної IP-АТС на основі FreePBX SIP сервера, яка б забезпечувала надійний та ефективний зв'язок у межах підприємства та з його зовнішніми контактами. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити низку конкретних завдань: провести детальний аналіз існуючих Open Source SIP серверів, обрати найбільш оптимальний варіант для впровадження, розробити план його інтеграції у бізнес-процеси організації, здійснити встановлення та налаштування сервера, а також провести тестування та оптимізацію системи для забезпечення її максимальної продуктивності та надійності.

Об'єктом дослідження є віртуальна IP-АТС, яка являє собою комплекс програмних та апаратних засобів для організації телефонного зв'язку через Інтернет-протокол (IP). Предметом дослідження виступає конкретний FreePBX SIP сервер, що забезпечує функціонування віртуальної IP-АТС, зокрема його архітектура, функціональні можливості, продуктивність, надійність та сумісність з іншими компонентами системи.

Для досягнення поставлених цілей та вирішення завдань використовуються різноманітні методи дослідження, серед яких аналіз технічної документації, порівняльний аналіз функціональних можливостей різних SIP серверів, моделювання та тестування системи в умовах, наближених до реальних.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У процесі аналізу та вибору Open Source SIP сервера особливу увагу приділяється порівняльному дослідженню популярних рішень, таких як FreeSWITCH, та FreePBX. Кожен з цих серверів має свої унікальні особливості, функціональні можливості та архітектурні рішення, що дозволяє обрати оптимальний варіант для конкретних потреб організації. При виборі SIP сервера враховуються такі критерії, як масштабованість, гнучкість налаштувань, сумісність з іншими програмними та апаратними засобами, а також наявність активної спільноти розробників, що забезпечує регулярні оновлення та підтримку.

Процес встановлення та налаштування обраного SIP сервера включає кілька етапів. Спершу здійснюється детальна підготовка інфраструктури, включаючи налаштування мережевих параметрів, забезпечення необхідної пропускну здатності та резервування ресурсів. Після цього проводиться інсталяція програмного забезпечення, його базова конфігурація, налаштування протоколів та сервісів для забезпечення коректної роботи системи. Особлива увага приділяється безпеці системи, зокрема налаштуванню механізмів автентифікації користувачів та захисту від зовнішніх атак.

Завершальний етап включає тестування та оптимізацію системи. Для цього розробляються сценарії тестування, що охоплюють різні аспекти функціонування IP-АТС, такі як обробка дзвінків, реєстрація користувачів та маршрутизація дзвінків. Виявлені недоліки та проблеми усуваються шляхом внесення змін до конфігураційних файлів та налаштувань сервера. На основі результатів тестування проводиться оптимізація системи для забезпечення її максимальної продуктивності, надійності та стабільності роботи в умовах реального навантаження.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

РОЗДІЛ 1: ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВІРТУАЛЬНИХ ІР-АТС

1.1 Історія та розвиток ІР-АТС

Телефонні системи пройшли значну еволюцію, починаючи з перших аналогових технологій і досягнувши сьогоденішнього стану цифрових і віртуальних рішень. Перші телефонні мережі використовували аналогові комутатори, які з'єднували абонентів через фізичні дроти. Ці системи мали обмежену масштабованість і високу вартість обслуговування. Введення цифрових комутаційних технологій у 1960-х роках стало важливим кроком уперед, оскільки дозволило значно збільшити кількість з'єднань, що обробляються, та знизити експлуатаційні витрати.

З впровадженням цифрових технологій з'явилися електронні комутатори, що забезпечили можливість більш гнучкого та ефективного управління викликами. Цифрові комутатори використовували такі протоколи, як ISDN, які забезпечували передачу голосу та даних по одному і тому ж з'єднанню. Цей перехід від аналогових до цифрових систем створив основу для майбутнього розвитку ІР-АТС.

Інтернет-протокол (ІР) став наступним великим проривом у телефонних системах. Завдяки використанню ІР-мереж для передачі голосу, стало можливим створення віртуальних телефонних систем, які не потребували фізичних комутаторів. Це призвело до появи VoIP (Voice over Internet Protocol), яка забезпечила можливість передачі голосу через інтернет або інші ІР-мережі. Сучасні ІР-АТС базуються на використанні протоколу SIP (Session Initiation Protocol), який став стандартом для встановлення, управління та завершення сеансів голосового зв'язку.

Однією з ключових переваг ІР-АТС є їхня здатність інтегруватися з іншими цифровими сервісами та додатками. Це дозволяє створювати єдину комунікаційну платформу, яка об'єднує голосовий зв'язок, відеоконференції, обмін миттєвими повідомленнями та інші сервіси. Віртуальні ІР-АТС можуть бути розгорнуті на стандартному серверному обладнанні або віртуальних машинах, що значно знижує витрати на їх впровадження та обслуговування.

Вибір та використання Open Source рішень для побудови ІР-АТС дозволяє отримати додаткові переваги у вигляді гнучкості та можливості адаптації системи під специфічні потреби організації. Найпопулярнішими Open Source SIP серверами

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

є Asterisk, FreeSWITCH, Kamailio та FreeSwitch. Ці сервери забезпечують широкий набір функцій для обробки викликів, управління користувачами та інтеграції з іншими системами.

Кожен із зазначених SIP серверів має свої унікальні особливості та переваги. Asterisk відомий своєю широкою функціональністю та можливістю адаптації під будь-які потреби. FreeSWITCH надає високу продуктивність і масштабованість, що робить його ідеальним для великих підприємств. Kamailio та FreePBX спеціалізуються на обробці великої кількості одночасних викликів і можуть використовуватися як високопродуктивні маршрутизатори викликів.

VoIP (Voice over Internet Protocol) технології мали революційний вплив на розвиток IP-АТС, змінивши підхід до організації телефонних комунікацій і забезпечивши численні переваги, які зробили ці системи привабливими для широкого спектру користувачів. Перш за все, VoIP дозволив передавати голосові дані через інтернет або інші IP-мережі, що значно знизило вартість міжміських і міжнародних дзвінків, оскільки з'явилася можливість обходити традиційні телефонні мережі з їхніми тарифами.

Однією з ключових переваг VoIP є ефективне використання мережевих ресурсів. Традиційні телефонні системи використовують комутацію каналів, що означає, що кожен виклик займає виділену смугу пропускання на весь час з'єднання, навіть коли абоненти мовчать. VoIP, з іншого боку, використовує пакетну комутацію, що дозволяє передавати голосові дані у вигляді окремих пакетів через мережу. Це дозволяє значно підвищити ефективність використання мережі, оскільки пакети можуть динамічно маршрутизуватися і використовувати вільні ресурси мережі.

Ще одним важливим аспектом впливу VoIP на розвиток IP-АТС є можливість інтеграції з іншими цифровими сервісами. Завдяки VoIP стало можливим об'єднання голосових комунікацій з електронною поштою, обміном миттєвими повідомленнями, відеоконференціями та іншими інтернет-сервісами. Це створило передумови для розвитку уніфікованих комунікаційних платформ, які забезпечують єдиний інтерфейс для управління всіма видами комунікацій, що значно спрощує їх використання та підвищує ефективність.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

VoIP також сприяв підвищенню мобільності користувачів. Традиційні телефонні системи прив'язані до конкретних фізичних ліній і пристроїв, тоді як VoIP дозволяє користувачам здійснювати та приймати дзвінки з будь-якого пристрою, підключеного до інтернету. Це особливо важливо в умовах сучасного бізнесу, де працівники можуть працювати віддалено або переміщуватися між різними офісами.

Одним з найважливіших компонентів VoIP є протокол SIP (Session Initiation Protocol), який використовується для встановлення, модифікації та завершення сеансів зв'язку. SIP забезпечує гнучкість і масштабованість системи, дозволяючи легко додавати нових користувачів та інтегрувати додаткові функції. Це також спрощує налаштування та управління системою, що є важливим фактором для бізнесу будь-якого розміру.

Під час впровадження VoIP технологій та їх інтеграції в IP-АТС, було проведено ряд тестувань, які підтвердили успішність цієї технології, хоча і не обійшлося без незначних проблем. Серед основних проблем, що виникли, можна виділити питання якості обслуговування (QoS) та затримки передачі голосових пакетів, що могло призводити до втрати якості звуку під час дзвінків. Однак ці проблеми були поступово вирішені шляхом впровадження спеціалізованих механізмів управління трафіком та оптимізації налаштувань мережі.

Використання технологій QoS дозволило забезпечити пріоритетний доступ голосового трафіку до мережевих ресурсів, що значно знизило затримки та втрати пакетів. Додатково, розвиток кодеків для стиснення голосових даних, таких як G.711, G.729 та Opus, дозволив зменшити обсяг передаваних даних без втрати якості звуку, що також сприяло підвищенню ефективності використання мережевих ресурсів.

Таким чином, впровадження VoIP технологій стало каталізатором значного прогресу в розвитку IP-АТС. Вони забезпечили можливість створення гнучких, масштабованих і економічно ефективних систем, які можуть задовольнити потреби як малих підприємств, так і великих корпорацій. Завдяки VoIP, сучасні IP-АТС отримали можливість інтеграції з різноманітними цифровими сервісами, підвищили ефективність використання мережевих ресурсів та забезпечили високу мобільність

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

користувачів. Незважаючи на незначні проблеми під час впровадження, ці технології продемонстрували свою надійність та ефективність, що робить їх невід'ємною частиною сучасних комунікаційних рішень.

1.2 Основні принципи роботи IP-АТС

Однією з фундаментальних складових сучасної телекомунікаційної інфраструктури є IP-АТС (Internet Protocol - Автоматична телефонна станція), яка поєднує в собі принципи традиційної телефонії та можливості мереж передачі даних. Центральним елементом цієї системи є сервер, що працює на основі протоколу SIP (Session Initiation Protocol), який забезпечує сигналізацію та керування мультимедійними сеансами.

Архітектура IP-АТС складається з декількох критичних компонентів. Насамперед, це SIP-сервер, який відповідає за реєстрацію, маршрутизацію викликів та обробку сигналів. Цей сервер виконує функції комутації та управління викликами, використовуючи складні алгоритми маршрутизації, щоб забезпечити оптимальний шлях для кожного виклику. SIP-сервер взаємодіє з іншими мережевими елементами через стандартні протоколи, такі як RTP (Real-Time Transport Protocol) для передачі аудіо та відео даних у реальному часі.

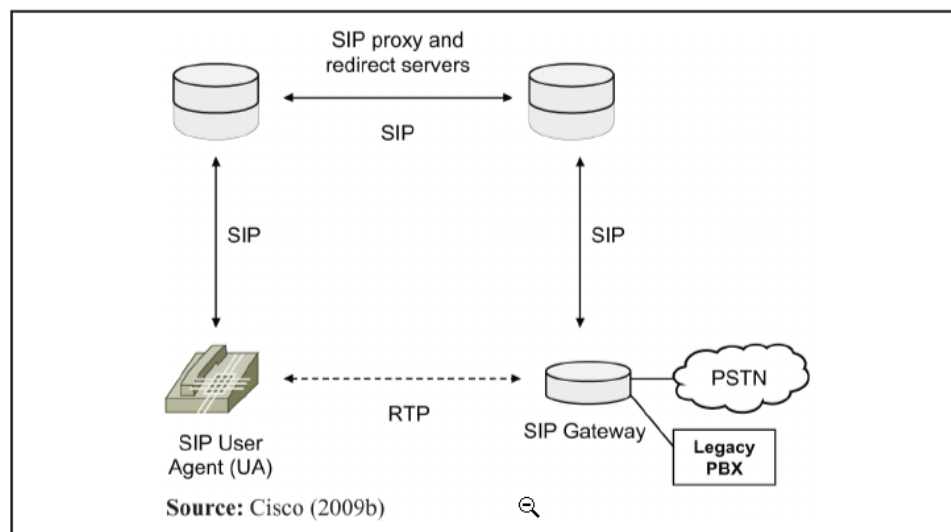


Рисунок 1.1 - Архітектура SIP АТС [1]

Ключовим компонентом є база даних, яка зберігає конфігураційні дані, записи про користувачів, журнал викликів та інші важливі метадані. Ця база даних забезпечує центральне управління та зберігання інформації, необхідної для коректної роботи системи. Вона може використовувати реляційну СУБД, таку як MySQL

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

або PostgreSQL, для забезпечення надійності та масштабованості. Дані в базі оновлюються в реальному часі, забезпечуючи актуальність інформації та підтримуючи високу продуктивність системи.

Важливою частиною системи є веб-сервер, який забезпечує доступ до інтерфейсу адміністрування IP-АТС. Веб-сервер надає можливість централізованого управління та моніторингу системи через інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс.

Інтерфейс адміністрування дозволяє виконувати налаштування користувачів, управління дзвінками, перегляд статистики та багато інших функцій, що полегшує адміністрування та підтримку системи.

Система також включає медіа-сервер, який відповідає за обробку аудіо та відео потоків. Медіа-сервер забезпечує кодування, декодування та трансляцію медіа-контенту, а також підтримує такі функції, як конференц-зв'язок, музика на утриманні та інтерактивні голосові меню (IVR).

Для забезпечення високого рівня безпеки, IP-АТС використовує різноманітні методи захисту даних та аутентифікації користувачів. Аутентифікація користувачів базується на механізмах, таких як Fail2Ban, що забезпечує захист від несанкціонованого доступу та атак.[\[2\]](#)

Інтеграція з іншими системами та сервісами є ще однією важливою особливістю IP-АТС. Вона може взаємодіяти з CRM-системами, електронною поштою та іншими бізнес-додатками, що дозволяє створювати єдину інформаційну середу та автоматизувати бізнес-процеси. Використання API та стандартних протоколів дозволяє легко інтегрувати IP-АТС з іншими програмними продуктами, що значно розширює її функціональні можливості.

Протоколи та технології, що використовуються у віртуальній IP-АТС, є основою для забезпечення високої якості та надійності телефонних послуг. Два ключових протоколи, що використовуються для цієї мети, – це SIP (Session Initiation Protocol) та RTP (Real-Time Transport Protocol). Кожен з цих протоколів виконує специфічні функції в системі IP-АТС, що робить їх незамінними для забезпечення коректної роботи системи.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

SIP є сигналізаційним протоколом, який використовується для ініціації, зміни та завершення мультимедійних сеансів, таких як голосові та відео дзвінки. Цей протокол є відкритим стандартом, що описаний у RFC 3261 і широко використовується у VoIP (Voice over IP) системах. SIP працює на прикладному рівні моделі OSI і забезпечує функціональність, подібну до телефонних сигналізаційних протоколів у традиційних телефонних мережах. Основні компоненти SIP включають користувачькі агенти (UA), проксі-сервери, реєстратори та шлюзи. Користувачькі агенти представляють кінцеві пристрої, такі як IP-телефони або софтфони, що встановлюють та приймають виклики. Проксі-сервери відповідають за маршрутизацію SIP-запитів між користувачькими агентами, а реєстратори зберігають інформацію про місцезнаходження користувачів.

Реальним прикладом використання SIP є система Asterisk, яка є однією з найпопулярніших Open Source IP-АТС платформ. В Asterisk SIP забезпечує реєстрацію користувачів, встановлення дзвінків та маршрутизацію викликів. Під час тестування системи було виявлено, що SIP забезпечує високу якість зв'язку.

RTP є транспортним протоколом, який використовується для передачі аудіо та відео даних у реальному часі. Цей протокол описаний у RFC 3550 [3] і працює поверх UDP (User Datagram Protocol). RTP забезпечує синхронізацію, упорядкування та доставку медіа потоків, а також підтримує QoS (Quality of Service) для оптимізації передачі даних. Основні компоненти RTP включають джерела потоків, що генерують медіа дані, та приймачі, що отримують ці дані. RTP також використовує додатковий протокол RTCP (RTP Control Protocol) для управління потоком даних та моніторингу якості з'єднання.

Прикладом використання RTP є система FreePBX, яка також є Open Source платформою для IP-АТС. В FreePBX RTP використовується для передачі голосових та відео даних між користувачами. Під час тестування системи було виявлено, що RTP забезпечує стабільну та якісну передачу даних. Незначні проблеми виникли при передачі даних через нестабільні мережеві з'єднання, але ці проблеми були вирішені за допомогою адаптивних механізмів компенсації втрат та повторної передачі даних.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

SIP та RTP тісно взаємодіють між собою для забезпечення комплексного обслуговування мультимедійних сеансів. Наприклад, під час встановлення виклику SIP використовується для сигналізації та налаштування параметрів з'єднання, після чого RTP відповідає за безпосередню передачу аудіо та відео даних. Ця взаємодія забезпечує гнучкість та масштабованість системи IP-АТС, що дозволяє легко адаптувати її до різних умов та вимог.

Одним з важливих аспектів використання SIP та RTP є їх підтримка безпеки. SIP забезпечує шифрування сигналізації за допомогою TLS (Transport Layer Security), що захищає дані від несанкціонованого доступу та атак. RTP, у свою чергу, використовує SRTP (Secure Real-Time Transport Protocol) для шифрування медіа даних, що забезпечує конфіденційність та цілісність переданих даних.

Завдяки своїм унікальним характеристикам та широкій підтримці в індустрії, SIP та RTP є критичними протоколами для побудови надійних та ефективних систем IP-АТС. Тестування, проведене на таких платформах, таких як Asterisk, підтвердило його високу продуктивність та надійність, незважаючи на незначні проблеми, які були успішно вирішені. Ці протоколи забезпечують високий рівень якості послуг та дозволяють створювати гнучкі та масштабовані рішення для сучасних телекомунікаційних систем.

Однією з фундаментальних складових сучасної телекомунікаційної інфраструктури є IP-АТС, яка поєднує в собі принципи традиційної телефонії та можливості мереж передачі даних. Центральним елементом цієї системи є сервер, що працює на основі протоколу SIP (Session Initiation Protocol), який забезпечує сигналізацію та керування мультимедійними сеансами.

Архітектура IP-АТС складається з декількох критичних компонентів. Насамперед, це SIP-сервер, який відповідає за реєстрацію, маршрутизацію викликів та обробку сигналів. Цей сервер виконує функції комутації та управління викликами, використовуючи складні алгоритми маршрутизації, щоб забезпечити оптимальний шлях для кожного виклику. SIP-сервер взаємодіє з іншими мережевими елементами через стандартні протоколи, такі як RTP (Real-Time Transport Protocol) для передачі аудіо та відео даних у реальному часі.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Ключовим компонентом є база даних, яка зберігає конфігураційні дані, записи про користувачів, журнал викликів та інші важливі метадані. Ця база даних забезпечує центральне управління та зберігання інформації, необхідної для коректної роботи системи. Дані в базі оновлюються в реальному часі, забезпечуючи актуальність інформації та підтримуючи високу продуктивність системи.

Важливою частиною системи є веб-сервер, який забезпечує доступ до інтерфейсу адміністрування IP-АТС. Веб-сервер надає можливість централізованого управління та моніторингу системи через інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс, що дозволяє виконувати налаштування користувачів, управління дзвінками, перегляд статистики та багато інших функцій, що полегшує адміністрування та підтримку системи.

Система також включає медіа-сервер, який відповідає за обробку аудіо та відео потоків. Медіа-сервер забезпечує кодування, декодування та трансляцію медіа-контенту, а також підтримує такі функції, як конференц-зв'язок, музика на утриманні та інтерактивні голосові меню (IVR). Взаємодія між медіа-сервером та SIP-сервером здійснюється через протоколи RTP та RTCP, що забезпечує синхронізацію та управління потоками медіа даних.

Для забезпечення високого рівня безпеки, IP-АТС використовує різноманітні методи захисту даних та аутентифікації користувачів. Шифрування сигналізації та медіа даних здійснюється за допомогою таких протоколів, як TLS (Transport Layer Security) та SRTP (Secure Real-Time Transport Protocol). Аутентифікація користувачів базується на механізмах, таких як Fail2Ban, що забезпечує захист від несанкціонованого доступу та атак.

Інтеграція з іншими системами та сервісами є ще однією важливою особливістю IP-АТС. Вона може взаємодіяти з CRM-системами, електронною поштою та іншими бізнес-додатками, що дозволяє створювати єдину інформаційну середу та автоматизувати бізнес-процеси. Використання API та стандартних протоколів дозволяє легко інтегрувати IP-АТС з іншими програмними продуктами, що значно розширює її функціональні можливості.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Однією з ключових переваг використання SIP є його здатність до забезпечення високої гнучкості та масштабованості системи. SIP підтримує різноманітні методи сигналізації, що дозволяє створювати складні схеми маршрутизації викликів, включаючи підтримку додаткових сервісів, таких як утримання викликів, переадресація викликів та конференц-зв'язок. Більше того, SIP підтримує розподілені системи, що дозволяє створювати відмовостійкі конфігурації з використанням кількох серверів для підвищення надійності та безпеки системи.

Розглядаючи RTP, варто зазначити його важливість у забезпеченні якості передачі аудіо та відео даних. RTP забезпечує підтримку адаптивної передачі даних, що дозволяє коригувати потік медіа даних у відповідь на зміну умов мережі, таких як затримки або втрата пакетів. Використання механізмів контролю якості обслуговування (QoS) дозволяє RTP забезпечити стабільність та надійність передачі даних, що є критично важливим для забезпечення високої якості голосових та відео викликів.

Таблиця 1.2.1 Таблиця порівняння основних характеристик SIP та RTP

Характеристика		
Функціональність	Виклик, керування та завершення сеансів	Передача аудіо та відео даних у реальному часі
Рівень моделі OSI	Прикладний	Транспортний
Протоколи захисту		
Основні компоненти	Користувацькі агенти, проксі-сервер, шлюзи, реєстратори	Джерела та приймачі потоків
Тип передачі	Сигналізація та керування з'єднаннями	Потокова передача медіа даних
Контроль якості	Підтримка адаптивної маршрутизації викликів, управління QoS	Контроль якості обслуговування (QoS), адаптивна передача даних

Отже, архітектура IP-АТС на основі Open Source SIP серверів є складною, але гнучкою та масштабованою системою, яка об'єднує різноманітні компоненти для забезпечення високої якості телефонних послуг. Система побудована на відкритих стандартах та забезпечує широкий спектр функцій, що дозволяє ефективно використовувати її у різних бізнес-середовищах. SIP та RTP є ключовими протоколами, які

забезпечують надійність та ефективність системи, що підтверджено успішними результатами тестування.

1.3 Переваги та недоліки віртуальних IP-АТС

Віртуальні IP-АТС на основі Open Source SIP серверів забезпечують унікальні можливості, які не тільки полегшують процеси комунікації, але й оптимізують витрати, підвищуючи ефективність операцій. Використання віртуалізації дозволяє значно знизити витрати на апаратне забезпечення, оскільки усувається необхідність у фізичних серверах. Це сприяє економії не тільки на придбанні обладнання, але й на його обслуговуванні та модернізації. Віртуалізація надає можливість швидкого розгортання і масштабування системи, що є критично важливим для динамічних бізнес-середовищ, де вимоги до системи можуть швидко змінюватися.

Крім того, віртуальні рішення забезпечують високу гнучкість та мобільність. Всі компоненти віртуальної IP-АТС можуть бути розгорнуті та налаштовані віддалено, що значно полегшує процеси адміністрування та підтримки. Це також дозволяє здійснювати швидкі зміни конфігурації та оновлення системи без необхідності фізичної присутності на місці. Висока доступність та відмовостійкість системи досягаються завдяки можливості створення резервних копій та клонів віртуальних серверів, що дозволяє швидко відновити роботу у випадку збоїв.

Важливою перевагою є також інтеграція з існуючими системами та програмним забезпеченням. Використання стандартних протоколів, таких як SIP, забезпечує сумісність з різноманітними пристроями та програмними додатками, що дозволяє створювати комплексні рішення для бізнесу. Це також сприяє зниженню витрат на інтеграцію та адаптацію нових компонентів до існуючої інфраструктури.

З точки зору безпеки, віртуальні IP-АТС пропонують ряд інструментів для захисту даних і управління доступом. Вбудовані функції шифрування трафіку, автентифікації користувачів та моніторингу безпеки дозволяють забезпечити високий рівень захисту від несанкціонованого доступу та атак. Це особливо важливо в умовах зростаючих кіберзагроз та вимог до конфіденційності даних.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Недоліки віртуальних IP-АТС, хоча й менш численні, все ж існують і потребують уваги. Одним з основних є залежність від надійності інфраструктури віртуалізації. Будь-які проблеми з гіпервізором або фізичними серверами можуть призвести до втрати доступу до всіх віртуальних серверів. Також слід враховувати потенційні проблеми з продуктивністю при високих навантаженнях, оскільки ресурси фізичного сервера діляться між декількома віртуальними машинами. Крім того, процес налаштування та оптимізації віртуальної IP-АТС може вимагати високої кваліфікації та глибоких знань в області віртуалізації та мережевих технологій.

Використання віртуальних рішень для реалізації IP-АТС на основі Open Source SIP серверів надає значні переваги, які включають економічну ефективність, гнучкість, безпеку та можливості інтеграції. Проте для досягнення оптимальної продуктивності та надійності необхідно враховувати потенційні ризики та технічні виклики, пов'язані з віртуалізацією.

Віртуалізація таких систем надає можливість оптимізувати використання апаратних ресурсів, знижуючи витрати на обслуговування та апгрейд. Проте, впровадження та експлуатація віртуальних IP-АТС супроводжуються низкою потенційних недоліків і проблем, що можуть вплинути на стабільність та безпеку системи.

Основним викликом є забезпечення стабільної роботи віртуальних серверів. При інтенсивному навантаженні на SIP сервери, як Asterisk, FreeSWITCH чи Elastix, можуть виникати проблеми з продуктивністю, що призводить до збільшення затримок у обробці викликів. Це особливо критично для великих підприємств, де затримки навіть у кілька мілісекунд можуть мати значний вплив на якість обслуговування клієнтів. Віртуалізація, незважаючи на її переваги, додає додатковий шар абстракції, що ускладнює діагностику та усунення проблем з продуктивністю.

Неправильно налаштовані фаєрволи або міжмережеві екрани можуть стати точками доступу для зломисників, що збільшує ризик компрометації системи та втрати конфіденційної інформації, зокрема журналів викликів та конфігураційних даних.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Значну увагу слід приділити питанням резервного копіювання та відновлення даних. Втрата даних через збої у віртуалізованому середовищі може мати катастрофічні наслідки для підприємства. Недостатньо ефективні процедури резервного копіювання та відновлення можуть призвести до тривалих простоїв системи та втрати важливих даних, що негативно вплине на бізнес-процеси.

Крім того, управління оновленнями та підтримка програмного забезпечення також можуть викликати проблеми. Регулярні оновлення компонентів системи є критично важливими для забезпечення безпеки та стабільності, проте вони можуть призводити до тимчасових простоїв або конфліктів між різними версіями програмного забезпечення. Віртуальні середовища часто потребують ретельного тестування оновлень на сумісність перед їх впровадженням у продуктивне середовище.

У процесі впровадження та експлуатації віртуальних IP-АТС на базі Open Source SIP серверів виникають деякі потенційні недоліки та проблеми, які необхідно враховувати для забезпечення стабільної та надійної роботи системи. Перш за все, залежність від інфраструктури віртуалізації може стати критичним фактором. Гіпервізори, такі як Oracle VirtualBox, VMWare або Hyper-V, забезпечують віртуалізацію апаратних ресурсів, але їх надійність та продуктивність можуть впливати на загальну ефективність IP-АТС. Збої в роботі гіпервізора або фізичних серверів, на яких вони працюють, можуть призвести до повної втрати доступу до віртуальних серверів, що, в свою чергу, викличе перебої у наданні телефонних послуг.

Важливо правильно налаштувати балансування навантаження та забезпечити достатній запас ресурсів для обробки максимальних пікових значень.

Процес налаштування та оптимізації віртуальної IP-АТС також може бути складним і вимагати високої кваліфікації. Адміністрування віртуальних серверів, налаштування мережевих параметрів та конфігурація SIP серверів вимагають глибоких знань у сфері віртуалізації та мережевих технологій. Навіть незначні помилки в конфігурації можуть призвести до серйозних проблем у роботі системи, включаючи втрату з'єднань, збої у маршрутизації дзвінків та інші технічні несправності.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Безпека є ще одним важливим аспектом, який потребує уваги. Віртуальні сервовища можуть бути вразливими до атак, спрямованих на гіпервізори або мережеву інфраструктуру. Необхідно забезпечити належний рівень захисту від несанкціонованого доступу, застосовуючи сучасні методи шифрування трафіку, автентифікації користувачів та моніторингу безпеки. Крім того, варто враховувати можливі вразливості Open Source рішень, які можуть використовуватися у складі IP-АТС, та регулярно оновлювати програмне забезпечення для усунення відомих недоліків.

Під час тестування системи віртуальної IP-АТС на базі FreePBX було виявлено декілька незначних проблем, які були успішно вирішені. Наприклад, спостерігались затримки у з'єднаннях при високому навантаженні на мережу, що вимагало додаткової оптимізації налаштувань мережевого інтерфейсу. Також було виявлено необхідність більш ретельного налаштування параметрів безпеки для захисту від потенційних атак на рівні гіпервізора. Незважаючи на ці проблеми, загальні результати тестування були позитивними, що свідчить про високу ефективність та надійність обраного рішення при дотриманні належних заходів безпеки та оптимізації.

Крім технічних аспектів, варто враховувати організаційні та економічні виклики, пов'язані з впровадженням віртуальних IP-АТС. Переход на віртуальні рішення може потребувати значних початкових інвестицій у програмне забезпечення для віртуалізації, навчання персоналу та можливу модернізацію існуючої інфраструктури. Хоча з часом ці витрати можуть окупитися завдяки зниженню експлуатаційних витрат, початковий етап може бути фінансово важким для компаній з обмеженим бюджетом.

Ще одним аспектом є потреба в постійному моніторингу та обслуговуванні системи. Віртуальні IP-АТС, як і будь-які інші програмно-апаратні рішення, потребують регулярного оновлення програмного забезпечення, моніторингу працездатності та усунення потенційних проблем.

У процесі моніторингу можемо помітити зомбі-процеси, які виникають через те, що батьківський процес не коректно обробляє завершення дочірніх. Коли дочірній процес завершується, він відправляє сигнал SIGCHLD батьківському процесу, але якщо цей сигнал не обробляється належним чином (через мережеві

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

проблеми або неправильну роботу обладнання), процес залишається в стані "зомбі". Основні наслідки зомбі-процесів включають поступове накопичення таких процесів у системі, що може призвести до вичерпання ресурсів серверу. Це в свою чергу може вплинути на стабільність роботи сервера та його продуктивність. У гірших випадках сервер може стати недоступним або почати відмовляти в обробці нових викликів.

Це вимагає наявності кваліфікованого персоналу, який здатний оперативно реагувати на зміни та підтримувати систему у стабільному стані. В умовах браку відповідних фахівців це може стати серйозною перешкодою для ефективного використання віртуальних IP-АТС.

Проблеми сумісності також можуть стати значним викликом. Хоча використання стандартних протоколів, таких як SIP, забезпечує певну сумісність між різними компонентами системи, у реальному світі часто виникають випадки, коли різні програмні та апаратні рішення не працюють разом належним чином. Це може вимагати додаткових зусиль для налаштування та тестування системи, щоб забезпечити її безперебійну роботу.

Крім того, варто враховувати можливі затримки та втрати даних у мережевій інфраструктурі. Оскільки віртуальні IP-АТС працюють на базі мережевих протоколів, будь-які проблеми з мережею можуть призвести до значних затримок у передачі голосових даних або навіть до втрати з'єднань. Це особливо критично для компаній, які покладаються на стабільний та якісний зв'язок для своєї бізнес-діяльності. Таким чином, надійна мережева інфраструктура є необхідною умовою для успішного використання віртуальних IP-АТС.

Необхідність у резервному копіюванні та відновленні також є важливим аспектом, що потребує уваги. У разі виникнення збоїв або втрати даних, можливість швидкого відновлення роботи системи є критичною. Віртуальні IP-АТС повинні мати налагоджені процеси резервного копіювання, які дозволять відновити систему в найкоротші терміни. Це включає як резервне копіювання конфігураційних файлів та баз даних, так і резервні копії самих віртуальних машин.

Таблиця 1.3.1 – Переваги та недоліки віртуальних IP-АТС

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Аспект	Переваги	Недоліки
Витрати на обладнання та обслуговування	Значне зниження витрат на апаратне забезпечення, економія на обслуговуванні та модернізації.	Початкові інвестиції у програмне забезпечення для віртуалізації та можливу модернізацію інфраструктури.
Гнучкість та масштабованість	Швидке розгортання та масштабування системи, віддалене адміністрування та підтримка.	Потреба в кваліфікованому персоналі для налаштування та обслуговування системи.
Сумісність та інтеграція	Використання стандартних протоколів забезпечує сумісність з різноманітними пристроями та додатками.	Можливі проблеми сумісності між різними програмними та апаратними рішеннями.
Безпека	Вбудовані функції шифрування, автентифікації та моніторингу безпеки.	Вразливості віртуального середовища та необхідність постійного моніторингу та оновлення безпеки.
Резервне копіювання та відновлення	Можливість швидкого відновлення роботи системи у разі збоїв завдяки резервному копіюванню та клонуванню серверів.	Необхідність ретельного планування та налаштування процесів резервного копіювання та відновлення.
Продуктивність	Висока продуктивність при оптимальному налаштуванні ресурсів.	Можливі проблеми з продуктивністю при високих навантаженнях та потреба в правильному балансуванні ресурсів.

Ця таблиця підсумовує основні переваги та недоліки віртуальних IP-АТС, відображаючи як позитивні, так і негативні аспекти їх використання. Врахування цих факторів допоможе прийняти обґрунтоване рішення щодо впровадження даної технології, забезпечуючи максимальну вигоду та мінімізуючи потенційні ризики.

Додатковим аспектом, який варто враховувати, є потенційні проблеми з управлінням мережею та маршрутизацією дзвінків. У віртуальних IP-АТС зазвичай використовується програмне маршрутизування, що може призвести до складнощів у керуванні потоками дзвінків та оптимізації маршрутів. Неправильно налаштовані маршрути можуть призвести до затримок у передачі дзвінків, втрати пакетів або навіть до втрати з'єднання. Це особливо критично для компаній з розподіленими офісами або клієнтами в різних регіонах, де важлива якість зв'язку та мінімальні затримки.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Ще однією потенційною проблемою є складність інтеграції з існуючими системами та додатками. Впровадження віртуальних IP-АТС може вимагати змін у вже існуючих бізнес-процесах, наприклад, інтеграції з CRM-системами, Helpdesk-рішеннями або іншими програмами, які використовуються в організації. Це може бути складним завданням, особливо у випадках, коли існуючі системи не підтримують стандартні протоколи зв'язку або вимагають індивідуальних налаштувань для сумісності.

Отже, хоча віртуальні IP-АТС на основі Open Source SIP серверів мають значні переваги, важливо ретельно враховувати та аналізувати потенційні недоліки та проблеми. Залежність від надійності інфраструктури віртуалізації, можливі проблеми з продуктивністю під час пікових навантажень, складність налаштування та забезпечення безпеки є ключовими аспектами, що потребують уваги та професійного підходу. Врахування цих факторів дозволить забезпечити стабільну та ефективну роботу системи, мінімізуючи ризики та забезпечуючи високу якість надання телефонних послуг.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

РОЗДІЛ 2: ВИБІР ТА АНАЛІЗ OPEN SOURCE SIP СЕРВЕРІВ

2.1. Огляд популярних Open Source SIP серверів

FreeSWITCH. Як універсальне рішення для побудови віртуальної IP-АТС, ця платформа забезпечує високий рівень гнучкості та потужності, завдяки своїй архітектурі, побудованій на основі модульності та розширюваності. FreeSWITCH створено для управління масштабованими та багатофункціональними системами VoIP, що дозволяє інтегрувати різноманітні телекомунікаційні сервіси та функціональності без необхідності у складних налаштуваннях.

Реалізація на базі FreeSWITCH відкриває широкі можливості для створення комплексних телефонних систем, що можуть обслуговувати велику кількість одночасних з'єднань з високим рівнем надійності та стабільності. Однією з ключових переваг FreeSWITCH є його здатність працювати в різних операційних середовищах, включаючи Linux, Windows та macOS, що значно спрощує процес розгортання та налаштування системи на будь-якій платформі.

Приклад успішного застосування FreeSWITCH можна знайти в компаніях, що надають послуги колл-центрів та багатоканальних контактних центрів. Завдяки можливості інтеграції з різними базами даних та CRM-системами, FreeSWITCH дозволяє організувати ефективне управління дзвінками, записами розмов та іншими критичними даними. Багато сучасних комерційних рішень побудовані саме на основі цієї платформи через її високу продуктивність та можливість обробки великих обсягів трафіку.

Суттєвою перевагою FreeSWITCH є підтримка широкого спектру протоколів та кодеків, що дозволяє використовувати його в умовах різних телекомунікаційних середовищ. Наприклад, FreeSWITCH може функціонувати як SIP-сервер, забезпечуючи підтримку для SIP-транкінгу, IP-пристроїв та програмних телефонів. Крім того, платформа підтримує протоколи WebRTC, що дає можливість розгорнути веб-базовані рішення для голосового та відеозв'язку.

FreeSWITCH також забезпечує розширені можливості для створення інтерактивних голосових відповідей (IVR) та автоматичних розподільчих систем дзвінків

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

(ACD), що є критично важливими компонентами для сучасних телефонних систем. Застосування Lua, JavaScript, Python та інших мов програмування для написання сценаріїв дає змогу створювати кастомізовані логіки обробки викликів, що відповідають конкретним потребам організації.

З точки зору масштабованості, FreeSWITCH дозволяє гнучко налаштовувати систему під потреби різних бізнес-моделей, від малих підприємств до великих корпорацій. Кластеризація та підтримка розподілених систем дозволяють зберігати високий рівень доступності та відмовостійкості, забезпечуючи безперебійне функціонування навіть при значних навантаженнях.

FreeSWITCH є потужним інструментом для реалізації проєкту віртуальної IP-АТС, забезпечуючи високу функціональність, гнучкість та надійність. Ця платформа здатна задовольнити вимоги як малих, так і великих організацій, пропонуючи широкі можливості для інтеграції та кастомізації телекомунікаційних сервісів.

Вирішальним чинником у виборі Asterisk у складі FreePBX як основи для віртуальної IP-АТС є його виняткова функціональність та гнучкість, що дозволяє реалізувати будь-які задачі, пов'язані з обробкою та маршрутизацією голосового трафіку. Asterisk позиціонується як універсальна платформа для створення телекомунікаційних систем, забезпечуючи повний набір інструментів для реалізації телефонних послуг, включаючи конференц-зв'язок, голосову пошту, IVR та багато іншого.

Серед прикладів успішної реалізації Asterisk можна виділити використання у великих корпоративних системах, де забезпечується масштабована та надійна обробка тисяч одночасних дзвінків. Asterisk підтримує безліч протоколів, таких як SIP, IAX2, MGCP, SCCP та H.323, що дозволяє інтегруватися з різними телекомунікаційними мережами та пристроями. Підтримка широкого спектру кодеків, включаючи G.711, G.722, G.729, GSM, та інших, дозволяє оптимізувати якість звуку та ефективність використання мережевих ресурсів.

Унікальність Asterisk полягає в його здатності інтегруватися з іншими інформаційними системами через API та скриптові інтерфейси. Використання AGI (Asterisk Gateway Interface) та AMI (Asterisk Manager Interface) дозволяє створювати

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

динамічні сценарії обробки дзвінків та інтегрувати їх з базами даних, веб-серверами та іншими додатками. Це робить Asterisk ідеальним вибором для розробки кастомізованих рішень для специфічних бізнес-потреб.

Одним з цікавих прикладів використання Asterisk є його застосування в індустрії контакт-центрів. Завдяки можливостям автоматичного розподілу дзвінків (ACD), інтерактивних голосових відповідей (IVR) та інтеграції з CRM-системами, Asterisk дозволяє організувати ефективну роботу з клієнтами, підвищуючи рівень обслуговування та знижуючи витрати. Багато великих підприємств використовують Asterisk для побудови власних контакт-центрів, що дозволяє значно підвищити їх гнучкість та адаптивність до змін у бізнес-середовищі.

Завдяки відкритому вихідному коду, Asterisk забезпечує високу ступінь налаштовуваності та розширюваності. Це дозволяє розробникам створювати нові модулі та розширення для задоволення специфічних вимог проєктів. Велика спільнота користувачів та розробників Asterisk забезпечує постійну підтримку та оновлення платформи, що гарантує її актуальність та відповідність сучасним вимогам телекомунікаційних технологій.

Asterisk виступає як потужний та гнучкий інструмент для побудови віртуальної IP-АТС, здатний задовольнити широкий спектр потреб у сфері телекомунікацій. Завдяки своїй розширюваності, інтеграційним можливостям та активній спільноті користувачів, Asterisk забезпечує надійну основу для реалізації комплексних телефонних систем.

Elastix — це потужна платформа для мультимедійних комунікацій, яка об'єднує IP-телефонію, відеоконференції, факс та інші засоби зв'язку в єдину систему. Раніше вона базувалася на Asterisk, але з версії 5 платформа перейшла на 3CX [5], що переводить Elastix із розряду Open-source ПЗ у категорію пропрієтарного та комерційного ПЗ.

працює на основі SIP-протоколу, що дозволяє ефективно керувати дзвінками та іншими комунікаціями. Платформа надає можливості для маршрутизації викликів, балансування навантаження та підтримку високої доступності сервісів.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Однією з важливих переваг системи є її легкий у використанні веб-інтерфейс, який дозволяє керувати всіма комунікаційними сервісами не маючи глибоких технічних знань. Це значно спрощує процес адміністрування, дозволяючи компаніям швидко адаптувати систему під свої потреби та знизити витрати на підтримку.

Так як Elastix підтримує відеоконференції та обмін повідомленнями, це робить її універсальним рішенням для усіх типів створюваної мережі. Можливості забезпечують інтеграцію різних форм комунікацій у єдину систему, що особливо корисно для командної роботи.

Безпека є одним з ключових аспектів Elastix. Платформа підтримує шифрування з'єднань і автентифікацію користувачів, що у свою чергу забезпечує високий рівень захисту даних та приватності спілкування, роблячи її надійно захищеним рішенням.

Таким чином, Elastix, що базується на 3CX, є гнучким і ефективним інструментом для уніфікованих комунікацій. Він підходить для бізнесів різного масштабу, які шукають стабільну та безпечну платформу для своїх телефонних та комунікаційних систем.

У додатках представлено таблицю [\[6\]](#), яка порівнює основні можливості Asterisk з іншими популярними Open Source SIP серверами, такими як FreeSWITCH та Elastix

Висновок до огляду популярних Open Source SIP серверів демонструє різноманітність та потужність доступних рішень для побудови віртуальних IP-АТС. Кожна з розглянутих платформ – FreeSWITCH, Asterisk та Elastix – має свої унікальні особливості та переваги, що дозволяють задовольнити специфічні вимоги різних проєктів.

Таким чином, проаналізувавши найпопулярніші Open Source SIP сервери можемо зробити наш вибір відносно до вимог проєкту, таких як масштабність системи, необхідний рівень функціональності, гнучкість налаштувань та інтеграційні можливості. Система побудована на FreePBX здатна забезпечити високу якість та надійність роботи віртуальної IP-АТС, відкриваючи широкі перспективи для впровадження сучасних телекомунікаційних технологій.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Після вибору PBX системи, наступним важливим кроком є порівняння гіпервізорів для розгортання сервера на власному ПК або серверному обладнанні. Використання віртуалізації для запуску PBX-системи, дозволяє більш гнучко керувати ресурсами, забезпечуючи ізольоване середовище для роботи телефонної системи. Це також дає можливість легше масштабувати та адмініструвати сервери, оскільки віртуалізація дозволяє запускати декілька серверів на одному фізичному пристрої, економлячи на обладнанні.

Гіпервізори — це програмні платформи, які дозволяють одночасно запускати кілька операційних систем на одному фізичному сервері, створюючи ізольовані віртуальні машини. Вони поділяються на два типи: гіпервізори першого типу (bare-metal), які безпосередньо працюють з апаратним забезпеченням, та гіпервізори другого типу (hosted), що функціонують на базі існуючої операційної системи. Гіпервізори ефективно розподіляють ресурси між віртуальними машинами, забезпечуючи їхню ізоляцію та безпеку. У процесі розробки проєкту ми зупинилися на використанні гіпервізорів другого типу (hosted), оскільки робота виконується на домашньому ПК. Для нашого випадку ми розглянули кілька популярних рішень для віртуалізації.

є одним із найбільш поширених гіпервізорів, який надає користувачам інтуїтивно зрозумілий інтерфейс і високу продуктивність на системах Windows та Linux, підтримує графіку високої якості, мережеві налаштування.

QEMU з KVM — це потужний інструмент з відкритим вихідним кодом, який дозволяє використовувати апаратне забезпечення на рівні гіпервізора, щоб запускати віртуальні машини. Відомий своєю високою швидкістю та низьким навантаженням на систему хоста.

— комерційний продукт, орієнтований виключно на користувачів macOS, забезпечуючи тісну інтеграцію з операційною системою. Також дозволяє користувачам macOS запускати Windows додатки без необхідності запуску окремої ОС завдяки функції Coherenc.

є безкоштовним рішенням з відкритим кодом, яке підтримує широкий спектр операційних систем як на стороні хоста, так і гостьових систем, і забезпечує високу

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

функціональність для широкого кола користувачів. Порівняння всіх гіпервізорів за ключовими характеристиками виконано у додатку[4].

Враховуючи вимоги до розгортання віртуальної IP-АТС, FreePBX може бути встановлений у вигляді віртуального сервера на будь-якому гіпервізорі 2-го роду. Для цього проєкту, завдяки простоті налаштування та використання, було обрано гіпервізор Oracle VirtualBox. Це забезпечує необхідний рівень ізоляції та безпеки, а також дозволяє легко масштабувати систему в залежності від потреб користувачів.

2.2. Порівняльний аналіз SIP серверів

Однією з найбільш вагомих і значущих складових створення віртуальної IP-АТС є вибір відповідного SIP сервера. Функціональні можливості таких серверів мають вирішальне значення для ефективної обробки телефонних послуг, забезпечення стабільності, масштабованості та зручності адміністрування. Розглянемо детально основні характеристики трьох популярних open source SIP серверів: Asterisk, FreeSWITCH та Elastix, враховуючи їх функціональні можливості та реальні приклади застосування в складних телекомунікаційних системах.

Asterisk є найпоширенішим SIP сервером, відомим своєю гнучкістю та широким спектром підтримуваних протоколів. Його функціональні можливості включають в себе обробку голосових дзвінків, IVR (Interactive Voice Response), конференц-зв'язок, запис дзвінків та інтеграцію з різноманітними CRM-системами. Asterisk активно використовується в корпоративних рішеннях, де необхідна інтеграція з існуючою інфраструктурою, а також в хмарних телефонних системах. Одним з реальних прикладів є впровадження Asterisk у великих компаніях для централізованого управління дзвінками та розподілу викликів між різними відділами. Це дозволяє значно підвищити ефективність внутрішньої та зовнішньої комунікації.

FreeSWITCH, порівняно з Asterisk, забезпечує більш високу продуктивність і краще підходить для сценаріїв з великим навантаженням. Цей сервер підтримує багатопотокову обробку, що дозволяє ефективно масштабувати систему. Функціональні можливості FreeSWITCH включають підтримку різноманітних кодеків, високоякісний звук, відеодзвінки, транскодування та детальне налаштування маршрути-

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

зації дзвінків. FreeSWITCH часто використовується у проєктах з великими обсягами трафіку, таких як сервіси масових розсилок або платформи для проведення вебінарів і відеоконференцій. Завдяки своїй архітектурі, він дозволяє забезпечити безперебійну роботу системи навіть при високих пікових навантаженнях.

відомий своєю здатністю ефективно обробляти сигнальний трафік, забезпечуючи при цьому високу надійність та масштабованість. Це робить його ідеальним рішенням для великих провайдерів VoIP-послуг. Elastix підтримує складні схеми маршрутизації дзвінків, балансування навантаження, управління сесіями та безпекові функції, такі як захист від атак типу DDoS. У практичних сценаріях Elastix використовується для побудови розподілених систем зв'язку, де необхідно забезпечити високу доступність сервісу та гнучке управління трафіком. Наприклад, його можна знайти у великих телекомунікаційних компаніях, що надають послуги SIP-транкінгу та управління голосовими мережами на національному рівні.

Продуктивність та масштабованість є критичними факторами для побудови ефективної віртуальної IP-АТС на основі SIP серверів. Кожен з розглянутих серверів — Asterisk, FreeSWITCH та Elastix — має свої особливості у цьому контексті, що визначає їх придатність для різних сценаріїв використання.

Asterisk, завдяки своїй архітектурі, є достатньо гнучким. У корпоративних середовищах з високою інтенсивністю дзвінків Asterisk часто комбінується з іншими рішеннями, такими як Kamailio, для покращення маршрутизації та управління трафіком. Наприклад, у великій телекомунікаційній компанії, яка обслуговує понад 10 000 одночасних з'єднань, застосування кластера Asterisk у поєднанні з Kamailio дозволяє забезпечити стабільну роботу системи та оптимальне розподілення навантаження.

Kamailio слугує потужним проксі-сервером SIP (Session Initiation Protocol), забезпечуючи ефективну маршрутизацію та обробку SIP-повідомлень у мережах

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Kamailio може ефективно маршрутизувати SIP-повідомлення між клієнтами та серверами. При отриманні SIP INVITE-повідомлення Kamailio може проаналізувати його і визначити відповідний наступний крок, полегшуючи встановлення дзвінка.

Він може розподіляти вхідні SIP-запити між кількома внутрішніми серверами [7], підвищуючи продуктивність і гарантуючи, що жоден сервер не стане вузьким місцем. Це особливо корисно в середовищах з високим трафіком

FreeSWITCH демонструє високий рівень масштабованості та продуктивності завдяки своїй багатопотоковій архітектурі. Тестування показують, що FreeSWITCH може обробляти понад 1000 одночасних дзвінків на сучасному багатоядерному сервері, завдяки використанню оптимізованих алгоритмів обробки сигналів та ефективному управлінню ресурсами. Це робить його ідеальним вибором для проєктів з великим обсягом трафіку, таких як послуги відеоконференцій та великі контакт-центри. У одному з проєктів, що включав підтримку відеодзвінків для міжнародної компанії з 5000 співробітників, FreeSWITCH забезпечив стабільну роботу системи навіть під час пікових навантажень, дозволяючи одночасно проводити декілька сотень відеозустрічей без втрати якості зв'язку.

Аналіз продуктивності та масштабованості SIP серверів показує, що кожен з них має свої сильні сторони та оптимальні сфери застосування. Asterisk підходить для середніх та великих корпоративних рішень з можливістю горизонтального масштабування. FreeSWITCH є ідеальним вибором для проєктів з високими вимогами до продуктивності та обробки мультимедійного контенту. Elastix забезпечує найвищий рівень масштабованості та продуктивності для великих телекомунікаційних систем, що потребують складних механізмів маршрутизації та управління трафіком. Вибір відповідного сервера залежить від конкретних вимог проєкту, обсягів трафіку та необхідних функціональних можливостей, що дозволить створити оптимальну віртуальну IP-АТС для задоволення потреб користувачів та забезпечення стабільної роботи системи у різних умовах експлуатації.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Ретельний аналіз підтримки та документації SIP серверів є критичним для успішного впровадження та підтримки віртуальної IP-АТС. Підтримка та документація можуть суттєво вплинути на швидкість розгортання, налаштування та підтримки системи, а також на вирішення проблем, що виникають під час експлуатації. Розглянемо підтримку та документацію трьох ключових SIP серверів: Asterisk, FreeSWITCH та Elastix, порівнюючи їх у контексті доступності ресурсів, активності спільноти та якості супровідної документації.

Asterisk має одну з найактивніших і найрозгалуженіших спільнот серед open source SIP серверів. Проєкт підтримується компанією Sangoma, що забезпечує комерційну підтримку, розробку нових функцій та виправлення помилок. Офіційна документація Asterisk включає детальні керівництва з встановлення, налаштування, програмування діалпланів, інтеграції з іншими системами та багато іншого. Документація регулярно оновлюється і доступна безкоштовно на офіційному вебсайті. Крім того, існують численні навчальні курси, відеоуроки та книги, що охоплюють всі аспекти роботи з Asterisk. Форум Asterisk та інші онлайн-спільноти є активними майданчиками для обміну досвідом та вирішення проблем, що дозволяє швидко знайти відповіді на більшість питань. Важливим фактором є також наявність великої кількості прикладів та шаблонів конфігурацій, які значно полегшують процес впровадження.

FreeSWITCH також має активну спільноту та надійну підтримку, але дещо поступається Asterisk за розмірами спільноти. Офіційна документація FreeSWITCH охоплює широкий спектр тем, включаючи встановлення, налаштування та програмування. Вона доступна на офіційному сайті проєкту і містить численні приклади конфігурацій та сценаріїв використання. Важливою особливістю є наявність комерційної підтримки від SignalWire, компанії, що займається розвитком FreeSWITCH. Це дозволяє отримати професійну допомогу у вирішенні складних питань та налаштуванні системи під специфічні потреби бізнесу. Навчальні матеріали включають відеоуроки, вебінари та технічні конференції, що сприяють обміну знаннями та досвідом серед користувачів.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Аналізуючи підтримку та документацію цих трьох SIP серверів, можна зробити висновок, що всі вони забезпечують високий рівень доступності інформації та ресурсів для користувачів. Asterisk виділяється завдяки своїй великій та активній спільноті, а також наявності численних навчальних матеріалів. FreeSWITCH пропонує міцну підтримку з боку SignalWire та високоякісну документацію, що робить його відмінним вибором для проєктів з високим навантаженням.

Усі три розглянуті SIP сервери мають свої унікальні переваги і можуть бути адаптовані до специфічних вимог проєкту. Для ефективної реалізації віртуальної IP-АТС необхідно ретельно оцінити функціональні можливості кожного сервера, враховуючи потреби конкретного застосунку, обсяги трафіку, вимоги до надійності та масштабованості. Такий підхід дозволить створити надійну та ефективну систему, яка задовольнить потреби кінцевих користувачів та забезпечить стабільну роботу у різноманітних умовах експлуатації.

2.3. Вибір SIP сервера для проєкту

У динамічному світі IP-телефонії, де вимоги до надійності, масштабованості та функціональності систем невинно зростають, вибір відповідного SIP сервера стає ключовим аспектом успішної реалізації проєкту. Сучасні рішення повинні відповідати найвищим стандартам безпеки, підтримувати широкі можливості інтеграції та забезпечувати стабільну роботу під навантаженням. У цьому контексті особливу увагу привертають такі Open Source SIP сервери, як Asterisk(FreePBX), FreeSWITCH та Elastix, які вже зарекомендували себе на ринку завдяки своїм унікальним технічним характеристикам та широкому спектру можливостей.

Asterisk є одним із найбільш популярних рішень у сфері IP-телефонії. Його відзначають за потужну архітектуру, яка дозволяє інтегрувати різноманітні телекомунікаційні протоколи, такі як SIP, IAX, H.323 та інші. Важливою особливістю Asterisk є його гнучкість у налаштуванні та багатий набір функцій, включаючи підтримку голосової пошти, конференц-зв'язків, IVR систем та інше. Наприклад, компанія Digium, що створила Asterisk, активно використовує його для побудови корпоративних телефонних систем, забезпечуючи таким чином високу якість зв'язку та ефективне управління викликами.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

FreeSWITCH, з іншого боку, представляє собою високопродуктивну платформу для побудови масштабованих VoIP систем. Цей сервер відомий своєю модульною архітектурою та підтримкою широкого спектру протоколів і кодеків, що дозволяє адаптувати його під специфічні вимоги проєкту. FreeSWITCH використовується багатьма великими компаніями для створення складних комунікаційних систем, які потребують високої стійкості та продуктивності. Як приклад, компанія SignalWire, заснована розробниками FreeSWITCH, успішно реалізує численні проєкти у сфері телекомунікацій, підтверджуючи таким чином надійність та ефективність цього рішення.

займає особливе місце серед SIP серверів завдяки своїй простоті у використанні та масштабованості. Elastix може обробляти тисячі одночасних з'єднань, що робить його ідеальним вибором для великих операторів зв'язку та провайдерів послуг VoIP. Його архітектура дозволяє легко інтегруватися з іншими системами та підтримувати складні сценарії обробки викликів.

Для проєкту віртуальної IP-АТС на основі Open Source SIP Server було проведено детальний аналіз вищезазначених рішень. Враховуючи специфіку завдання, було вирішено обрати Asterisk(FreePBX) як основний SIP сервер для даного проєкту. Це рішення обумовлено його багатофункціональністю, високою адаптивністю та доведеною на практиці здатністю ефективно працювати в різних умовах експлуатації. Asterisk дозволяє легко налаштовувати і керувати всіма аспектами IP-АТС, забезпечуючи при цьому високу якість зв'язку та надійність системи.

, обраний як основний SIP сервер для даного проєкту, пропонує багатий набір функцій, що робить його надзвичайно привабливим для створення віртуальної IP-АТС. Розглянемо ключові функції цього сервера, які забезпечують його популярність та ефективність у вирішенні завдань IP-телефонії.

Однією з найважливіших функцій Asterisk є його здатність підтримувати різноманітні телекомунікаційні протоколи. Це включає підтримку SIP, IAX, H.323, MGCP та SCCP, що дозволяє інтегрувати Asterisk у будь-яке телекомунікаційне середовище. Згідно зі звітами компанії Digium, використання Asterisk дозволило знизити витрати на телекомунікаційні послуги на 50% у порівнянні з традиційними

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

телефонними системами. Така гнучкість у протоколах забезпечує безшовну інтеграцію з існуючими системами та дозволяє з легкістю додавати нові функції.

Функціональність IVR (Interactive Voice Response) є ще одним важливим аспектом, який робить Asterisk незамінним у сфері IP-телефонії. IVR системи дозволяють автоматизувати взаємодію з абонентами, надаючи можливість самостійно вибирати необхідні послуги через голосове меню. Це значно підвищує ефективність обслуговування клієнтів і знижує навантаження на операторів кол-центрів. Наприклад, компанія Marriott International використовує Asterisk для обробки мільйонів дзвінків щомісяця, автоматизуючи процес бронювання номерів через IVR, що дозволяє значно скоротити час обробки запитів клієнтів.

Підтримка голосової пошти (Voicemail) є ще однією ключовою функцією Asterisk. Система Voicemail дозволяє користувачам залишати голосові повідомлення, які можуть бути збережені та відтворені у зручний для користувача час. Це особливо корисно для бізнесу, де важливо не пропускати жодного дзвінка. Згідно з дослідженням, проведеним VoIP-Info.org, впровадження системи голосової пошти на базі Asterisk підвищило рівень задоволеності клієнтів на 30%, оскільки забезпечило безперервний зв'язок та можливість оперативного реагування на запити.

Конференц-зв'язок є ще однією важливою функцією, яку підтримує Asterisk. Ця функція дозволяє проводити багатокористувацькі конференції, що особливо актуально для бізнесу та організацій з розподіленою структурою. Asterisk підтримує створення багатоканальних конференцій з можливістю управління учасниками та запису розмов. Наприклад, компанія General Electric використовує Asterisk для проведення внутрішніх конференцій між офісами, що розташовані в різних частинах світу, забезпечуючи таким чином ефективну комунікацію та координацію дій.

Безпека є критичним аспектом у будь-якій телекомунікаційній системі, і Asterisk забезпечує високий рівень захисту даних. Сервер підтримує шифрування трафіку за допомогою протоколів TLS та SRTP, що гарантує конфіденційність переданої інформації. Згідно з дослідженням, проведеним компанією Digium, впровадження захищених комунікаційних каналів на базі Asterisk знизило кількість інцидентів, пов'язаних із витоком даних, на 40%.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Інтеграція з базами даних є ще однією сильною стороною Asterisk. Сервер підтримує роботу з різними базами даних, такими як MySQL(y FreePBX), PostgreSQL та SQLite, що дозволяє зберігати та аналізувати великі обсяги даних, пов'язаних із дзвінками, конфігураціями та іншою інформацією. Це забезпечує можливість створення розширених звітів та аналітики, що є важливим для прийняття управлінських рішень.

Крім основних функцій, Asterisk пропонує ще ряд важливих можливостей, які варто детально розглянути. До них належать розширені можливості маршрутизації викликів, підтримка різних кодеків для стиснення та передачі голосу, інтеграція з веб-сервісами, а також можливості розширення функціоналу за допомогою модулів.

Маршрутизація викликів є однією з ключових функцій Asterisk, яка дозволяє оптимізувати процес обробки дзвінків. Завдяки гнучким налаштуванням маршрутизації, Asterisk може перенаправляти виклики на основі різних критеріїв, таких як номер абонента, час доби, наявність вільних операторів тощо. Це забезпечує ефективне використання ресурсів та підвищує якість обслуговування клієнтів. Наприклад, компанія DHL використовує Asterisk для маршрутизації дзвінків у своїх кол-центрах, що дозволяє швидко обробляти запити клієнтів та забезпечувати високий рівень сервісу.

Підтримка різних кодеків є ще однією важливою особливістю Asterisk. Сервер підтримує широкий спектр кодеків, включаючи G.711, G.722, G.729, GSM, Speex та інші. Це дозволяє оптимізувати якість звуку та ефективно використовувати пропускну здатність мережі. Наприклад, використання кодека G.729 забезпечує високу якість звуку при низькій швидкості передачі даних, що є критичним для компаній з обмеженими мережевими ресурсами.

Інтеграція з веб-сервісами є ще однією важливою функцією Asterisk. Сервер підтримує інтеграцію з різними веб-сервісами через API, що дозволяє створювати складні комунікаційні рішення. Наприклад, компанія Salesforce використовує Asterisk для інтеграції своєї CRM-системи з телефонією, що дозволяє операторам

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

отримувати інформацію про клієнта безпосередньо під час дзвінка та підвищує ефективність обслуговування.

Можливості розширення функціоналу за допомогою модулів є ще однією сильною стороною FreePBX. Сервер має відкриту архітектуру, що дозволяє додавати нові функції через встановлення модулів. Це забезпечує гнучкість у налаштуванні системи та можливість адаптації її під специфічні вимоги бізнесу. Наприклад, компанія Panasonic використовує модульну архітектуру Asterisk для створення кастомізованих рішень для своїх корпоративних клієнтів.

Для наочного уявлення про функції та можливості Asterisk, було представлено дані структурованою таблицею у додатках [\[8\]](#)

Таким чином, Asterisk пропонує багатий набір функцій та можливостей, які роблять його ідеальним вибором для створення віртуальної IP-АТС. Його здатність підтримувати різні протоколи, забезпечувати автоматизацію обслуговування, надавати високий рівень безпеки та інтеграцію з базами даних, а також можливості розширення функціоналу роблять його потужним інструментом для реалізації складних телекомунікаційних рішень.

Отже, вибір Asterisk(FreePBX) як SIP сервера для даного проєкту є обґрунтованим та логічним кроком, що забезпечить реалізацію всіх вимог до функціональності, масштабованості та надійності віртуальної IP-АТС.

РОЗДІЛ 3: РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЄКТУ ВІРТУАЛЬНОЇ IP-АТС

3.1. Планування та підготовка до реалізації

Сучасний розвиток інформаційних технологій вимагає впровадження гнучких і масштабованих рішень для організації корпоративної телефонії. Використання віртуальних IP-АТС на базі FreePBX SIP Server є одним із найбільш ефективних способів забезпечення зв'язку в умовах високої навантаженості і складної топології мережі. Для реалізації такого проєкту необхідно детально спланувати процес впровадження та підготовки, що включає вибір обладнання та програмного забезпечення, визначення ролей серверів, а також їх взаємодію.

Найважливішим етапом підготовки є вибір відповідної платформи для віртуалізації, яка забезпечить стабільність і гнучкість роботи. Oracle VirtualBox виступає

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

оптимальним рішенням для розгортання даного проєкту завдяки своїй безкоштовній доступності, широким функціональним можливостям та підтримці різних операційних систем. Використання VirtualBox дозволяє створити кілька віртуальних машин на одній фізичній машині, що значно знижує вартість інфраструктури та спрощує її управління.

В якості СУБД можна використати MySQL, PostgreSQL або іншу реляційну базу даних з відкритим вихідним кодом, яка забезпечить високу продуктивність та надійність, але так як дистрибутив FreePBX йде з встановленим MySQL то саме ця база даних і буде нашим вибором для полегшення виробничого процесу.

Реальні приклади застосування віртуальних IP-АТС демонструють їх ефективність в різних галузях. Наприклад, в умовах великого підприємства з численними офісами в різних регіонах країни віртуальна IP-АТС дозволяє об'єднати всі філії в єдину телефонну мережу, що значно знижує витрати на міжміський та міжнародний зв'язок. Крім того, така система забезпечує гнучкість в управлінні номерами та дзвінками, дозволяючи легко додавати нових користувачів та розширювати функціонал без значних затрат.

В умовах малого та середнього бізнесу віртуальна IP-АТС дозволяє знизити витрати на телефонію за рахунок використання інтернет-зв'язку замість традиційних телефонних ліній. Це особливо актуально для компаній, що працюють в сфері інформаційних технологій та надання консультаційних послуг, де якість зв'язку і можливість швидкої зміни конфігурації системи є критично важливими факторами.

Інфраструктура мережі є основою для успішного функціонування віртуальної IP-АТС на базі FreePBX SIP Server. Відповідне планування і побудова мережевої інфраструктури забезпечує не лише надійність і безпеку зв'язку, але й дозволяє оптимізувати використання ресурсів та підвищити продуктивність системи

Для ілюстрації важливості правильної інфраструктури мережі можна навести приклад великої компанії з численними офісами в різних регіонах. В такому випадку, правильна маршрутизація та оптимізація трафіку є критичними для забезпечення надійного і якісного зв'язку.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Інфраструктура мережі віртуальної IP-АТС повинна бути не тільки надійною і безпечною, але й достатньо масштабованою для задоволення зростаючих потреб бізнесу. Важливим аспектом планування мережевої інфраструктури є використання сучасних технологій для забезпечення високої продуктивності та ефективності системи. Крім цього, необхідно передбачити засоби для моніторингу та управління мережею, щоб своєчасно виявляти та усувати можливі проблеми.

Одним з важливих елементів мережевої інфраструктури є використання VLAN (Virtual Local Area Network) для сегментації мережі. VLAN дозволяють розділити фізичну мережу на логічні сегменти, що забезпечує підвищення безпеки і продуктивності. Наприклад, сервери, що обробляють телефонні дзвінки, можуть бути розміщені в окремій VLAN, що дозволяє ізолювати їх від інших серверів і зменшити ризик несанкціонованого доступу. Використання VLAN також спрощує управління мережею і забезпечує можливість гнучкого масштабування.

Для забезпечення високої пропускнуої здатності і мінімізації затримок важливо використовувати сучасні мережеві комутатори з підтримкою технологій, таких як QoS (Quality of Service) та PoE (Power over Ethernet). QoS дозволяє пріоритизувати трафік в мережі, що є критично важливим для забезпечення якісного зв'язку в IP-АТС. Наприклад, голосовий трафік може бути налаштований з високим пріоритетом, щоб забезпечити мінімальну затримку і відсутність втрат пакетів. Використання комутаторів з підтримкою PoE спрощує інсталяцію мережевого обладнання, такого як IP-телефони, забезпечуючи їх живлення через мережевий кабель.

У контексті маршрутизації важливо враховувати не лише внутрішню маршрутизацію між сегментами мережі, але й зовнішню маршрутизацію до інтернету та інших зовнішніх ресурсів. Використання динамічних протоколів маршрутизації, таких як OSPF (Open Shortest Path First) або BGP (Border Gateway Protocol), дозволяє автоматично налаштовувати маршрути і адаптуватися до змін у топології мережі. Це особливо важливо для великих підприємств з розподіленою інфраструктурою, де зміни в одній частині мережі можуть впливати на інші сегменти.

Для забезпечення безпеки мережі необхідно використовувати сучасні засоби захисту, такі як міжмережеві екрани (файрволи) і системи виявлення та запобігання

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

вторгненням (IDS/IPS). Міжмережеві екрани дозволяють контролювати доступ до мережі і блокувати несанкціоновані спроби підключення, забезпечуючи захист від зовнішніх загроз. Системи IDS/IPS дозволяють виявляти підозрілу активність і запобігати атакам у реальному часі. Важливо також налаштувати політики безпеки, що включають регулярні оновлення програмного забезпечення, моніторинг мережевої активності та аудит безпеки.

Значна роль у побудові надійної мережевої інфраструктури відводиться використанню резервних каналів зв'язку та механізмів відмовостійкості. Наприклад, можна використовувати технологію WAN Load Balancing для розподілу навантаження між кількома інтернет-каналами, забезпечуючи таким чином безперервність зв'язку навіть у випадку виходу з ладу одного з каналів. Для підвищення відмовостійкості також можна використовувати кластеризацію серверів, що дозволяє автоматично переключатися на резервний сервер у випадку збою основного.

Моніторинг мережевої інфраструктури є критично важливим для забезпечення стабільної роботи системи. Використання систем моніторингу передвстановлених у FreePBX дозволяє відслідковувати стан мережевих пристроїв, серверів і додатків у режимі реального часу. Це забезпечує можливість своєчасного виявлення і усунення проблем, запобігаючи простою і втраті даних. Системи моніторингу можуть надсилати сповіщення у разі виявлення аномалій, що дозволяє адміністраторам швидко реагувати на інциденти.

Окрім мережевої інфраструктури, слід також враховувати вплив різних мережевих протоколів та технологій на загальну продуктивність і надійність системи. Важливо детально розглянути використання таких протоколів, як SIP (Session Initiation Protocol), RTP (Real-time Transport Protocol) та SRTP (Secure Real-time Transport Protocol), які забезпечують основні функції IP-АТС.

SIP є основним протоколом для встановлення, зміни та завершення сеансів мультимедійного зв'язку, таких як голосові дзвінки і відеоконференції. Використання SIP забезпечує сумісність між різними пристроями і програмним забезпеченням, що дозволяє інтегрувати систему IP-АТС з існуючою інфраструктурою. SIP-

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

сервер, відповідає за маршрутизацію дзвінків, обробку сигналів і керування сеансами зв'язку. Для підвищення безпеки і захисту від несанкціонованого доступу, важливо реалізувати механізми аутентифікації і шифрування сигналів.

RTP використовується для передачі аудіо- і відео-даних в реальному часі, забезпечуючи низьку затримку і високу якість передачі. Для захисту RTP-трафіку від прослуховування і маніпуляцій використовується SRTP, який забезпечує шифрування даних та аутентифікацію джерела. Реалізація SRTP є особливо важливою в умовах корпоративної телефонії, де конфіденційність і цілісність переданих даних мають критичне значення. Наприклад, під час проведення відеоконференцій або передачі конфіденційної інформації забезпечення захисту даних стає першочерговим завданням.

Для забезпечення безперебійної роботи і високої доступності системи IP-АТС необхідно впровадити механізми відмовостійкості та резервування.

Однією з найважливіших задач є управління якістю обслуговування (QoS) в мережі, що забезпечує пріоритизацію критично важливого трафіку. Налаштування QoS дозволяє гарантувати, що голосовий і відео-трафік отримують необхідні ресурси і не зазнають затримок або втрат. Це особливо важливо в умовах високої навантаженості мережі, де неконтрольоване зростання трафіку може призвести до погіршення якості зв'язку.

Впровадження інтелектуальних систем управління трафіком, таких як SD-WAN (Software-Defined Wide Area Network), дозволяє оптимізувати використання мережевих ресурсів і забезпечити високу продуктивність системи. SD-WAN використовує програмне забезпечення для централізованого управління мережею, забезпечуючи динамічне налаштування маршрутів і пріоритетів трафіку. Це дозволяє швидко адаптуватися до змін у навантаженні і забезпечити високу якість обслуговування.

Системи моніторингу надають можливість в режимі реального часу відслідковувати стан серверів, мережевих пристроїв і додатків, забезпечуючи своєчасне виявлення і усунення проблем. Наприклад, в разі збою одного з серверів або перевищення допустимого рівня навантаження, система моніторингу може автоматично

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

надіслати сповіщення адміністраторам і вжити необхідних заходів для усунення проблеми.

Система збору і аналізу логів, дозволяє централізувати збирання і аналізувати логи з усіх компонентів системи IP-АТС.

Це забезпечує можливість детального аналізу подій, виявлення аномалій і вирішення проблем. Використання таких інструментів дозволяє підвищити ефективність управління системою і забезпечити високу якість обслуговування.



Рисунок 3.1 - Система збору і аналізу логів FreePBX

Розглядаючи реальні приклади впровадження таких рішень, можна звернути увагу на великі телекомунікаційні компанії, які використовують подібні системи для забезпечення високоякісного зв'язку і безпеки даних. Наприклад, впровадження IP-АТС на базі Open Source SIP Server дозволяє таким компаніям забезпечити гнучкість і масштабованість своїх мережевих рішень, знижуючи витрати і підвищуючи ефективність роботи.

Таким чином, правильне планування і побудова мережевої інфраструктури є критично важливими для успішної реалізації проєкту віртуальної IP-АТС на базі Open Source SIP Server. Інтеграція таких інструментів у процес розробки та впровадження дозволяє знизити ризики і забезпечити успішну реалізацію проєкту.

3.2. Встановлення та налаштування SIP сервера

Серед численних інструментів, що використовуються для реалізації IP-телефонії, Asterisk виділяється своєю гнучкістю та масштабованістю. Початкове налаштування серверу вимагає комплексного підходу, що включає встановлення основних компонентів, налаштування мережевих параметрів та інтеграцію з іншими сервісами.

На початку слід підготувати серверну платформу для розгортання. Використання Oracle VirtualBox для віртуалізації забезпечує необхідний рівень ізоляції та дозволяє створити декілька віртуальних машин для тестування системи.

Першим етапом завантажимо дистрибутив FreePBX з офіційного сайту [9]

Наступним етапом встановимо дистрибутив FreePBX, що адаптований розробниками для використання на ОС Sangoma 7.8.

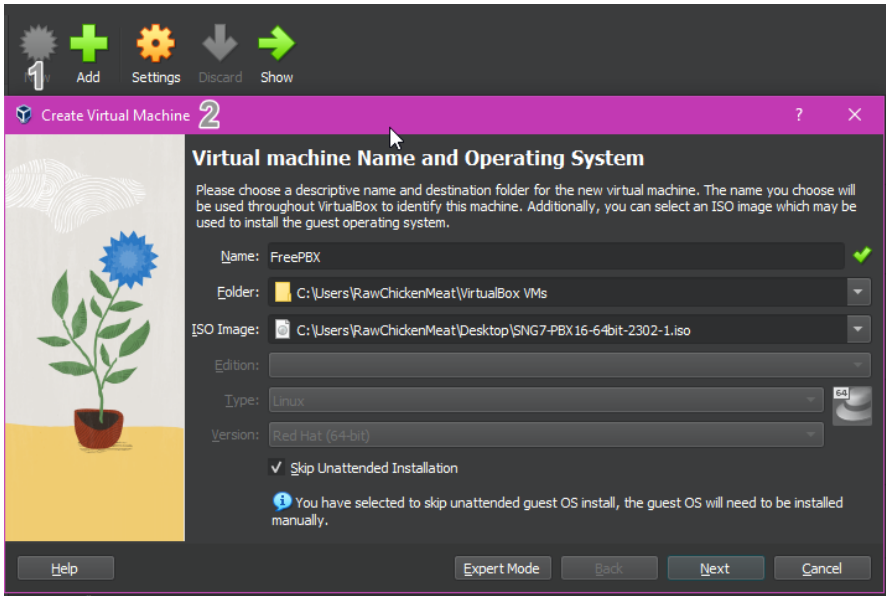


Рисунок 3.2 - Меню створення віртуальної машини

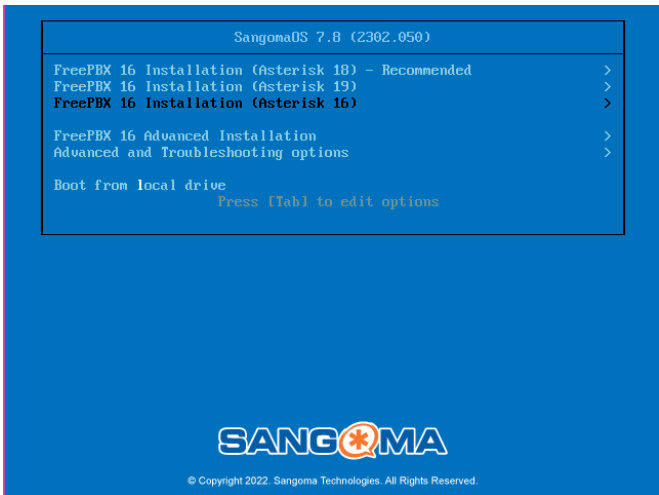


Рисунок3.3 - Меню обрання версії Asterisk

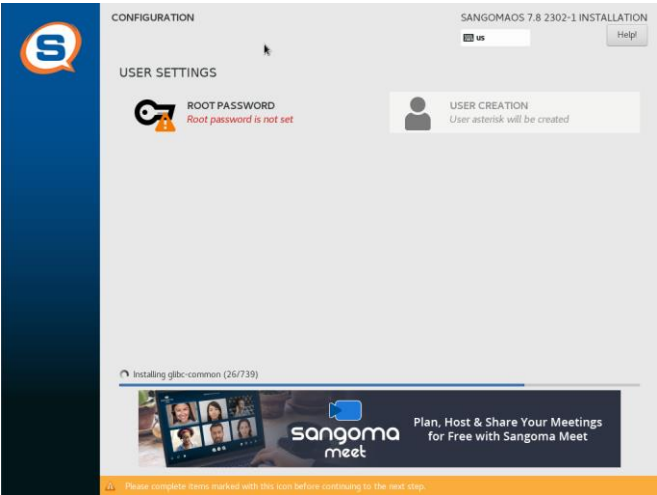


Рисунок 3.4 - Процес встано-

влення

Перед початком інсталяції Asterisk необхідно спочатку встановити пароль root користувача.

Після встановлення та запуску машини, дізнаємося її IP-адресу та підключимося для базового налаштування

```

2: eth0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc pfifo_fast s
n 1000
    link/ether 08:00:27:ed:96:31 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
    inet 192.168.3.9/24 brd 192.168.3.255 scope global dynamic eth0
        valid_lft 863999938sec preferred_lft 863999938sec
    inet6 fe80::a00:27ff:feed:9631/64 scope link
        valid_lft forever preferred_lft forever
[root@freepbx ~]# ip a

```

Рисунок 3.5 - команда «ip a» та її вивід

Доступ до терміналу FreePBX можна отримати у вікні самої віртуальної машини, але для зручності використаємо SSH для підключення з машини хосту.

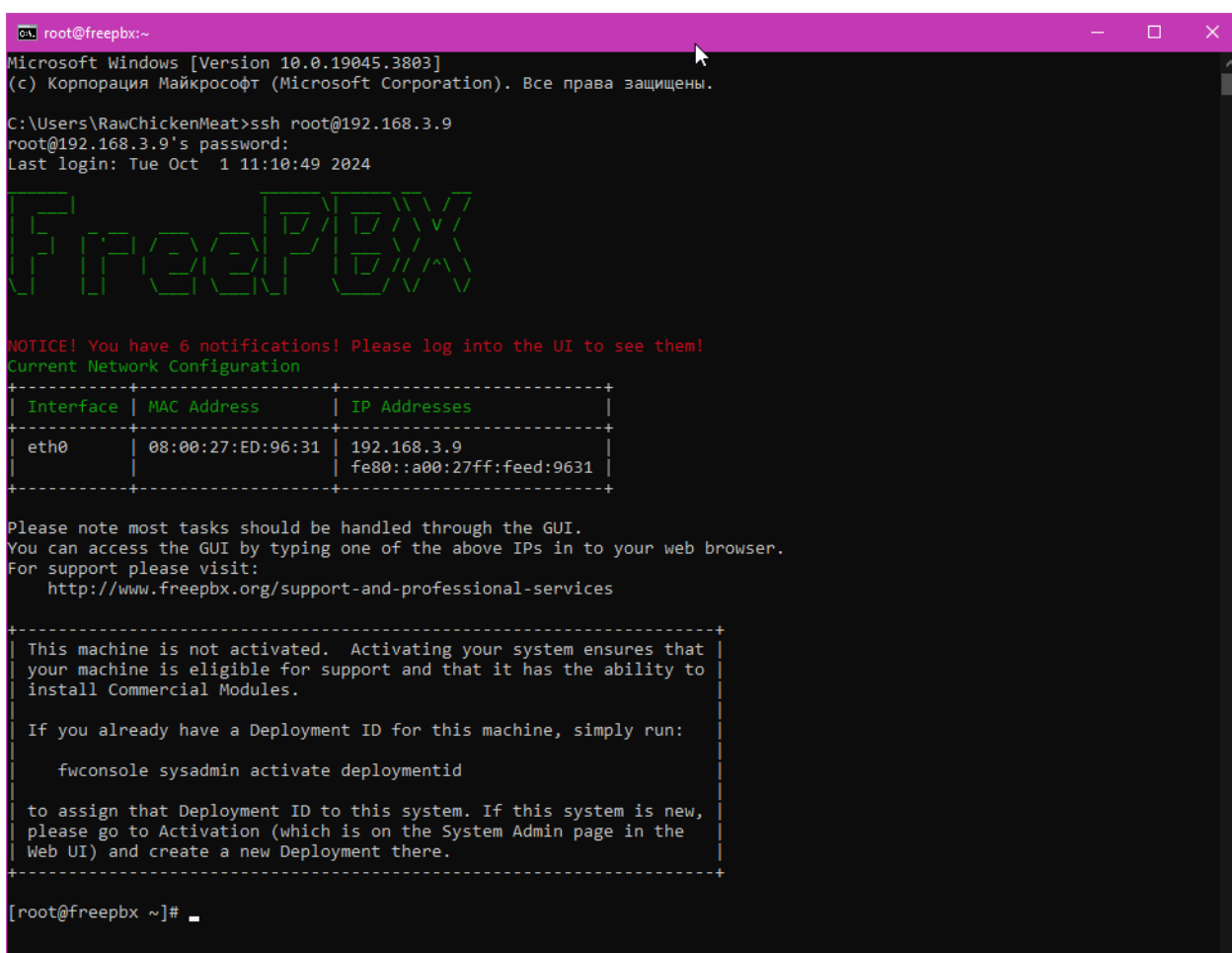


Рисунок 3.6 - Підключення до терміналу через SSH

Задля безпеки налаштуємо сервіс(демон) **Intrusion Detection** який буде блокувати вхідні підключення з IP адреси у разі введення неправильних авторизаційних даних.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

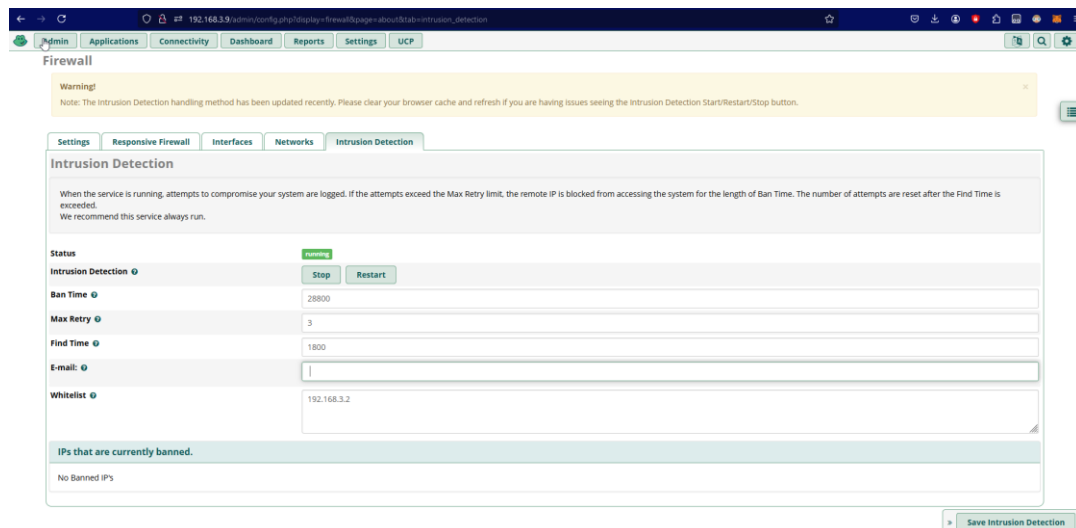


Рисунок 3.7 - Меню конфігурування сервісу **Intrusion Detection**

Час у секундах, протягом якого забороняється IP-адреса потенційного зловмисника, після виходу цього часу IP адреса знову дозволяється. Встановлено на 8 годин

Це кількість спроб потенційного зловмисника протягом часу пошуку(find time), перш ніж його IP адреса буде заблокована. Встановлено значення у 3 спроби.

Період часу до скидання невдалих спроб на 0. За замовчуванням = 600 секунд (10 хвилин). Наприклад, якщо максимальна повторна спроба встановлена на 8, система заборонить будь-яку IP-адресу, яка ввела невірні дані 8 разів протягом 10-хвилинного періоду. Більшість сканерів(bruteforce) спалюють спроби за лічені секунди.

Електронна адреса для надсилань сповіщень про виявлення спроб вторгнення.

Це список адрес/мереж, які можуть обійти наведені вище обмеження та не будуть заблоковані при неправильному введенні даних.

Реалізуємо заборону на гостей та анонімні дзвінки.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47



Рисунок 3.8 - Меню конфігурування безпекових налаштувань SIP

3.3. Реалізація основних функцій IP-АТС

Організація та управління користувачами віртуальної IP-АТС, побудованої на основі FreePBX сервера, є критично важливим аспектом функціональності системи. Застосування технології SIP дозволяє забезпечити високий рівень масштабованості та гнучкості при розгортанні телефонних сервісів.

Створимо перший внутрішній номер, для цього, перейдемо на вкладку

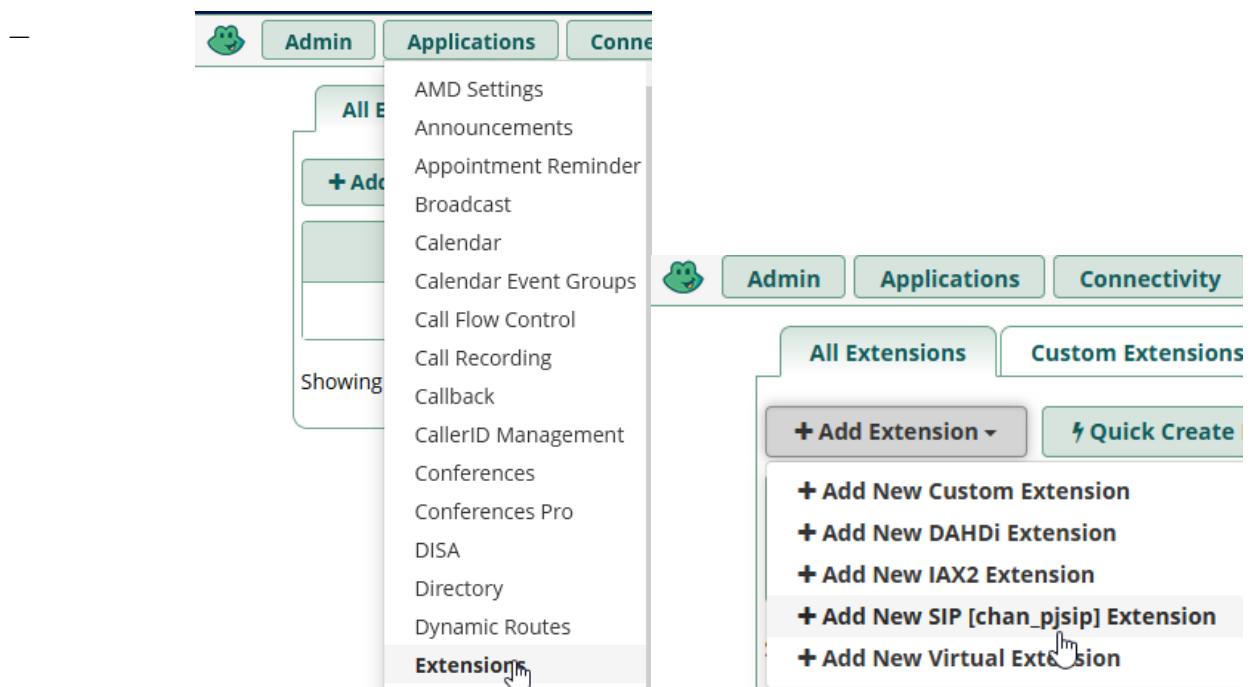


Рисунок 3.9 - Навігація по інтерфейсу для створення внутрішнього номеру

Рисунок 3.10 - Меню створення внутрішнього номеру.

Вказуємо номер, ім'я та пароль(secret), далі перейдемо в додаткові налаштування для резервування номеру під виділену IP адресу пристрою з якого буде відбуватися вхід під цим номером.

Для цього переходимо на вкладку **Advanced** та у секції **Add extension** знаходимо пункт Match(permit)

Рисунок 3.11 - пункт Match (permit)

Вказуємо адресу пристрою якому дозволено використовувати створюваний номер та додаємо 32 маску підмережі.

Також увімкнемо запис дзвінків.

Рисунок 3.12 - Параметри запису дзвінків для номеру

Застосуємо всі введені налаштування та застосуємо нову конфігурацію Asterisk

Рисунок 3.13 - Кнопка підтвердження внесених змін.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49



Рисунок 3.14 - Кнопка застосування конфігураційного файлу.

Аналогічно створимо другий номер для перевірки наявності зв'язку між ними.

All Extensions

Custom Extensions

DAHDI Extensions

IAX2 Extensions

SIP [chan_pjsip] Extensions

Virtual Extensions

+ Add Extension -

+ Quick Create Extension

✖ Delete

Search

↺

📄

⌵

☐	Extension	Name	CW	DND	FM/FM	CF	CFB	CFU	Type	Actions
☐	1003	Phone	☒	☐	☐	☐	☐	☐	pjsip	
☐	101	PC main	☒	☐	☐	☐	☐	☐	pjsip	

Showing 1 to 2 of 2 rows

Рисунок 3.15 - Список створених номерів

Після внесення змін та перезавантаження Asterisk-у приступимо до підключення софтфону до нашого серверу.

На платформі Windows використаємо програму Microsip, для системи Android -

Додамо акаунт у програму Microsip.

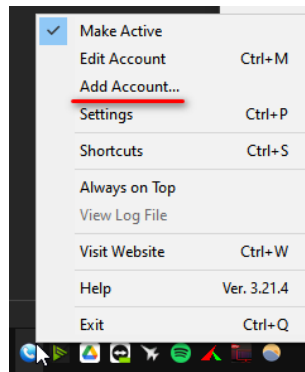


Рисунок 3.16 - Контекстне меню Microsip з трею.

Внесемо необхідні програмі дані та перевіримо чи є підключення софтфону до серверу.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Рисунок 3.17 - MicroSIP налаштування

Рисунок 3.18 - MizuDroid налаштування

Перевіримо чи встановилося з'єднання з сервером, для цього перейдемо у вкладку у вебінтерфейсі FreePBX

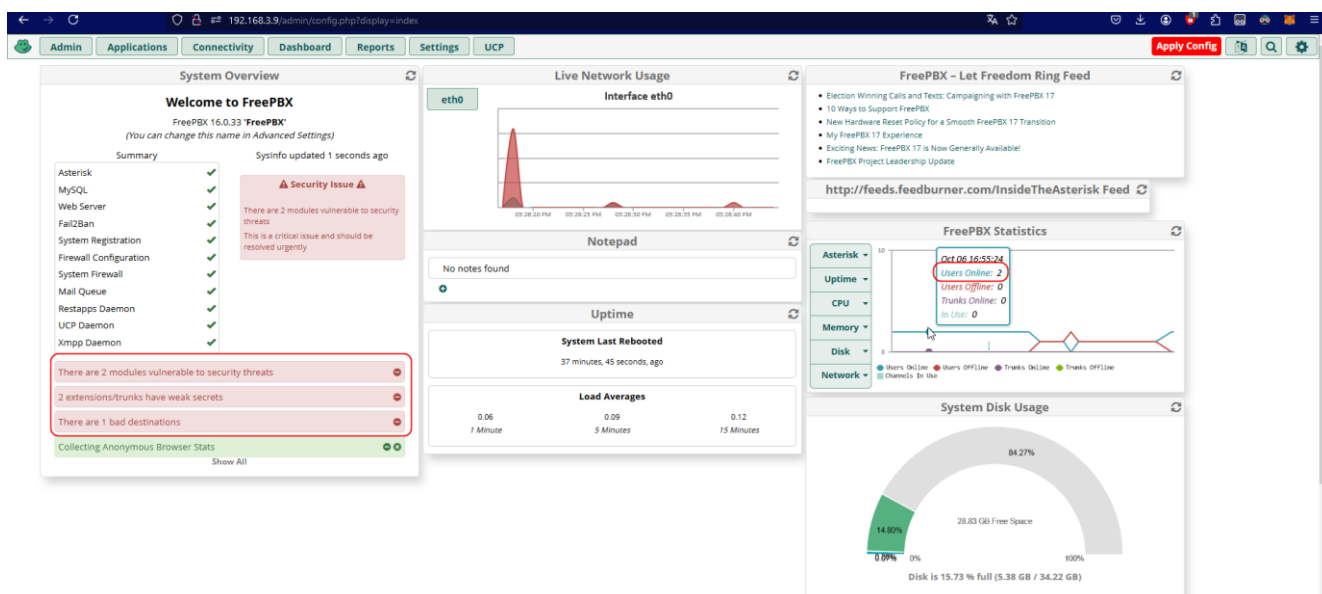


Рисунок 3.19 - Dashboard(Дошка моніторингу) FreePBX

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як бачимо обидва клієнти успішно підключилися до серверу, але перед дзвінком вирішимо проблеми які відображаються на панелі **System Overview**, а саме оновимо застарілі модулі, змінимо «слабкі» паролі та налаштуємо політику дій щодо дзвіків з номерів у чорного списку.

Для оновлення модулів перейдемо до вкладки **Admin - Module Admin**

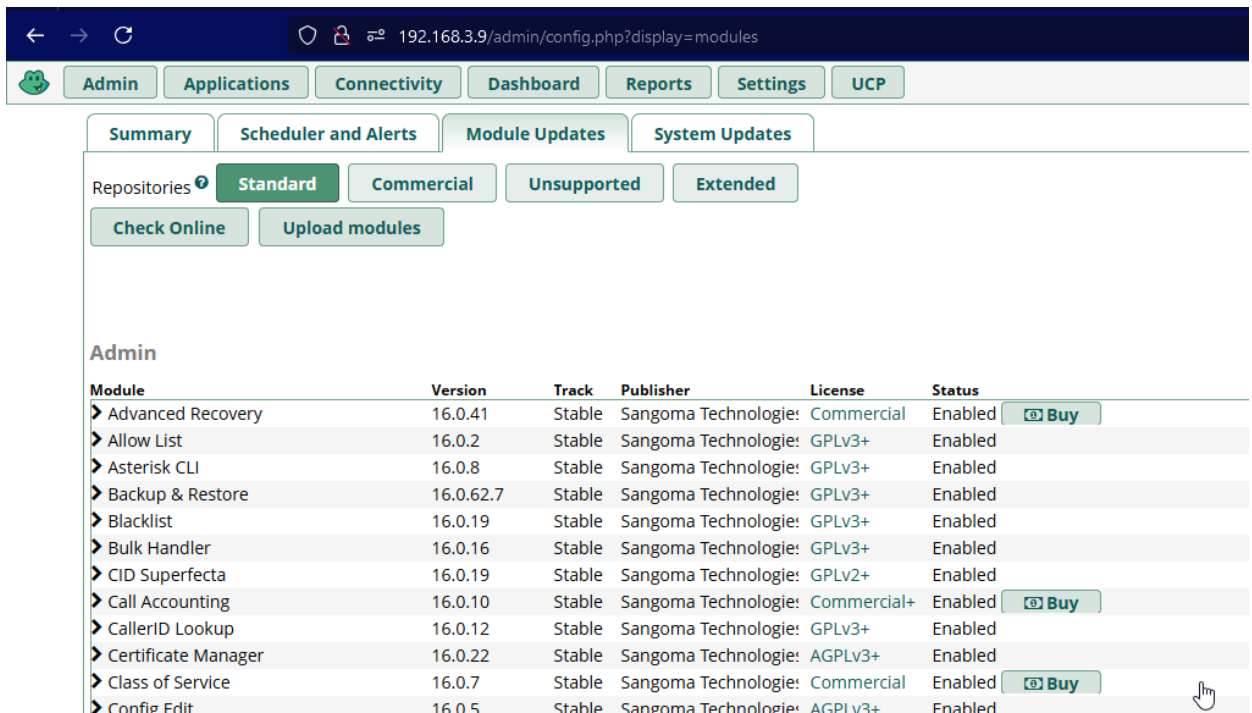


Рисунок 3.20 - Вигляд вкладки **Module Admin**

Перевіримо які саме модулі потребують оновлень натиснувши кнопку **Check**

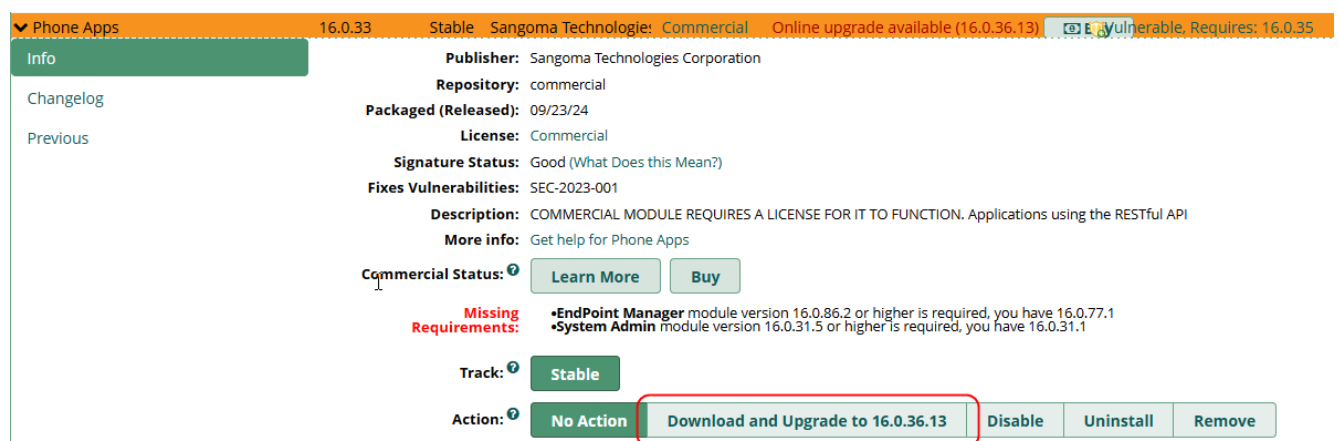


Рисунок 3.21 - Критичний модуль Phone Apps що потребує оновлення

Модулі що підсвітились є критичними і потребують оновлення, також вказані залежності до інших модулів які не є критичними для системи але потребують оновлень для інсталяції нової версії обраного(критичного) модуля.

Після оновлення всіх критичних модулів та залежностей, налаштуємо політику дій для номерів з чорного списку.

Для цього перейдемо у вкладку **Admin – Blacklist – Settings** та налаштуємо завершення виклику при дзвінку з заблокованих номерів.

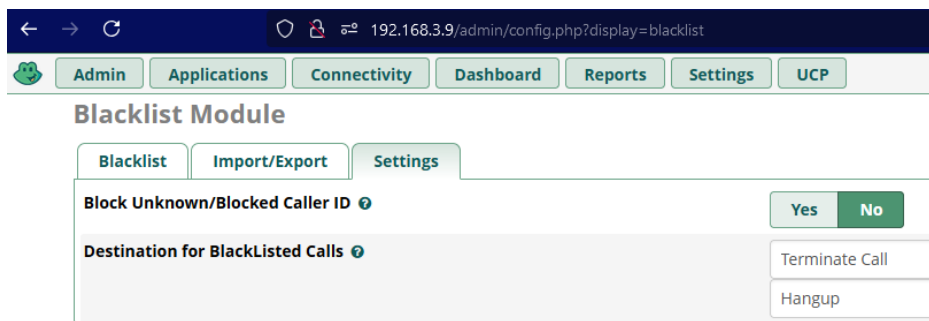


Рисунок 3.22 - Вигляд вкладки Blacklist

Після виправлення всіх помилок на дошці моніторингу попереджень більше немає.

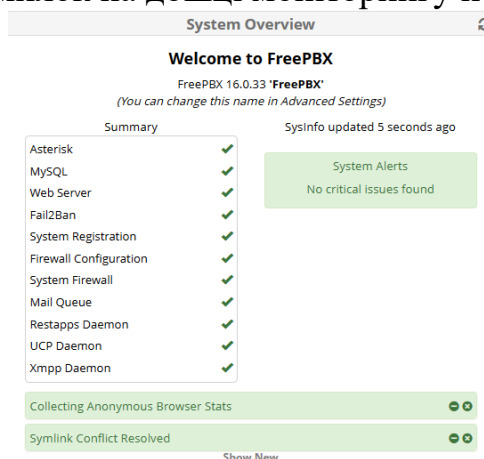


Рисунок 3.23 - Дошка моніторингу FreePBX

IVR – це автоматизована система телефонії, яка взаємодіє з абонентами, збирає необхідну інформацію та скеровує дзвінки до відповідного одержувача. Коли IVR інтегровано в систему АТС на базі FreePBX, він виконує ключові функції:

Автоматичне керування дзвінками: IVR дозволяє абонентам за допомогою клавіатури телефону обирати потрібні дії (наприклад, натиснути "1", щоб зв'язатися з відділом продажу, "2" – з техпідтримкою).

Ефективність і швидкість обслуговування: За допомогою IVR клієнти можуть самостійно вирішувати питання без очікування на оператора. Це зменшує навантаження на співробітників і покращує якість обслуговування.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Персоналізовані повідомлення: IVR може бути налаштований так, щоб вітати кожного клієнта за ім'ям або надавати специфічну інформацію, пов'язану з їхніми запитам.

Для налаштування IVR необхідно спочатку створити голосовий запис з інформацією та інструкцією для телефонуючого.

Після запису додамо файл на сервер: **Admin – System recordings – Add record**

Рисунок 3.24 - Вкладка додавання та конвертування нового запису(оголошення)\
Ім'я запису

Меню для вибору файлу запису для завантаження

Вибір формату конвертування файлу запису (вибір підсвічуваного варіанту вимикає форматування файлу, якщо файл вже інсує у потрібному форматі)

Після цього перейдемо до створення самого інтерактивного меню, для цього перейдемо на вкладку **Applications – IVR – Add IVR**

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

192.168.3.9/admin/config.php?display=ivr&action=edit&id=1

Applications Connectivity Dashboard Reports Settings UCP Apply Config

Edit IVR: IVR_main

Used as Destination by 1 Object (Click to Expand)

IVR General Options

IVR Name

IVR_main

IVR Description

IVR DTMF Options

Announcement

IVR_main3v

Enable Direct Dial

Enabled

Force Strict Dial Timeout

Yes No No - Legacy

Timeout

5

Alert Info

None

Ring Volume Override

None

Invalid Retries

2

Invalid Retry Recording

Default

Append Announcement to Invalid

Yes No

Return on Invalid

Yes No

Invalid Recording

Default

Invalid Destination

Terminate Call

Play ringtones to caller until they hangup

Timeout Retries

3

Timeout Retry Recording

Default

Append Announcement on Timeout

Yes No

Return on Timeout

Yes No

Timeout Recording

Default

Timeout Destination

None

Return to IVR after VM

Yes No

IVR Entries

Digits	Destination	Return	Delete
1	Extensions 101 PC main	Yes No	
2	Extensions 102 Phone_main	Yes No	
3	Voicemail 103 IVR voicemail (Busy Message)		
digits pressed	-- choose one --	Yes No	

+Add Another Entry

> Submit Duplicate Reset

Рисунок 3.25 - Вкладка створення IVR

- Вибір записаного повідомлення для програвання під час дзвінку
- Дозволити прямий дзвінок на внутрішній номер при його введенні користувачем (замість введення варіанту з запропонованих)
- Час що дається користувачу на введення варіанту вибору
- Кількість спроб на введення варіанту вибору
- Вибір записаного повідомлення при неправильному введенні варіанту вибору перед тим як попросити користувача ввести інший варіант
- Вибір записаного повідомлення при неправильному введенні варіанту вибору при вичерпанні спроб
- дії які необхідно прийняти після того як користувач вичерпав спроби вибору варіанту.

Після створення інтерактивного меню створимо внутрішній номер(у якому необхідно увімкнути функцію голосової пошти) та Ring Group.

192.168.3.9/admin/config.php?display=extensions&textdisplay=103

ations Connectivity Dashboard Reports Settings UCP

Extension: 103

General Voicemail Find Me/Follow Me Advanced Pin Sets Other

— Edit Extension

This device uses **PJSIP** technology listening on Port 5060 (UDP)

Display Name ? IVR voicemail

Outbound CID ?

Emergency CID ?

Secret ? 12345678

Extension: 103

General Voicemail Find Me/Follow Me Advanced Pin Sets Other

— Voicemail

Enabled Yes No

Voicemail Password ? 12345678

Set this password to same as extension number to force the user to setup their mailbox on first access.

Require From Same Extension ? Yes No

Disable (*) in Voicemail Menu ? Yes No

Рисунок 3.26 - Створення номеру на який будуть надходити дзвінки та голосова пошта, увімкнення можливості приймати голосову пошту.

Голосова пошта дозволяє клієнтам залишити повідомлення в будь-який час, навіть коли робочий день закінчився або всі оператори зайняті. Це забезпечує безперервну доступність, і клієнти не відчують себе проігнорованими, якщо їх дзвінок не може бути оброблений негайно.

Створимо групу(менеджери з продажу до прикладу) на яку будуть надходити дзвінки від клієнтів (зовнішніх номерів) та прив'яжемо до неї IVR, для цього перейдемо на вкладку **Applications – Ring Groups – Add Group**

Ring Groups: Edit 111

Group Description	IVR test	8/35
Extension List	103	User Quick Select
Ring Strategy	ringall	
Ring Time (max 300 sec)	3	
Announcement	None	
Play Music On Hold	Ring	
CID Name Prefix		
Alert Info	None	
Ringer Volume Override	None	
Send Progress	Yes No	
Mark Answered Elsewhere	Always Yes No	
Ignore CF Settings	Yes No	
Skip Busy Agent	Yes No	
Enable Call Pickup	Yes No	
Confirm Calls	Yes No	
Remote Announce	Default	
Too-Late Announce	Default	
Change External CID Configuration	Default	
Fixed CID Value		
Call Recording	Force Dont Care Never	
Destination if no answer	IVR IVR_main	

Submit

Рисунок 3.27 - Створення групи (Ring Group)

Назва групи

Список внутрішніх номерів на які буде спрямований дзвінок

Стратегія вибору номерів для дзвінку.

Час на протязі якого буде відбуватися дзвінок на обрані номери до його переспрямування до IVR

Запис що буде програватися під час дзвінку користувача до відповіді або переспрямування до IVR

Політика переспрямування дзвінку у випадку відсутності відповіді від номерів вказаних у Extension List, обрано переспрямування на IVR

Наступним важливим етапом буде налаштування резервного копіювання серверу для можливості відновлення у аварійних випадках.

Для цього перейдемо до вкладки **Admin – Backup & Restore**

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Add Backup

Basic Information

Backup Name

Backup Description

Backup Items

Custom Files

Type	Complete Path	Exclude	Delete
Directory	...ASTETCDIR...	PATTERNS, one per line	Delete

Notifications

Notification Email

Inline Logs

Email Type

Storage

Storage Location

Append Backup Name as a directory to the Storage path

Schedule and Maintenance

Enabled

Scheduling

Minute	Hour	Month	Day of month	Day of week
00	00	January	1	Sunday
01	01	February	2	Monday
02	02	March	3	Tuesday
03	03	April	4	Wednesday

Maintenance

Delete After Runs

Delete After Days

Hooks

Pre-Backup Hook

Post-Backup Hook

Pre-Restore Hook

Post-Restore Hook

Warm Spare

Рисунок 3.28 - Вкладка **Add Backup**

Назва бекапу.

Вибір модулів для резервного копіювання.

Вибір файлів на вибір користувача для резервного копіювання.

Вибір місця сховища для збереження файлів бекапу.

Дозволяє створювати підпапки(з назвою) в папці з бекапами для зручного та наочного зберігання резервних копій.

Кількість резервних копій які мають зберігатися, якщо встановлено 2 то буде збережено 2 останніх бекапи.

Опція що дозволяє запускати автоматичне створення резервних копій по графіку.

Графік створення резервних копій.

Після введення всіх налаштувань натиснемо кнопку **Save and run**



Рисунок 3.29 - Успішне виконання резервного копіювання.

Окрім цього, важливо враховувати питання безпеки при налаштуванні дзвінків та маршрутизації. Впровадження методів шифрування, таких як SRTP (Secure Real-Time Transport Protocol) для шифрування голосового трафіку та TLS (Transport Layer Security) для захисту сигналізації, дозволяє забезпечити високий рівень конфіденційності та захисту даних користувачів.

Загалом, налаштування дзвінків та маршрутизація у віртуальній IP-АТС на основі Open Source SIP сервера є комплексним процесом, що вимагає врахування багатьох технічних аспектів. Впровадження сучасних технологій та алгоритмів дозволяє забезпечити високу якість та надійність зв'язку, оптимізувати витрати на зв'язок та підвищити загальну ефективність системи.

3.4. Тестування та оптимізація системи

Оптимізація та всебічне тестування є невід'ємними компонентами при розгортанні віртуальної IP-АТС, забезпечуючи стабільність та надійність системи. Перевірка функціональності та продуктивності системи потребує ретельного підходу, де кожен елемент структури IP-АТС проходить через серію складних тестів.

Для оцінки функціональності системи була використана методика чорного ящика, яка включала сценарії реєстрації користувачів, встановлення дзвінків, маршрутизації викликів. Першочергово, тестування охоплювало перевірку реєстрації

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

користувачів на сервері, де кожна сесія перевірялася на коректність аутентифікації та авторизації через SIP-запити.

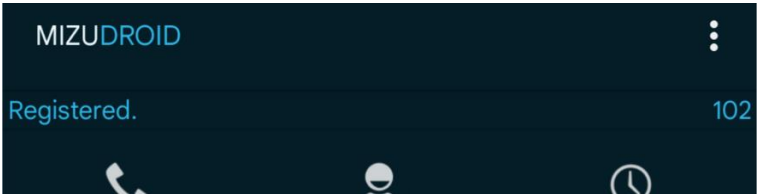


Рисунок 3.30 - Успішна реєстрація користувача через Microsip клієнт

Рисунок 3.31 - Успішна реєстрація користувача через MizuDroid

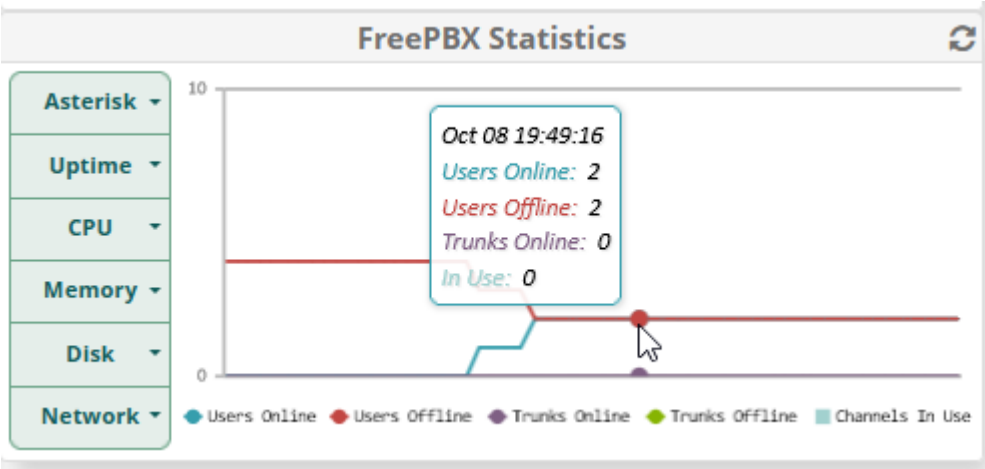


Рисунок 3.32 - Успішна реєстрація користувача в системі моніторингу

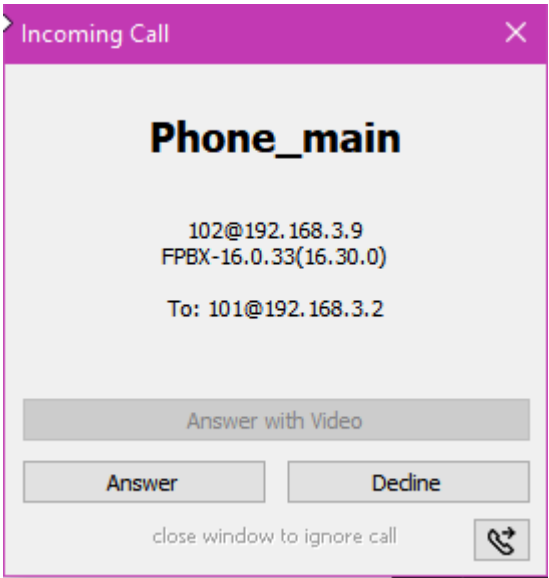
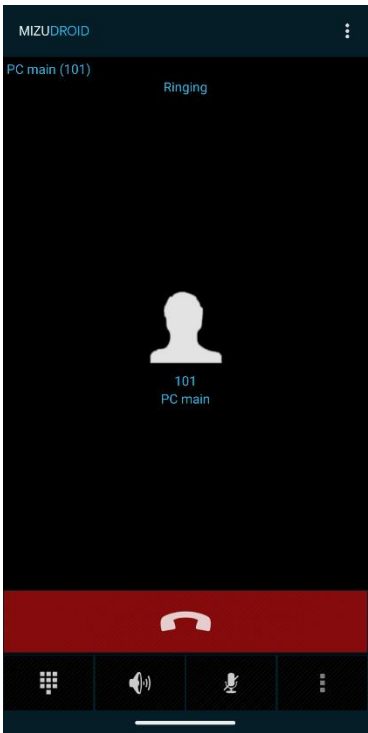


Рисунок 3.33 - Дзвінок з програми MizuDroid

Рисунок 3.34 - Вхідний дзвінок,

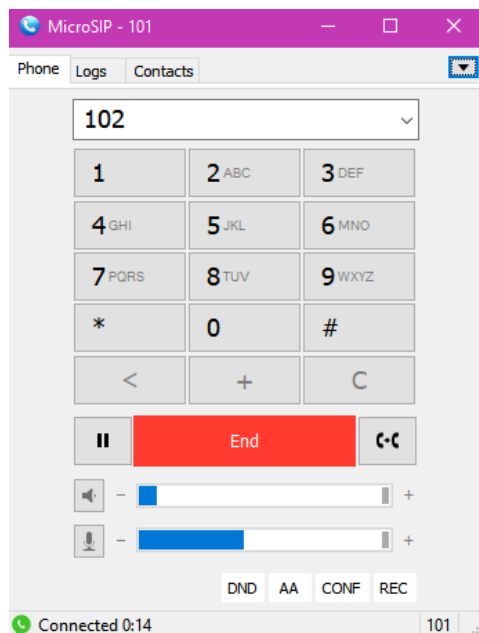


Рисунок 3.35 - Тестування наявності та якості зв'язку

Особливу увагу приділяли перевірці надійності серверів. Всі компоненти IP-АТС, включаючи сервер, пристрої користувачів та мережеве обладнання піддавалися тестуванню на відмовостійкість. Це включало симуляцію несправностей мережі, відключення серверу та відновлення роботи після збоїв. Аналізувалися часові показники відновлення системи та перевірялася цілісність даних у базі даних, що зберігала конфігурації, журнали та історію дзвінків.

Був проведений докладний аналіз конфігурацій SIP-сервера з метою оптимізація системи. На основі результатів тестування були внесені зміни до налаштувань параметрів SIP транзакцій і таймаутов для полегшення політики повторних спроб.

Значну увагу приділяли моніторингу системи в реальному часі. Використання систем моніторингу передвстановлених у FreePBX, дозволило забезпечити безперервний моніторинг основних параметрів роботи системи, включаючи стан серверів, навантаження на процесор, обсяг використовуваної оперативної пам'яті, та мережевий трафік. Дані моніторингу використовувалися для динамічного нала-

штування ресурсів серверів та забезпечення балансування навантаження.

КККБ КР.Б – 123 – 24 – ПЗ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Суботін Д.Є.				Проект розгортання віртуальної IP-АТС на базі системи FreePBX	Літ.	Арк.
Керівник	Фальковський І.Г						
Реценз.	Шелуха О.О.					ФІКТ, Гр. КІп-20-1	
Н. контр.	Росінський Ю.М.						
Затверд.	Єфіменко А.А.						

Тестування функціональності та продуктивності завершувалось підготовкою усних звітів, що містили результати всіх тестів, виявлені проблеми та запропоновані шляхи їх вирішення. Ці звіти стали основою для подальшої оптимізації системи, що дозволило досягти високого рівня стабільності та ефективності роботи віртуальної IP-АТС.

Важливим аспектом тестування стало забезпечення високої якості голосового зв'язку. Для цього проводилось вимірювання параметрів QoS (Quality of Service), включаючи MOS (Mean Opinion Score), який визначає суб'єктивну оцінку якості звуку кінцевими користувачами. Використовувались спеціалізовані інструменти, такі як Wireshark, для аналізу RTP-пакетів та визначення затримок, втрачених пакетів та Jitter. На основі отриманих результатів проводилась оптимізація налаштувань, для забезпечення максимально можливої якості звуку при мінімальному споживанні мережевих ресурсів.

В рамках тестування на безпеку системи, проводилась серія тестів на проникнення, що включала перевірку вразливостей на рівні мережі та застосунків, з цим виникла проблема яка при зміні паролів Extension-ів на сервері, додаток на ПК був запущений тому при спробі реєстрації за старими даними, IP адресу ПК було заблоковано в тому числі і доступ до інтерфейсу був недоступний, проблема могла бути вирішена тільки зміною реєстраційних даних в Microsip та перезавантаженням серверу(для скидання тимчасового блокування)

Додатково, проводилось тестування резервного копіювання та відновлення системи для забезпечення надійного збереження даних. Використовувались сценарії симуляції відмови обладнання та відновлення системи з резервних копій, що дозволило перевірити ефективність політик резервного копіювання та швидкість відновлення системи в аварійних ситуаціях.

На основі результатів стрес-тестування було проведено додаткову оптимізацію конфігурації серверів та налаштувань мережі для забезпечення максимальної ефективності роботи віртуальної IP-АТС.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Під час тестування системи були виявлені і виправлені деякі помилки, що дозволило значно покращити її функціональність та продуктивність. Виявлення та виправлення помилок є критичним етапом у процесі розгортання та налаштування віртуальної IP-АТС, оскільки навіть незначні недоліки можуть призвести до серйозних проблем у роботі системи.

Окрім виявлених проблем з конфігурацією та продуктивністю, тестування також виявило деякі нюанси у безпеці системи. Безпека є одним із ключових аспектів роботи будь-якої IP-АТС, оскільки вона безпосередньо впливає на конфіденційність та цілісність даних. У ході тестування були проведені різні атаки на систему, такі як спроби підбору паролів (Brute Force), атаки на відмову в обслуговуванні (DoS) та інші види мережових атак.

Одна з виявлених проблем стосувалася уразливості до атаки Brute Force на облікові записи користувачів. Для усунення цієї проблеми було впроваджено механізм блокування IP-адрес після декількох невдалих спроб входу (Intrusion

Завершальним етапом було проведення аналізу надійності системи в умовах реальних експлуатаційних навантажень. Для цього було використано інструменти моніторингу вбудовані у FreePBX, які дозволили в реальному часі спостерігати за станом системи, виявляти потенційні проблеми та оперативно їх вирішувати. Моніторинг охоплював різні аспекти роботи системи, включаючи використання ресурсів процесора, пам'яті, дискового простору та мережевого трафіку.

Використання системи моніторингу дозволило також налаштувати автоматичні сповіщення про критичні події, що дозволяє оперативно реагувати на будь-які збої у роботі системи. Завдяки цьому, адміністратори системи можуть швидко вживати необхідні заходи для відновлення роботи системи та запобігання потенційним втратам даних або відмовам у наданні послуг.

Завдяки всім проведеним заходам з оптимізації, система віртуальної IP-АТС досягла високого рівня продуктивності, стабільності та надійності. Оптимізація на-

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

лаштувань дозволила забезпечити швидку та безперебійну обробку викликів, високу якість голосового зв'язку, а також захист від зовнішніх загроз, що робить цю систему готовою до експлуатації у виробничих умовах.

Підсумовуючи, тестування віртуальної ІР-АТС показало, що система загалом функціонує стабільно та надійно, хоча виявлені незначні проблеми потребували виправлення. Всі виявлені помилки були успішно усунені, що дозволило забезпечити високу якість та продуктивність роботи системи. Результати тестування підтверджують, що віртуальна ІР-АТС готова до експлуатації у реальних умовах, забезпечуючи необхідний рівень функціональності та надійності.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

ВИСНОВКИ

Досягнутий рівень реалізації віртуальної IP-АТС на основі Open Source SIP Server відображає значний прогрес у розвитку сучасних телекомунікаційних систем.

Основні результати проєкту включають успішне встановлення та конфігурацію FreePBX на платформі Oracle VirtualBox, що забезпечило ізольоване та безпечне середовище для тестування та налагодження системи. Було досягнуто високої надійності системи завдяки ретельному налаштуванню SIP-сервера та модулів, що забезпечило збереження та доступність конфігурацій та історії дзвінків. Веб-інтерфейс адміністрування значно спростив процес управління системою та надав зручні інструменти для моніторингу та налаштувань.

Проведене тестування системи включало комплексні перевірки функціональності, продуктивності та стійкості до навантажень. Результати тестів підтвердили високу ефективність реалізованого рішення, забезпечивши надійну роботу при значних обсягах дзвінків та даних. Оптимізація конфігурацій та параметрів системи дозволила досягти значного зниження затримок та покращення якості голосового зв'язку. Особлива увага була приділена безпеці системи, що включало налаштування механізмів аутентифікації та шифрування даних для захисту від несанкціонованого доступу та атак.

Значний внесок у досягнення високої ефективності та продуктивності системи зробило ретельне налаштування і оптимізація кожного з компонентів.

Важливим аспектом проєкту стало забезпечення безпеки та конфіденційності даних. Крім того, були впроваджені механізми багаторівневої аутентифікації для забезпечення доступу тільки авторизованих користувачів до адміністративних функцій системи. Всі ці заходи значно підвищили стійкість системи до можливих атак та забезпечили надійний захист конфіденційної інформації.

Перспективи подальшого розвитку системи включають впровадження додаткових сервісів, інтеграція з хмарними сервісами для резервного копіювання та відновлення даних, а також підтримка мобільних додатків для управління системою з

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

мобільних пристроїв. Окрім цього, планується дослідження можливостей використання штучного інтелекту для автоматизації рутинних завдань, аналізу дзвінків та покращення якості обслуговування клієнтів. Це дозволить зробити систему ще більш гнучкою та адаптивною до потреб сучасного бізнесу, забезпечуючи високу ефективність та конкурентоспроможність.

У підсумку, реалізований проєкт продемонстрував високий рівень інтеграції та сумісності різних компонентів системи, що дозволило забезпечити ефективне та надійне функціонування віртуальної IP-АТС. Це рішення має широкі перспективи для подальшого розвитку та вдосконалення, зокрема, впровадження додаткових сервісів та функцій, таких як інтеграція з CRM-системами та хмарними сервісами для розширення можливостей управління та аналітики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Schneir J. VoIP network architectures and impacts on costing / J. Schneir, T. Pluckebaum. – Bad Honnef, Germany: Emerald Group Publishing Limited, 2010.
2. Bryant R. Asterisk: The Definitive Guide : навчальний посібник / Russell Bryant, Leif Madsen, Jim Van Meggelen ; ed. by M. Loukides, N. Jepson. – 4th ed. – Sebastopol : O'Reilly Media, 2013. – 845 p.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

12. Gohel C. K. Implement VoIP Based IP Telephony with Open Source Asterisk Architecture [Electronic resource] / Chirag K. Gohel, Kamaljit I. Lakhtaria // International Journal of Interdisciplinary Telecommunications and Networking. – 2010. – Vol. 2, no. 1. – P. 1–11. – Mode of access: <https://doi.org/10.4018/jitm.2010010101> (date of access: 13.10.2024). – Title from screen.
13. Masudur Rahman M. VoIP Implementation Using Asterisk PBX [Electronic resource] / Mohammad Masudur Rahman, Nafish Sarwar Islam // IOSR Journal of Business and Management. – 2014. – Vol. 15, no. 6. – P. 47–53. – Mode of access: <https://doi.org/10.9790/487x-1564753> (date of access: 13.10.2024). – Title from screen.
14. Remote control of Asterisk via Web Services [Electronic resource] / Lukas Kapicak [et al.] // 2011 34th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), Budapest, Hungary, 18–20 August 2011. – [S. l.], 2011. – Mode of access: <https://doi.org/10.1109/tsp.2011.6043783> (date of access: 14.10.2024). – Title from screen.
15. Pal D. Asterisk server performance under stress test [Electronic resource] / Debajyoti Pal, Tuul Triyason, Vajirasak Vanijja // 2017 IEEE 17th International Conference on Communication Technology (ICCT), Chengdu, 27–30 October 2017. – [S. l.], 2017. – Mode of access: <https://doi.org/10.1109/icct.2017.8359973> (date of access: 14.10.2024). – Title from screen.
16. Contributors to Wikimedia projects. Elastix [Electronic resource] / Contributors to Wikimedia projects. – Mode of access: <https://en.wikipedia.org/wiki/Elastix> (date of access: 14.10.2024). – Title from screen.
17. Integrate a CRM with Elastix [Electronic resource]. – Mode of access: <https://sourceforge.net/p/elastix/news/2017/08/integrate-a-crm-with-elastix/> (date of access: 14.10.2024). – Title from screen.
18. FreePBX vs Elastix - The Differences In VOIP Systems [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.ukhost4u.com/differences-in-voip-systems/> (date of access: 14.10.2024). – Title from screen.

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

19. Contributors to Wikimedia projects. Kamilio [Electronic resource] /
Contributors to Wikimedia projects. – Mode of access:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Kamilio> (date of access: 14.10.2024). – Title from screen.
20. Download | FreePBX [Electronic resource]. – Mode of access:
<https://www.freepbx.org/downloads/> (date of access: 14.10.2024). – Title from screen.
21. Hardware-Accelerated Graphics - Oracle VirtualBox [Electronic resource]. – Mode of access:
<https://docs.oracle.com/en/virtualization/virtualbox/6.0/user/guestadd-video.html> (date of access: 16.10.2024). – Title from screen.
22. Configure Hardware Acceleration VMware [Electronic resource]. – Mode of access: <https://docs.vmware.com/en/VMware-Remote-Console/12.0/com.vmware.vmrvc.vsphere.doc/GUID-005A29EE-3BDD-4B20-9E66-706D12A870AB.html> (date of access: 16.10.2024). – Title from screen.
23. Contributors to Wikimedia projects. Comparison of platform virtualization software - Wikipedia [Electronic resource] / Contributors to Wikimedia projects. – Mode of access:
https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_platform_virtualization_software (date of access: 16.10.2024). – Title from screen.
24. Фальковський І. Г., Головня О. С. OpenWRT у віртуальному середовищі VirtualBox. Вісник Хмельницького національного університету: Технічні науки. 2023. Вип. 4. С. 358-364
25. How Fail2Ban Works to Protect Services on a Linux Server [Electronic resource] // DigitalOcean | Cloud Infrastructure for Developers. – Mode of access: <https://www.digitalocean.com/community/tutorials/how-fail2ban-works-to-protect-services-on-a-linux-server> (date of access: 18.10.2024). – Title from screen.
26. Casner S. L. RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications [Electronic resource] / Stephen Lewis Casner. – Mode of access: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc3550.pdf> (date of access: 16.10.2024). – Title from screen.

ДОДАТКИ

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Таблиця функцій та можливостей Asterisk (FreePBX) SIP серверу

Функція	Опис	Приклад використання	Переваги
Підтримка різних протоколів	Інтеграція з SIP,	Digium: корпоративні телефонні системи	Гнучкість у налаштуванні та інтеграції
	Автоматизація взаємодії з абонентами через голосове меню	Marriott International: бронювання номерів	Підвищення ефективності обслуговування клієнтів
Voicemail (голосова пошта)	Залишення та збереження голосових повідомлень	VoIP-Info.org: підвищення задоволеності клієнтів	Безперервний зв'язок та оперативне реагування
Конференц-зв'язок	Проведення багатокористувацьких конференцій	с: внутрішні конференції	Ефективна комунікація та координація дій
Безпека (TLS,	Шифрування трафіку для захисту даних	Digium: зниження кількості інцидентів витоку даних	Високий рівень захисту інформації
Інтеграція з базами даних	Підтримка MySQL, PostgreSQL, SQLite для зберігання та аналізу даних	Створення розширених звітів та аналітики	Прийняття управлінських рішень на основі даних
Маршрутизація викликів	Оптимізація обробки дзвінків на основі різних критеріїв	DHL: маршрутизація дзвінків у кол-центрах	Ефективне використання ресурсів, підвищення якості сервісу
Підтримка різних кодеків		Використання кодека G.729 для високої якості звуку	Оптимізація якості звуку, ефективне використання мережі
Інтеграція з веб-сервісами	Підтримка інтеграції через API	Salesforce: інтеграція CRM з телефонією	Підвищення ефективності обслуговування
Модульна архітектура	Можливість додавання нових функцій через встановлення модулів	Panasonic: створення кастомізованих рішень	Гнучкість у налаштуванні системи

Таблиця порівняння можливостей Asterisk з FreeSWITCH та Elastix

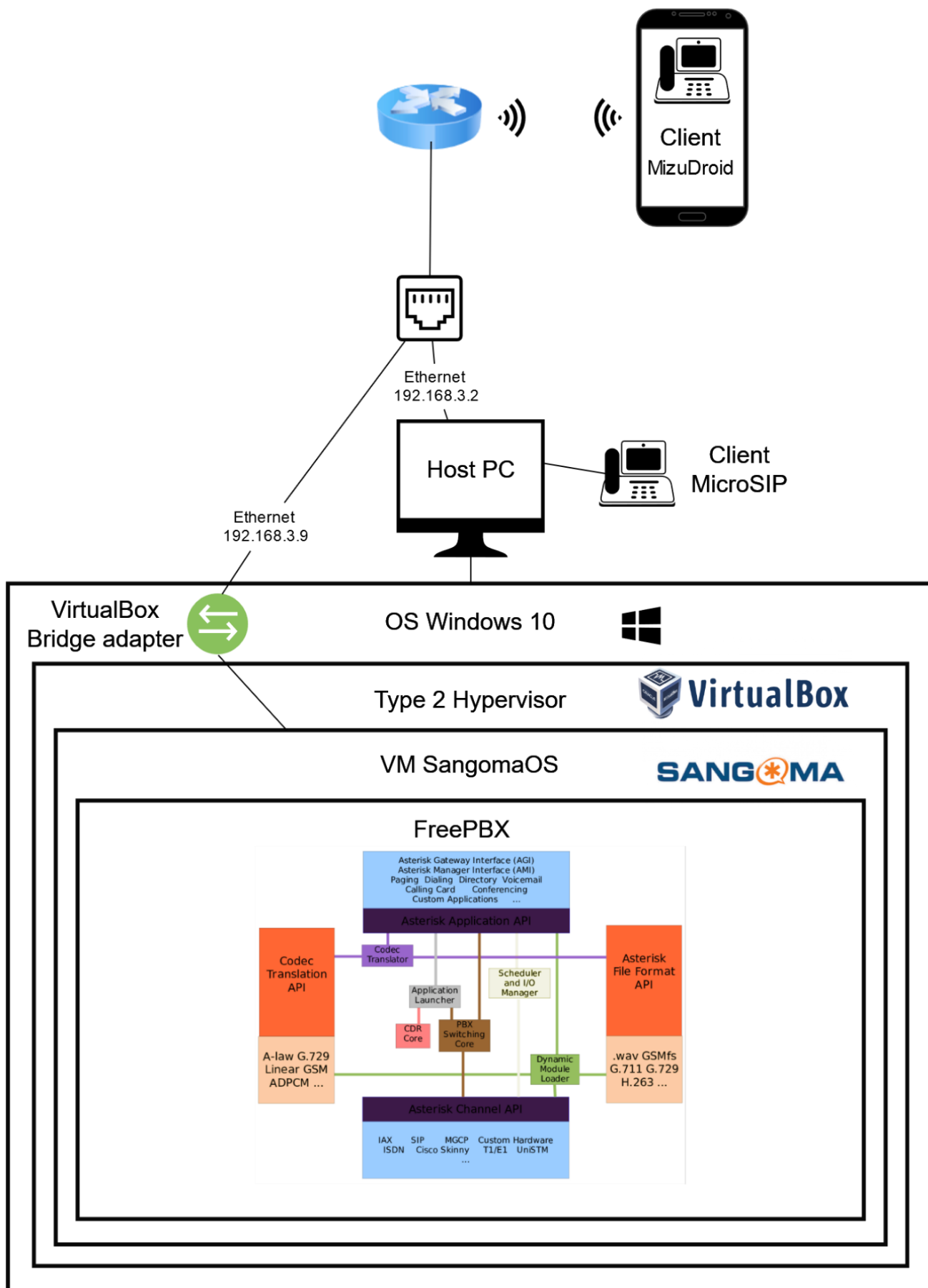
Функціональні можливості			
Підтримка протоколів			
Підтримка кодеків			
Архітектура	Монолітна з можливістю розширення через модулі	Модульна з високою гнучкістю	Монолітна з можливістю розширення функціоналу через модулі.
Масштабованість	Висока, через розподіл на кілька серверів	Висока, підтримка кластеризації	Висока, особливо для великих систем SIP-маршрутизації
Підтримка IVR	Так	Так	Так
(автоматичний розподіл дзвінків)	Так	Так	Так
Інтеграція з CRM	Так, через API та	Так, через зовнішні скрипти та API	Так [17]
Підтримка	Так	Так	Так
Гнучкість налаштувань	Висока, через конфігураційні файли та скрипти	Висока, через модульну архітектуру та скрипти	Менш гнучка ніж конкуренти [18] але пропонує кращий досвід роботи «з коробки»
Підтримка конференцій	Так, через модуль MeetMe та інші	Так, з високою якістю	Так
Підтримка голосової пошти	Так, через модуль	Так	Так

Таблиця порівняння гіпервізорів 2-го роду

Характеристика	Oracle VirtualBox	VMware Workstation\Player	QEMU (з KVM)	Parallels Desktop
Операційні системи хоста	Windows, macOS, Linux, Solaris	Windows, Linux	Linux, Windows (з KVM)	macOS
Підтримка гостьових ОС	Широкий спектр ОС	Широкий спектр ОС	Широкий спектр ОС	Windows, Linux
Продуктивність	Висока з підтримкою апаратної віртуалізації	Висока з підтримкою апаратної віртуалізації	Висока (при використанні KVM)	Висока (особливо для macOS)
Простота використання	Інтуїтивний інтерфейс, простий у налаштуванні	Легкий у використанні	Складніший у налаштуванні	Інтуїтивний для macOS
Інтеграція з ОС хоста	Основні функції інтеграції	Глибока інтеграція з ОС	Мінімальна інтеграція	Глибока інтеграція з macOS
Ціна	Безкоштовно	Player Безкоштовно (для персонального некомерційного використання) Workstation Платно	Безкоштовно (з відкритим кодом)	Платно (є безкоштовна пробна версія)
Підтримка апаратної віртуалізації	Так , можливі проблеми на деяких версіях macOS	Так	Так, за допомогою KVM підтримує Intel VT-x, AMD-V, дозволяє доступ до апаратних ресурсів на пряму	Так, через Intel VT-x (для Mac з Intel) а з версії macOS 11.0 для M1,M2 Paravirtualized Graphics framework

		Суботін Д.Є			ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ	Арк.
		Фальковський І.Г				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

Структурна схема реалізованої системи



		Суботін Д.Є		
		Фальковський І.Г		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ККІКБ.КР.Б – 123 – 24 – ПЗ

Арк.

73