

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерної інженерії та управління _____

Кафедра _____ електронних обчислювальних машин _____

Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____

Спеціальність _____ 123 «Комп'ютерна інженерія» _____
(код і повна назва)

Тип програми _____ освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ Комп'ютерна інженерія _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Тищенко Аліні Віталіївні _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Програмні засоби моніторингу корпоративної мережі _____

затверджена наказом по університету від “ 26 ” травня 2025 р. № 424 Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії _____ 17 червня 2025 р.

3. Вхідні дані до роботи _____

_____ мультисервісна мережа _____

_____ класифікація трафіка _____

_____ QoS _____

_____ моніторинг _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі _____

_____ Аналіз предметної області та постановка завдання _____

_____ Розробка програмних засобів підтримки баз даних на основі технології SAAS _____

_____ Реалізація програмного комплексу _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій 12 слайдів

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання та аналіз предметної області	26.05.2025–30.05.2025	
2	Аналіз літератури за темою роботи	31.05.2025–03.06.2025	
3	Аналіз методів інтелектуального аналізу даних	04.06.2025–06.06.2025	
4	Розробка моделі штучної нейронної мережі Аналіз алгоритмів	07.06.2025–08.06.2025	
5	Вибір алгоритмів для тренування мережі	09.06.2025–13.06.2025	
6	Розробка системи, реалізація, тестування	14.06.2025–16.06.2025	

Дата видачі завдання “ 26 ” травня 2025 р.

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

ас. Ігор МИХАЙЛІЧЕНКО
(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 45 с., 26 рис., 1 дод., 9 джерел.

МУЛЬТИСЕРВІСНА МЕРЕЖА, ІР-ТЕЛЕФОНІЯ, QOS, УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖЕВИМ ТРАФІКОМ, ПРІОРИТИЗАЦІЯ ТРАФІКУ, АЛГОРИТМ PQ, ЗАТРИМКА ПАКЕТІВ, ВТРАТИ ПАКЕТІВ, БІТРЕЙТ, D-ITG, КЛАСИФІКАЦІЯ ТРАФІКУ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ІНФРАСТРУКТУРА МЕРЕЖІ.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка програмних засобів моніторингу трафіку в комп'ютерній мережі.

У ході виконання кваліфікаційної роботи здійснено класифікацію типів мережевого трафіку та проаналізовано відповідні вимоги до параметрів QoS, зокрема затримки, джитера, бітрейту та втрат пакетів. Окрему увагу приділено аналізу архітектури мультисервісних мереж, а також методам покращення якості обслуговування в умовах перевантаження. Проведені експерименти продемонстрували, що технологія управління трафіком на основі алгоритму пріоритетної черги (PQ) забезпечує найкращі показники у сценаріях з високим навантаженням, що дозволяє рекомендувати її для застосування в ІР-телефонії та інших сервісах, критичних до затримок. Отримані результати мають практичне значення для розробки ефективних політик управління трафіком у сучасних телекомунікаційних мережах з метою забезпечення гарантованої якості обслуговування.

ABSTRACT

Bachelor's thesis: 45 pages, 26 figures, 1 appendices, 9 sources.

Multiservice Network, IP Telephony, QoS, Network Traffic Management, Traffic Prioritization, PQ Algorithm, Packet Delay, Packet Loss, Bitrate, D-ITG, Traffic Classification, Experimental Modeling, Network Infrastructure.

The major goal of this thesis is the development of software tools for traffic monitoring in a computer network.

In order to various types of network traffic were classified and the corresponding Quality of Service (QoS) parameters were analyzed, including packet delay, jitter, bitrate, and packet loss. Special attention was paid to the analysis of multiservice network architecture and methods for improving service quality under overloaded conditions.

The conducted experiments demonstrated that traffic management based on the Priority Queuing (PQ) algorithm provides the most favorable performance in high-load scenarios, making it suitable for IP telephony and other delay-sensitive services. The results obtained have practical significance for the development of effective traffic management policies in modern telecommunication networks, aimed at ensuring guaranteed quality of service.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	7
ВСТУП	8
1 ЯКІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ В МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖАХ	10
1.1 Сучасні мультисервісні мережі	10
1.2 Вимоги до корпоративних мереж.....	11
1.3 Концепція розвитку NGN.....	13
2 ПЕРЕДАВАННЯ ТРАФІКУ У КОРПОРАТИВНІЙ МЕРЕЖІ	17
2.1 Особливості передавання потокового трафіку в сучасних мережах	17
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	24
3.1 Вибір програмних засобів	24
3.2 Налаштування обладнання для проведення аналізу.....	27
3.3 Етапи аналізу	32
3.4 Аналіз пріорітизації трафіка на основі технології управління чергами.....	33
ВИСНОВКИ.....	37
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	38
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	39

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

BGP – Border Gateway Protocol, протокол граничного шлюза

CBQ – Модель організації черг з використанням класів

CBWFQ – Class Based Weighted Fair Queueing

CoS – Клас сервісу

CQ – Модель обслуговування, налаштованого користувачем

DNS – Служба доменних імен

ETSI – Європейський інститут стандартизації телекомунікацій

FIFO – Модель перший прийшов - перший на обслуговування

FTP – Протокол передачі файлів

HSRP – Hot Standby Router Protocol,

HTTP – Протокол передачі гіпертексту

IETF – Відкрите міжнародне співтовариство проектувальників

IP – Інтернет протокол

ITU-T – Міжнародний союз телекомунікацій

LAN – Local Area Network

LLQ – Low-latency queuing

MPLS – Багатопротокольна комутація на основі міток

QoS – Якість обслуговування, якість надання послуг, якість сервісу

RED – Random Early Detection

RFC – Request for Comments – рекомендації

VoIP – Телефонія на основі протоколу IP.

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку науки, промисловості та ринку спостерігається глибока трансформація, зумовлена масштабною комп'ютеризацією та всеохопним впровадженням інформаційних технологій, зокрема мережевих. Інформаційні технології стають невід'ємною складовою практично всіх сфер суспільного життя, а телекомунікаційні мережі відіграють у цьому процесі ключову роль, оскільки забезпечують необхідну інфраструктуру для функціонування численних цифрових сервісів.

З огляду на зростання залежності людства від технологій, які функціонують у межах комп'ютерних мереж, пред'являються дедалі вищі вимоги до якості та надійності телекомунікаційних систем. Актуальність цієї проблематики посилюється стрімким поширенням Інтернету речей, кількість підключених пристроїв якого вже перевищує чисельність населення планети. Одночасно зростає і обсяг програмного забезпечення, що працює через Інтернет, що призводить до експоненціального зростання мережевого трафіку.

Значну роль у формуванні навантаження на мережі відіграють популярні сервіси, зокрема IP-телефонія та відеоконференцзв'язок, для ефективного функціонування яких необхідна висока якість обробки мережевого трафіку. Забезпечення стабільної роботи таких сервісів вимагає впровадження комплексних засобів керування трафіком, які дозволяють вирішувати критично важливі завдання – від організації та оптимізації черг до забезпечення доставки даних без втрат і балансування навантаження.

У цьому контексті особливої актуальності набуває створення комп'ютерної системи моніторингу мережевого трафіку, яка має забезпечити ефективний контроль за станом мережі та оперативне реагування на можливі проблеми, що виникають у процесі передавання даних.

Мета роботи: розробка програмних засобів моніторингу трафіку в

комп'ютерній мережі.

Завдання:

- розглянути методи класифікації трафіка;
- проаналізувати інфраструктуру сучасної мультисервісної мережі;
- розглянути характеристики різних типів трафіку і їх вимог до якості обслуговування.

1 ЯКІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ В МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖАХ

1.1 Сучасні мультисервісні мережі

Комп'ютерна мережа в широкому значенні трактується як система комунікацій між кількома комп'ютерами, що здійснюється через кабельне або бездротове середовище з використанням спеціалізованого мережевого обладнання. Основою передачі інформації в таких мережах слугують фізичні явища, зокрема електричні сигнали чи електромагнітне випромінювання. Як середовище передачі можуть використовуватись телефонні лінії, спеціалізовані кабелі, включаючи коаксіальні, виті пари та оптоволоконні кабелі, а також радіохвилі та світлові сигнали.

Комп'ютерні мережі класифікуються за територіальною поширеністю: від персоналізованих чи натільних мереж до локальних, кампусних, міських та глобальних, серед яких Інтернет виступає як найбільш комплексна система, що охоплює весь світовий простір обміну інформацією. Кожна з таких мереж характеризується унікальною архітектурою, що обумовлює доступність, масштаби застосування, рівень захищеності та інфраструктурні особливості.

Технічна інфраструктура мережі включає в себе пристрої, середовище та сервіси, які забезпечують стабільний і безперервний обмін інформацією. Типи середовищ передачі розрізняються за низкою параметрів, серед яких визначальними є відстань передачі сигналу, умови монтажу, пропускна здатність, а також економічна доцільність застосування.

У межах цієї дослідницької роботи особливу увагу приділено IP-мережам, що функціонують на основі стеку протоколів TCP/IP або моделі взаємодії відкритих систем (OSI). У сучасних умовах особливе значення набувають мультисервісні мережі, які забезпечують єдине середовище для

передачі різних типів інформації – голосу, відео та даних – із застосуванням технологій комутації пакетів. Вони поєднують високу надійність, властиву традиційним телефонним мережам, із економічністю передачі даних, наближеною до вартості комунікацій через Інтернет.

Головна функція таких мереж полягає у створенні єдиного інформаційного середовища, що дозволяє функціонувати різноманітним телекомунікаційним і інформаційним системам та додаткам у спільній інфраструктурі. Це дозволяє значно зменшити кількість необхідного обладнання, уніфікувати стандарти та оптимізувати управління комунікаційними процесами.

Інтерактивні мультисервісні мережі відкривають доступ до широкого спектру послуг, включаючи аналогове та цифрове телебачення, потокове мовлення, інтернет-телефонію, відеозв'язок, дистанційне навчання, медичні консультації, оплату комунальних послуг та системи безпеки. Їх запровадження потребує цілісного підходу – від прийняття стратегічного рішення місцевою владою і проведення маркетингових досліджень до створення техніко-економічного обґрунтування, проектної документації, організації фінансування, закупівель обладнання та виконання монтажних робіт.

1.2 Вимоги до корпоративних мереж

Сучасні комп'ютерні мережі повинні відповідати не лише технічним стандартам, а й забезпечувати виконання широкого спектру функцій – від доступу до веб-ресурсів і обміну електронною поштою до підтримки мультимедійного контенту. Якість їх роботи визначається цілою низкою характеристик, зокрема продуктивністю, надійністю, масштабованістю, керованістю, сумісністю та рівнем безпеки. Серед усіх вимог до мережевих систем важливу роль відіграє поняття якості обслуговування (QoS), яке зазвичай зосереджується на продуктивності та надійності мережі.

Продуктивність визначається такими ключовими показниками, як час реакції мережі, швидкість передавання трафіку, пропускна здатність та затримка сигналу. Час реакції є інтегральною характеристикою, що відображає ефективність обробки запитів користувача мережею. Його аналіз дозволяє виявляти критичні точки в інфраструктурі та підвищувати загальну ефективність мережевої взаємодії.

Пропускна здатність характеризує максимальний обсяг даних, який може бути передано мережею за одиницю часу. Це показник, що безпосередньо залежить від технологічної основи мережі й зазвичай залишається сталою величиною. Від неї відрізняється швидкість передавання трафіку, що змінюється залежно від поточного навантаження.

Затримка передачі, в свою чергу, визначає швидкість проходження сигналу між окремими вузлами мережі. Цей параметр критично важливий при передаванні мультимедійних даних, де дотримання синхронності має вирішальне значення для забезпечення належної якості.

Надійність мережі розглядається як її здатність стабільно функціонувати за умов часткових відмов, що забезпечується завдяки механізмам відмовостійкості, збереженню даних та їх узгодженості, а також високим стандартам безпеки інформації. У складних системах застосовуються розширені метрики, зокрема коефіцієнт готовності, ймовірність доставки пакетів без спотворень, та рівень захисту від несанкціонованого доступу.

Розширюваність і масштабованість мережі забезпечують її адаптацію до зростання кількості користувачів та збільшення обсягу переданих даних без втрати продуктивності. Прозорість, як ще один важливий аспект, забезпечує користувачеві уніфікований доступ до всіх ресурсів мережі незалежно від їх фізичного розташування чи технічної специфікації.

З появою мультимедійного трафіку мережеві архітектури зазнали істотних змін. Стало необхідним впровадження нових алгоритмів обробки трафіку, які забезпечують мінімальні затримки та гарантовану якість

передавання. Основне ускладнення полягає в одночасному обслуговуванні як традиційного, так і мультимедійного трафіку з різними вимогами до обслуговування.

Управління мережею здійснюється через централізовані системи моніторингу та контролю, які дозволяють аналізувати її поточний стан, швидко реагувати на несправності та прогнозувати майбутні зміни конфігурації. Ефективне мережеве керування потребує незалежності від типів устаткування та забезпечення уніфікованого інтерфейсу для адміністратора.

Сумісність мережі дозволяє їй інтегрувати пристрої і програмне забезпечення від різних виробників. Це досягається завдяки використанню відкритих стандартів і модульної архітектури. У гетерогенних мережах, де застосовуються різноманітні протоколи та операційні системи, інтегрованість є критично важливою умовою їх ефективної роботи.

Підтримка QoS – це сукупність механізмів, які дозволяють пріоритетно обслуговувати критично важливі потоки даних шляхом управління чергами, агрегації та диференціації трафіку. Оскільки гарантії якості передавання залежать від усіх проміжних елементів, підтримка QoS має забезпечуватися по всьому маршруту трафіку, від початкового вузла до кінцевого.

1.3 Концепція розвитку NGN

Інтернет-телефонія, або технологія Voice over IP (VoIP), передбачає передавання мовної інформації через мережі з пакетною комутацією, зокрема через Інтернет. Функціонування цієї технології базується на використанні протоколу IP, який, хоча й виник як основа мережі Інтернет, нині широко застосовується і в інших мережах передачі даних. Процес передачі голосових повідомлень через IP-мережу охоплює кілька етапів: спочатку здійснюється оцифрування мовного сигналу, його стискання з метою зменшення обсягу

переданих даних та усунення надлишкових елементів, а потім – формування пакетів із додаванням службової інформації, включаючи адресацію, номери пакетів і контрольні дані.

Враховуючи відсутність гарантій доставки в мережах IP, передбачені механізми синхронізації та компенсації затримок і втрат: зокрема, тимчасове накопичення пакетів та алгоритми апроксимації при їх недоставці. Існують два основних підходи до організації передачі голосових даних – через відкритий Інтернет, що супроводжується непередбачуваними затримками, або через приватні мережі з виділеними каналами, де можлива фіксована швидкість передачі.

У цьому контексті особливу актуальність набуває концепція NGN (Next Generation Network) – мережі наступного покоління. Вона передбачає створення уніфікованого середовища для передачі голосу, відео та інших типів даних із використанням пакетної комутації. Основною перевагою NGN є відмова від каналозалежного підходу, натомість реалізується архітектура, в якій функції передачі даних фізично й логічно відокремлені від управління викликами та наданням послуг.

NGN поєднує переваги традиційних телефонних мереж – високу якість обслуговування та надійність – з гнучкістю, масштабованістю й низькими витратами, властивими мережам Інтернет. Така мережа дозволяє ефективно впроваджувати нові сервіси, адаптовані до потреб абонентів, зокрема через динамічний розподіл пропускну здатності каналів.

До ключових технологій, що лежать в основі NGN, належать DWDM (ущільнення оптичних сигналів за довжиною хвилі), яка забезпечує майже необмежену пропускну здатність, та MPLS (маршрутизація за мітками), що оптимізує передачу даних та забезпечує підтримку QoS. Завдяки цим технологіям перехід до NGN не потребує суттєвої перебудови існуючої інфраструктури операторів зв'язку.

Функціональна модель NGN включає три основні рівні: транспортний, рівень керування передачею і комутацією, а також рівень управління

послугами. Транспортна мережа забезпечує перенесення даних і може включати транзитні вузли, кінцеві пристрої доступу, контролери сигналізації та шлюзи для взаємодії з традиційними мережами.

Надання послуг відбувається на рівні службових вузлів (SN) або керувальних елементів (SCP), що забезпечують реалізацію широкого спектра інфокомунікаційних послуг.

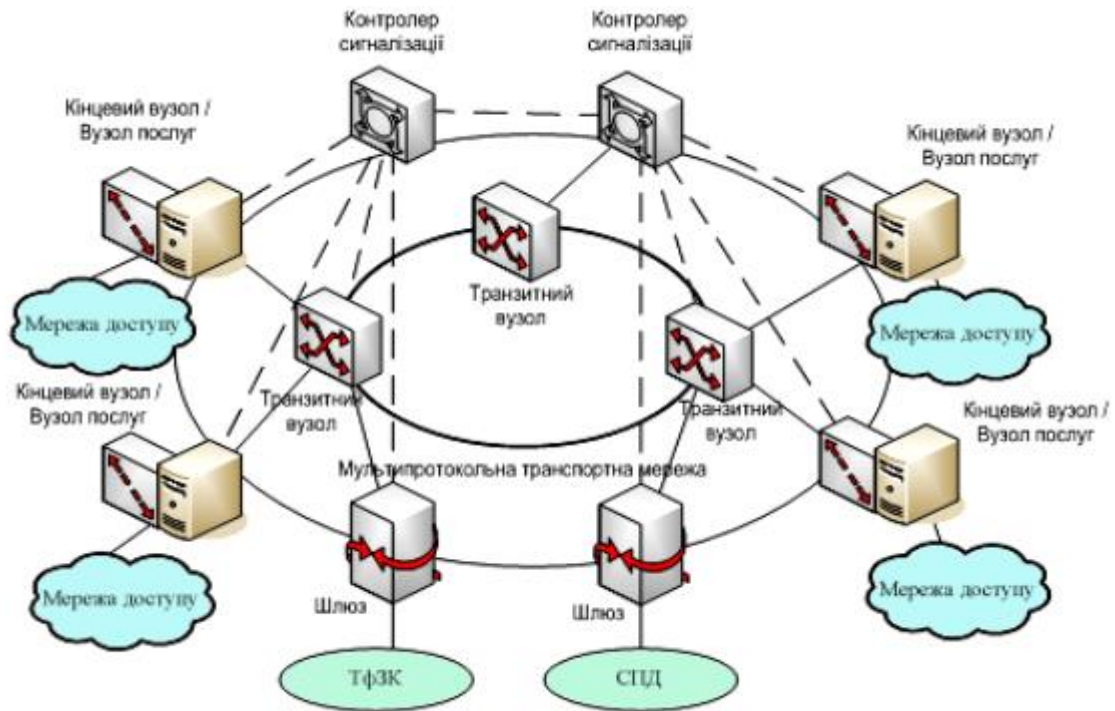


Рисунок 1.1 – Архітектура мережі зв'язку NGN

Вузли служб (SN) виступають як обладнання, що належить постачальнику телекомунікаційних послуг, і виконують роль серверів додатків у системі інфокомунікаційних сервісів, де клієнтська частина реалізується за допомогою кінцевого користувачького обладнання. Водночас вузли керування послугами (SCP) відповідають за управління логікою надання послуг та їх атрибутами.

Коли декілька вузлів SN або SCP обслуговують одну і ту ж послугу, вони формують платформу керування послугами. До її складу можуть також входити вузли адміністративного керування, а також сервери додатків різного функціонального призначення.

У структурі транспортної мережі кінцеві або кінцево-транзитні вузли можуть бути адаптовані до виконання функцій вузлів служб, що означає розширення їх функціональних можливостей за рахунок інтеграції сервісних компонентів. Побудова таких вузлів можлива завдяки використанню технологій гнучкої комутації, що забезпечує високу адаптивність та ефективність у наданні послуг.

2 ПЕРЕДАВАННЯ ТРАФІКУ У КОРПОРАТИВНІЙ МЕРЕЖІ

2.1 Особливості передавання потокового трафіку в сучасних мережах

Потокова передача даних (streaming) – це метод передавання інформації невеликими порціями (пакетами), який дає змогу відтворювати медіа-контент ще до завершення передачі всього файлу. Такий підхід особливо ефективний для трансляції мультимедійної інформації одночасно декільком абонентам, які можуть перебувати на значній географічній відстані один від одного.

Суть цієї технології полягає у стисканні, пакетуванні та послідовному передаванні медіафайлів до клієнтського пристрою. Розмір кожного пакета адаптується відповідно до пропускної здатності мережного каналу між сервером і клієнтом. Після накопичення мінімально необхідної кількості пакетів у буфері, програмне забезпечення на стороні клієнта здійснює їх декомпресію та починає відтворення, продовжуючи паралельно обробку наступних даних.

Завдання буферизації полягає в забезпеченні безперервності й плавності відтворення. Проте ефективність потокового передавання значною мірою залежить від технічних характеристик пристрою користувача, а також від стабільності й швидкості мережного з'єднання. Таким чином, якість аудіо- або відеопередачі визначається компромісом між швидкістю потоку (бітрейтом), здатністю системи до декодування та поточним станом мережі.

Бітрейт – один із ключових параметрів, що визначає якість передаваного контенту, однак варто враховувати, що багато сучасних кодеків використовують змінний бітрейт, через що номінальні значення можуть не відображати реального стану передачі.

Однією з основних переваг потокового методу є можливість миттєвого доступу до контенту, зокрема функціонал навігації всередині запису

(прокручування, перемикання до потрібного фрагмента) без необхідності повного завантаження файлу. Проте головною проблемою залишається забезпечення стабільної якості відтворення. У зв'язку з цим активно розробляються інтелектуальні алгоритми, що здійснюють аналіз втрачених фрагментів і реалізують їх апроксимацію для покращення загального сприйняття контенту.

Наразі не існує уніфікованого стандарту потокового відтворення, що зумовлено різноманіттям підходів до реалізації буферизації, кодування та компенсації втрат у різних програмних продуктах.



Рисунок 2.1 – Методи класифікації мережного трафіка

Мультисервісна мережа (МСМ) представляє собою уніфіковану багатофункціональну інфраструктуру, призначену для транспортування

різномітрової інформації – зокрема голосових повідомлень, відеосигналів і цифрових даних – з використанням технологій пакетної комутації на базі IP-протоколу. Відмітною ознакою таких мереж є поєднання високої надійності, притаманної традиційним телефонним системам, із низькими витратами на передавання інформації, характерними для сучасних мереж передачі даних.

Основна функція мультисервісної мережі полягає в консолідації гетерогенних інформаційно-телекомунікаційних систем і програмних засобів у єдине транспортне середовище. Це забезпечує можливість уніфікованої обробки як звичайного трафіку (наприклад, файлів чи даних), так і мультимедійного контенту в межах однієї інфраструктури, що, у свою чергу, сприяє оптимізації використання ресурсів і підвищенню керованості мережі.

Класифікація IP-трафіку в межах МСМ базується на багаторівневому аналізі характеристик переданих пакетів. Основними критеріями виступають номери портів протоколів TCP/UDP, сигнатури прикладного рівня, отримані з аналізу корисного навантаження пакетів, а також статистичні параметри трафіку, що описують характер взаємодії між мережевими вузлами. Комплексне застосування цих підходів дозволяє забезпечити точну ідентифікацію типів трафіку, оптимізувати політики обслуговування користувачів і підвищити загальний рівень мережевої безпеки.

Механізм обслуговування черг шляхом регулювання порядку обслуговування пакетів певного потоку трафіка дозволяє варіювати частоту їхньої обробки й у такий спосіб виділяти певну пропускну здатність даному потоку. Черги та засоби їхньої обробки є інструментами також управління перевантаженнями, коли мережний пристрій не може передати пакети на вихідний інтерфейс в тому темпі, у якому вони надходять.

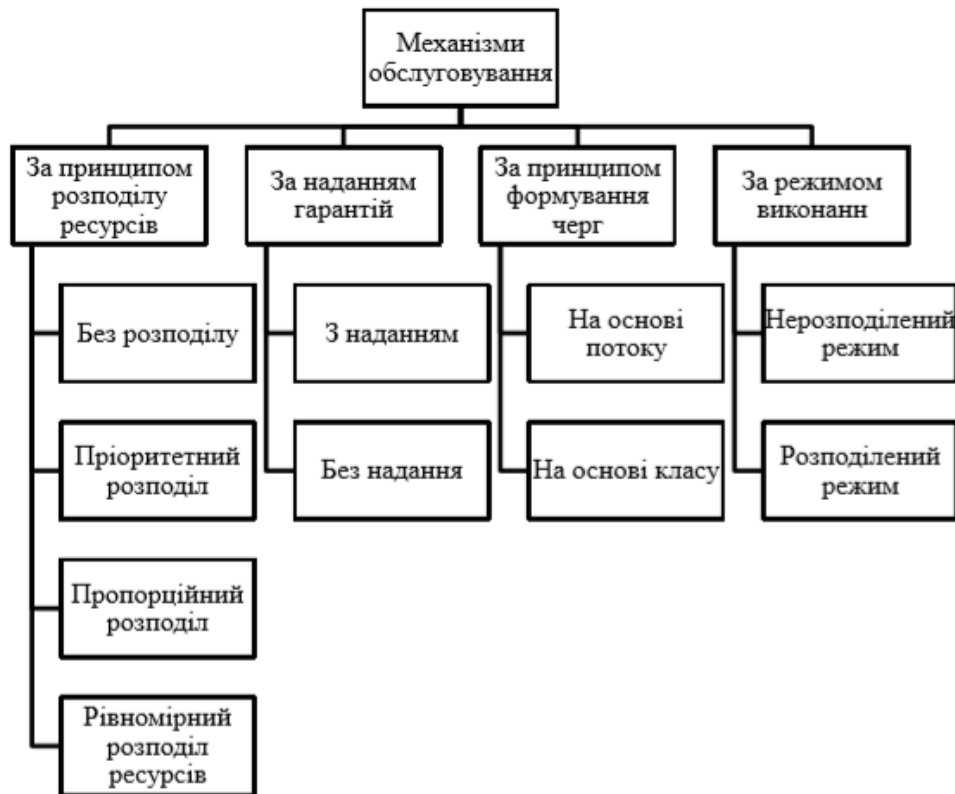


Рисунок 2.2 – Класифікація механізмів обслуговування черг

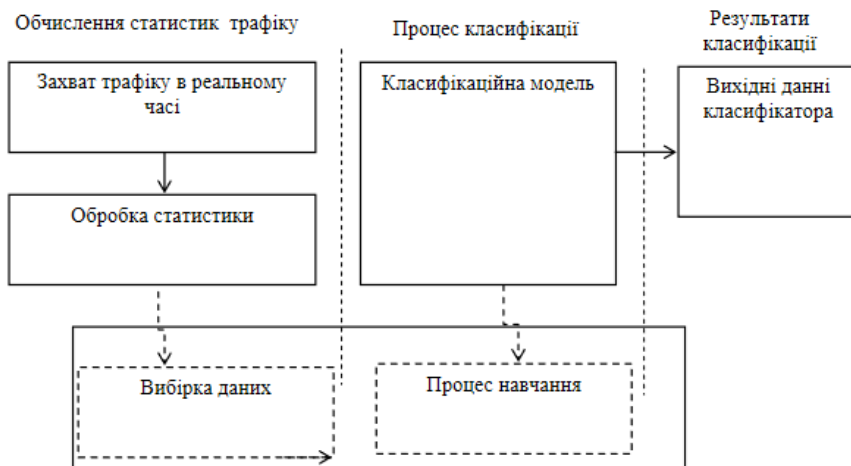


Рисунок 2.3 – Класифікація трафіку на основі статистичних методів

У межах статистичних методів аналізу мережевого трафіку розрізняють два концептуально різні підходи: поведінкові алгоритми та алгоритми, що функціонують на мережевому й транспортному рівнях з використанням статистичних характеристик. Поведінкові алгоритми мають на меті

ідентифікацію джерел домінуючого трафіку через аналіз взаємодії хостів у мережі, що дозволяє зробити висновки щодо типів застосунків, які функціонують на відповідних вузлах.

Натомість статистичний підхід ґрунтується на припущенні, що трафік, згенерований різними класами додатків, має характерні статистичні ознаки, які можуть бути використані для їх розпізнавання. Зокрема, такі характеристики, як розподіл розмірів пакетів, частота передавання, час між пакетами тощо, дозволяють виділяти патерни, типові для певних типів програмного забезпечення, і класифікувати трафік за функціональним призначенням відповідних додатків.

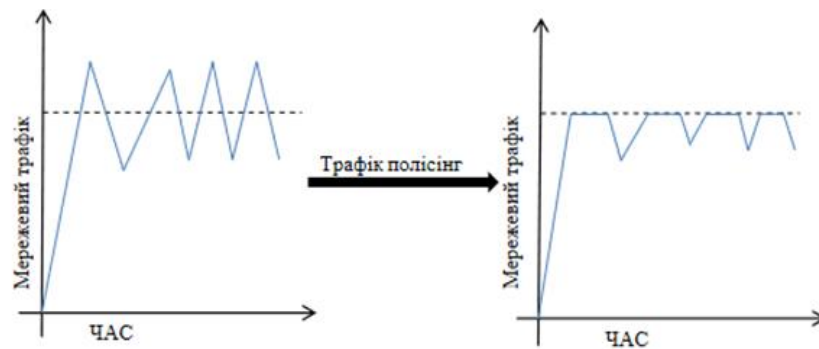


Рисунок 2.4 – Профілювання мережного трафіку

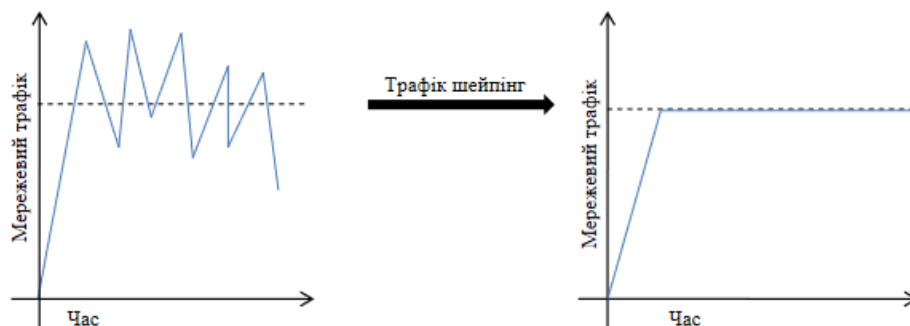


Рисунок 2.5 – Шейпування мережного трафіку

У системах управління мережевим трафіком використовуються два основні механізми: обмежувач (policer) та формувач (shaper), кожен з яких виконує специфічні функції щодо контролю пропускну

здатності.

Обмежувач (policer) забезпечує дотримання заданого рівня трафіку шляхом відсіву пакетів, якщо швидкість їх надходження перевищує встановлений поріг. Такий підхід передбачає негайне відкидання надлишкових пакетів без буферизації. Цей механізм може функціонувати як на вхідному, так і на вихідному інтерфейсі.

На відміну від нього, формувач трафіку (shaper) реалізує згладжування потоку даних, буферизуючи вихідний трафік і регулюючи його відповідно до заданих параметрів. Цей механізм зазвичай використовується на вихідних інтерфейсах з метою забезпечення стабільного рівня передавання даних та уникнення перевантаження каналів.



Рисунок 2.7 – Маятник QoS

Згідно з визначенням поняття QoS, яке трактує її як здатність мережі гарантувати певний рівень сервісу для конкретного потоку трафіку, можна виокремити три основні рівні реалізації QoS. Ці рівні варіюються від повної відсутності зобов'язань щодо якості передачі даних до суворого дотримання всіх параметрів обслуговування.

Першим рівнем є негарантована передача даних (best-effort service), яка не передбачає жодних механізмів контролю за якістю та орієнтована на максимальне використання наявних ресурсів без гарантій для окремих

потоків.

Другий рівень – обслуговування з пріоритетом (soft QoS) або диференційоване обслуговування (Differentiated Service, DiffServ), що забезпечує певну перевагу окремим класам трафіку на основі політик і пріоритетів, але без жорстких гарантій параметрів доставки

Третім і найвищим рівнем є гарантоване обслуговування (hard QoS), яке передбачає суворе дотримання всіх показників якості, таких як затримка, пропускна здатність і рівень втрат, і є обов'язковим для критично важливих застосувань.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Вибір програмних засобів

Програмний комплекс D-ITG (Distributed Internet Traffic Generator), призначений для тестування параметрів проходження трафіку, характеризується широким спектром функціональних можливостей. Зокрема, він підтримує генерацію трафіку з різними законами розподілу інтервалів між пакетами, такими як рівномірний, експоненціальний, Парето, розподіл Коші та інші. Це дає змогу об'єктивно оцінювати ключові параметри якості обслуговування (QoS).

Архітектура програмного забезпечення включає кілька взаємопов'язаних компонентів:

D-ITG Sender, який здійснює генерацію та передавання пакетів у заданій конфігурації;

D-ITG Receiver, що приймає трафік і формує відповідні лог-файли;

D-ITG Decoder, призначений для обробки журналів, створених Sender та Receiver, з метою розрахунку середніх значень основних параметрів QoS – бітрейту, затримки та джиттера – у визначені часові інтервали експерименту.

Завдяки цим інструментам забезпечується можливість проведення гнучкого і точного аналізу продуктивності мережевих з'єднань під різними умовами навантаження.



Рисунок 3.1 – Принцип роботи системи

```

Командная строка
C:\D-ITG-2.8.1-r1023-Win>ITGSend.exe -a 192.168.253.254 -rp 53 -T UDP -C 12 -c 1 28 -t 30000
ITGSend version 2.8.1 (r1023)
Compile-time options:
Started sending packets of flow ID: 1
Finished sending packets of flow ID: 1
C:\D-ITG-2.8.1-r1023-Win>
  
```

Рисунок 3.2 – Приклад генерації трафіку з використанням програмного забезпечення D-ITG Sender

```

Командная строка
C:\Users\Мария>cd C:\D-ITG-2.8.1-r1023-Win
C:\D-ITG-2.8.1-r1023-Win>ITGRecv.exe -l testd.txt
ITGRecv version 2.8.1 (r1023)
Compile-time options:
Press Ctrl-C to terminate
*** New Socket IPv6 created for signaling ***
Listening on UDP port : 53
Finish on UDP port : 53
Finish with CTRL-C!
C:\D-ITG-2.8.1-r1023-Win>
  
```

Рисунок. 3.3 – Приклад прийому трафіку з використанням програмного забезпечення D-ITG Receiver

```

Прокрутить Командная строка
C:\D-ITG-2.8.1-r1023-Win>ITGDec.exe testd.txt
ITGDec version 2.8.1 (r1023)
Compile-time options:
-----
Flow number: 1
From 192.168.253.254:52640
To 192.168.253.254:53
-----
Total time           = 29.916000 s
Total packets       = 360
Minimum delay       = 0.000000 s
Maximum delay       = 0.002000 s
Average delay       = 0.001081 s
Average jitter      = 0.000253 s
Delay standard deviation = 0.000455 s
Bytes received      = 46080
Average bitrate     = 12.322503 Kbit/s
Average packet rate = 12.033694 pkt/s
Packets dropped     = 0 (0.00 %)
Average loss-burst size = 0.000000 pkt
-----
***** TOTAL RESULTS *****
-----
Number of flows     = 1
Total time          = 29.916000 s
Total packets       = 360
Minimum delay       = 0.000000 s
Maximum delay       = 0.002000 s
Average delay       = 0.001081 s
Average jitter      = 0.000253 s
Delay standard deviation = 0.000455 s
Bytes received      = 46080
Average bitrate     = 12.322503 Kbit/s
Average packet rate = 12.033694 pkt/s
Packets dropped     = 0 (0.00 %)
Average loss-burst size = 0 pkt
Error lines         = 0
-----
C:\D-ITG-2.8.1-r1023-Win>_

```

Рисунок 3.3 – Приклад виводу показників якості з використанням програмного забезпечення D-ITG Decoder

На рисунку 3.5 представлені параметри, які можливо задавати при відправці з D-ITG Sender.

```

ITGSend [-m (msr_type)] [-a (destination_address)] [-rp (destination_port)]
[-sp (source_port)] [-T (protocol_type)] [-f (TTL)] [-b (DS byte)] [-rk
(receiver_serial_iface)] [-sk (sender_serial_iface)] [-D] [-P] [-s (seed)] [-t
(duration)] [-d (gen_delay)] [-p (payload_log_type)] [-j (enable_idt_recovery)]
[-l [(logfile)]] [-L [(log_server_addr)] [(protocol_type)]] [-x [(receiver_logfile)]]
[-X [(log_server_addr)] [(protocol_type)]] [[-C (pkts_per_s) | -U (min_pkts_per_s)(max_pkts_per_s)
-E (average_pkts_per_s) | -V (shape)(scale) | -Y (shape)(scale) | -N (mean)(std_dev)
-O (average_pkt_size) | -G (shape)(scale) | [-c (pkt_size) | -u (min_pkt_size)(max_pkt_size)
-e (average_pkt_size) | -v (shape)(scale) | -y (shape)(scale) | -n (mean)(std_dev)
| -o (average_pkt_size) | -g (shape)(scale)]] | [ Telnet | DNS | CSa | CSi |
Quake3 | VoIP [-x (codec_type)] [-h (protocol_type)] [-VAD ]

```

Рисунок 3.5 – Параметри в D-ITG Sender

Також при виборі змінного розміру пакету можна задати закон розподілу. На рисунку 3.5. показані закони розподілу розмірів пакетів.

Inter-departure time options:	
-C (pkts_per_s)	Constant inter-departure time (IDT)
-U (min_pkts_per_s) (max_pkts_per_s)	Uniformly distributed IDT
-E (average_pkts_per_s)	Exponentially distributed IDT
-V (shape) (scale)	Pareto distributed IDT
-Y (shape) (scale)	Cauchy distributed IDT
-N (mean) (std_dev)	Normal distributed IDT
-O (average_pkts_per_s)	Poisson distributed IDT
-G (shape) (scale)	Gamma distributed IDT

Рисунок 3.6 – Закони розподілення розмірів пакетів

Результати тестування зберігаються у вигляді бінарного файлу, що наданий на рисунку 3.3 під назвою testd.txt. Надалі за допомогою модуля D-ITGDecoder цей файл обробляється з метою формування текстових масивів даних, які містять основні параметри якості обслуговування (QoS). Параметри декодування, що можуть бути задані для D-ITGDecoder, наведені на рисунку 3.3 та дозволяють детально конфігурувати процес аналізу експериментальних результатів.

3.2 Налаштування обладнання для проведення аналізу

З метою проведення експериментального дослідження та побудови відповідної лабораторної установки було використано наступне обладнання: два маршрутизатори Cisco 2600, що працюють під керуванням операційної системи IOS версії 12.4, а також два ноутбуки на базі операційної системи Windows 10, на які було встановлено програмне забезпечення D-ITG для генерації та аналізу мережевого трафіку.

Топологія, що використовувалась у рамках експерименту, представлена на рисунку 3.7.

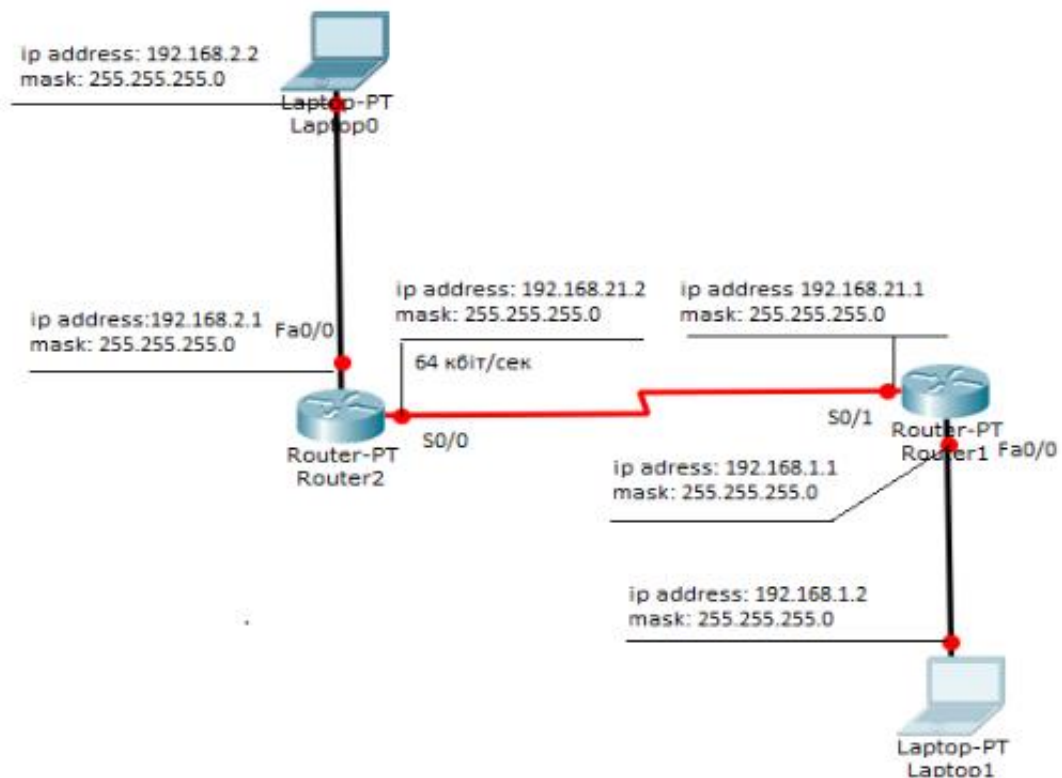


Рисунок 3.7 – Топологія експериментальної установки

Програмний комплекс D-ITG, призначений для моделювання мережевого трафіку, характеризується широкими функціональними можливостями. Зокрема, він підтримує генерацію трафіку із застосуванням різноманітних моделей розподілу, таких як рівномірна, експоненціальна, Парето, Коші тощо. Це дозволяє проводити якісну оцінку ключових показників якості обслуговування (QoS) у мережах. Складові програмного забезпечення забезпечують як генерацію, так і приймання трафіку, а також його подальший аналіз і декодування із формуванням зведених характеристик, таких як середня швидкість передавання даних, затримка й джиттер у визначених інтервалах дослідження.

Під час реалізації експериментального дослідження було побудовано тестову установку, до складу якої увійшли два маршрутизатори Cisco 2611XM під керуванням операційної системи IOS версії 12.1, а також два персональні комп'ютери з інстальованим програмним забезпеченням D-ITG, що функціонують на базі Windows 10. Логічна та фізична структура

мережевої конфігурації представлена у відповідній схемі.

У рамках налаштування експерименту комп'ютеру Laptop0 було присвоєно IP-адресу 192.168.2.2 із маскою підмережі 255.255.255.0 та основним шлюзом 192.168.2.1. На цьому ж пристрої додаток D-ITG було активовано в режимі генерації трафіку. Механізм дослідження передбачав одночасну генерацію, протягом десяти секунд, трьох типів трафіку, що моделювали IP-телефонію, електронну пошту та передавання файлів по FTP-протоколу, з використанням відповідних портів призначення. Згенерований трафік надсилався на Laptop1, де програма D-ITG функціонувала у режимі приймання пакетів. Дослід проводився з моделюванням трьох варіантів пріоритизації трафіку, що дозволило оцінити ефективність управління QoS у різних сценаріях.

```
Router1(config)#ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 10.10.10.2
Router2(config)#ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 10.10.10.1
```

Рисунок 3.7 – Налаштування статичної маршрутизації

У межах експериментального дослідження, з використанням генератора трафіку D-ITG, на комп'ютері Laptop1 здійснювалася генерація трафіку, що імітував діяльність чотирьох різних мережевих додатків. До досліджуваного трафіку входили запити, характерні для IP-телефонії (порт 17001), електронної пошти через протокол SMTP (порт 25), доменної служби DNS (порт 53), а також веб-трафік HTTP (порт 80).

Для одночасної передачі трафіку в чотирьох потоках було сформовано відповідний сценарій, представлений на рисунку 3.5. У ньому вказано IP-адресу приймаючого вузла (10.10.2.2), протокол транспортного рівня (UDP), інтенсивність передачі (п'ять пакетів на секунду), розмір пакета (128 біт) та загальну тривалість генерації (30 секунд, що еквівалентно 30000 мілісекундам). У подальшій частині експерименту передбачено варіювання кількості згенерованих пакетів за секунду з метою дослідження впливу

навантаження на параметри якості обслуговування.

```

1 -a 10.10.2.2 -rp 17001 -T UDP -C 5 -c 128 -t 30000
2 -a 10.10.2.2 -rp 25 -T UDP -C 5 -c 128 -t 30000
3 -a 10.10.2.2 -rp 53 -T UDP -C 5 -c 128 -t 30000
4 -a 10.10.2.2 -rp 80 -T UDP -C 5 -c 128 -t 30000
5

```

Рисунок 3.8 – Batch-скрипт для генерації мультисервісного трафіку при значенні бітрейту 20 кбіт/сек

У першому експериментальному сценарії було згенеровано мережевий трафік із сумарною швидкістю передавання даних на рівні 20 кбіт/с, що направлявся від комп'ютера Laptop1 до Laptop2. Враховуючи, що пропускна спроможність каналу, налаштованого між маршрутизаторами, становила 64 кбіт/с, такий обсяг трафіку є суттєво нижчим за доступну межу, що дозволяє уникнути перевантаження та втрат. Формування трафіку здійснювалося програмним комплексом D-ITG із використанням параметрів, заданих у сценарії, поданому на рисунку 3.8, і включало одночасну генерацію чотирьох типів даних.

У другому випадку сумарний бітрейт усіх потоків становив 61 кбіт/с, що майже дорівнює граничній пропускній здатності каналу. За цих умов дослідження мало на меті перевірити стабільність мережі в умовах високого навантаження та наближення до межі каналної пропускної здатності. Генерація трафіку також здійснювалась за допомогою D-ITG з використанням конфігураційного сценарію, що представлений на рисунку 3.9, з відтворенням тих самих чотирьох типів трафіку.

```

1 -a 10.10.2.2 -rp 17001 -T UDP -C 15 -c 128 -t 30000
2 -a 10.10.2.2 -rp 25 -T UDP -C 15 -c 128 -t 30000
3 -a 10.10.2.2 -rp 53 -T UDP -C 15 -c 128 -t 30000
4 -a 10.10.2.2 -rp 80 -T UDP -C 15 -c 128 -t 30000
5

```

Рисунок 3.9 – Batch-скрипт для генерації мультисервісного трафіку при значенні бітрейту 61 кбіт/сек

У третьому експериментальному сценарії було згенеровано мережевий трафік із сукупною швидкістю передавання 70 кбіт/с, що спрямовувався від комп'ютера Laptop1 до Laptop2. Оскільки цей обсяг перевищує встановлену пропускну спроможність каналу зв'язку між маршрутизаторами, яка становить 64 кбіт/с, це створює умови перевантаження мережі. За таких обставин досліджується здатність системи забезпечити обслуговування трафіку в умовах перенасичення.

Генерація трафіку здійснювалась за допомогою програмного забезпечення D-ITG, з використанням налаштувань, зазначених у конфігураційному сценарії, наведеному на рисунку 3.10. Протягом експерименту одночасно передавались чотири типи трафіку з визначеними параметрами, що дозволило проаналізувати вплив навантаження на якість обслуговування.

```
1 -a 10.10.2.2 -rp 17001 -T UDP -C 17 -c 128 -t 30000
2 -a 10.10.2.2 -rp 25 -T UDP -C 17 -c 128 -t 30000
3 -a 10.10.2.2 -rp 53 -T UDP -C 17 -c 128 -t 30000
4 -a 10.10.2.2 -rp 80 -T UDP -C 17 -c 128 -t 30000
5
```

Рисунок 3.10 – Batch-скрипт для генерації мультисервісного трафіку при значенні бітрейту 70 кбіт/сек

У четвертому експериментальному сценарії відтворювався мережевий трафік із загальним бітрейтом 78 кбіт/с, який передавався від комп'ютера Laptop1 до Laptop2. Оскільки обсяг трафіку перевищує допустиму пропускну спроможність каналу, що дорівнює 64 кбіт/с, це створює умови значного перевантаження мережі та дозволяє дослідити її поведінку у критичних режимах навантаження.

Формування трафіку здійснювалося з використанням програмного комплексу D-ITG. Конфігураційні параметри для генерації чотирьох типів мережевого трафіку, які одночасно передавались в мережі, були задані у відповідному сценарії, наведеному на рисунку 3.11. Це дало змогу оцінити

рівень деградації обслуговування внаслідок перевищення меж пропускної здатності.

```
1 -a 10.10.2.2 -rp 17001 -T UDP -C 19 -c 128 -t 30000
2 -a 10.10.2.2 -rp 25 -T UDP -C 19 -c 128 -t 30000
3 -a 10.10.2.2 -rp 53 -T UDP -C 19 -c 128 -t 30000
4 -a 10.10.2.2 -rp 80 -T UDP -C 19 -c 128 -t 30000
5
```

Рисунок 3.11 – Batch-скрипт для генерації мультисервісного трафіку при значенні бітрейту 78 кбіт/сек

У п'ятому експериментальному випадку було здійснено генерацію мережевого трафіку з бітрейтом 98 кбіт/с, який спрямовувався від комп'ютера Laptop1 до Laptop2. Такий обсяг передаваних даних істотно перевищує встановлену пропускну спроможність каналу в 64 кбіт/с, що створює умови глибокого перевантаження і дозволяє дослідити критичні зміни у параметрах якості обслуговування.

Трафік формувался за допомогою програмного засобу D-ITG із використанням конфігураційних параметрів, наведених у сценарії на рисунку 3.12. Під час дослідження одночасно генерувались чотири типи трафіку, що забезпечило всебічний аналіз реакції мережі на надлишкове навантаження.

```
1 -a 10.10.2.2 -rp 17001 -T UDP -C 24 -c 128 -t 30000
2 -a 10.10.2.2 -rp 25 -T UDP -C 24 -c 128 -t 30000
3 -a 10.10.2.2 -rp 53 -T UDP -C 24 -c 128 -t 30000
4 -a 10.10.2.2 -rp 80 -T UDP -C 24 -c 128 -t 30000
5
```

Рисунок 3.12 – Batch-скрипт для генерації мультисервісного трафіку при значенні бітрейту 98 кбіт/сек

3.3 Етапи аналізу

Дл У контексті завдання підвищення якості IP-телефонії особливого значення набуває моніторинг основних показників стану мережі під час передавання мережевого трафіку. Відповідні параметри, які необхідно

враховувати у процесі аналізу, наведено на рисунку 3.13.

Показник	Опис	Одиниця вимірювання
Втрата пакетів	Описує, яка кількість пакетів втрачається при передаванні від вузла відправника до вузла отримувача	%
Бітрейт	Описує, який об'єм трафіку передається в секунду	кбіт/сек
Затримка	Описує час за який пакет потрапляє від вузла відправника до вузла отримувача	мілісекунда
Джитер	Описує різницю в затримці при передачі пакетів одного потоку	мілісекунда

Рисунок 3.13 – Показники, які використовуються при проведенні аналізу

3.4 Аналіз пріорітизації трафіка на основі технології управління чергами

На маршрутизаторі Router1 налаштована технологія керування чергами FIFO.

```
Router1(config)#interface serial0/0
Router1(config-if)#no fair-queue
```

Рисунок 3.14 – Налаштування технології управління чергами FIFO

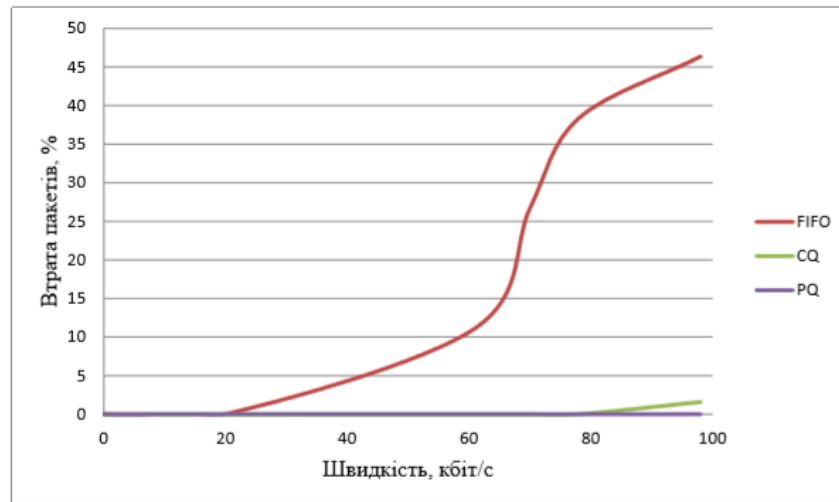


Рисунок 3.15 – Порівняльний аналіз результатів експериментів стосовно VoIPтрафіку

На основі проведеного аналізу показників втрати пакетів та побудованого порівняльного графіка залежності втрат пакетів IP-телефонії від загальної швидкості генерації мережевого трафіку, було встановлено, що незалежно від типу навантаження на мережу, найефективнішим методом підвищення якості обслуговування IP-телефонії є використання технології управління мережевим трафіком на основі алгоритму пріоритетного обслуговування (Priority Queuing, PQ).

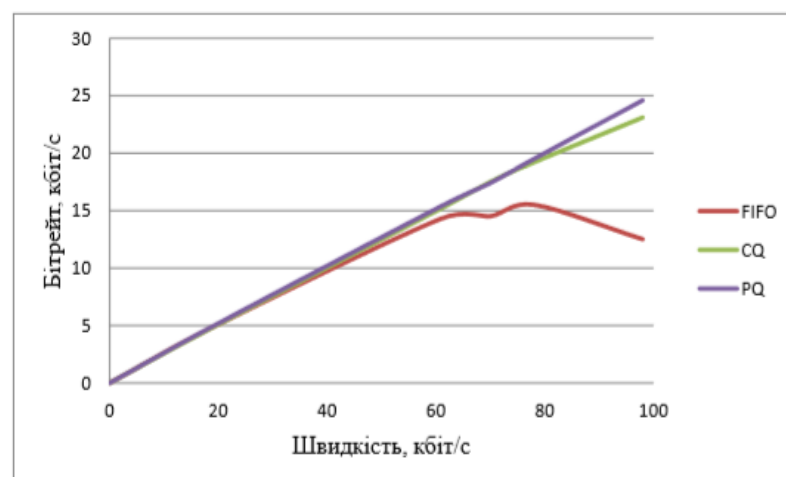


Рисунок 3.16 – Порівняльний аналіз результатів експериментів стосовно VoIP трафіку

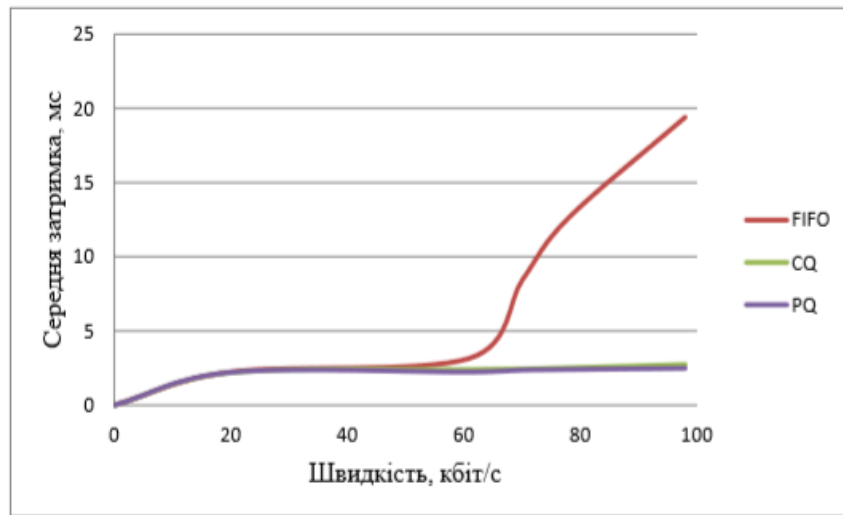


Рисунок 3.17 – Порівняльний аналіз результатів експериментів стосовно VoIP трафіку

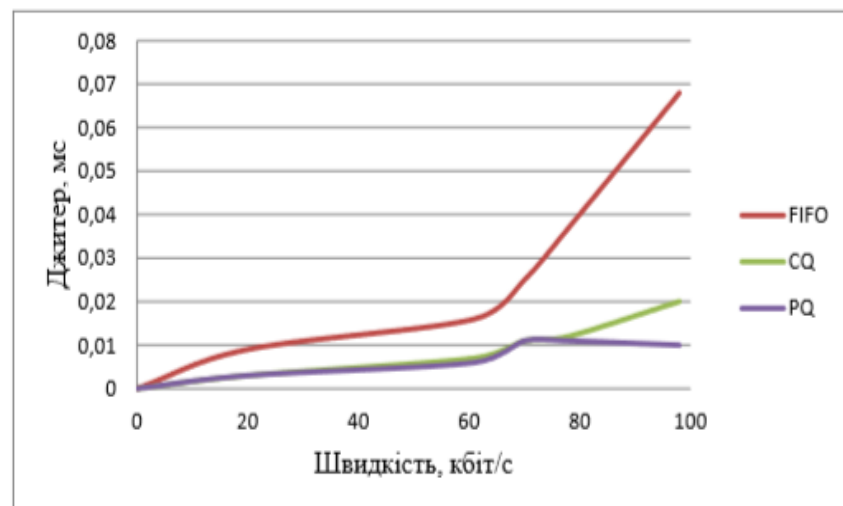


Рисунок 3.18 – Порівняльний аналіз результатів експериментів стосовно VoIP трафіку

На основі аналізу показників бітрейту, втрат і затримок пакетів IP-телефонії, а також порівняльних графіків залежності цих параметрів від загального обсягу згенерованого мережевого трафіку, встановлено, що технологія управління трафіком Priority Queuing (PQ) демонструє найвищу ефективність у забезпеченні якості обслуговування в усіх сценаріях навантаження мережі.

Порівняльний аналіз технологій FIFO, PQ та CQ за результатами експериментального дослідження показав, що при навантаженні, значно нижчому за пропускну здатність каналу (64 кбіт/с), всі три підходи демонструють схожі результати: низькі затримки та джитер, відсутність втрат і стабільний бітрейт. Однак, при навантаженні, що наближається до граничної пропускну здатності, технології PQ та CQ виявляють суттєву перевагу над FIFO, зокрема щодо рівня затримок у високопріоритетному трафіку. Затримки в алгоритмі FIFO у таких умовах зростають у 1,5 рази, що робить його непридатним для забезпечення якості обслуговування IP-телефонії.

У ситуації, коли мережа перевантажена (тобто загальний бітрейт перевищує 90 кбіт/с), алгоритм PQ продовжує забезпечувати прийнятні показники втрат і затримок у порівнянні з CQ та FIFO, що свідчить про його високу адаптивність до умов надмірного навантаження. Таким чином, можна зробити висновок, що технологія Priority Queuing є найбільш ефективним інструментом пріоритизації трафіку для забезпечення якості обслуговування IP-телефонії, особливо в умовах динамічного або критичного навантаження на мережу.

ВИСНОВКИ

У межах виконаної роботи було реалізовано програмні засоби для моніторингу мережевого трафіку, що дозволило здійснити практичну оцінку параметрів якості обслуговування в мультисервісних IP-мережах. Проведено детальний аналіз існуючих методів підвищення рівня QoS, а також розглянуто підходи до класифікації трафіку з урахуванням його характерних властивостей.

Окрему увагу приділено дослідженню інфраструктури сучасних мультисервісних мереж, включаючи аналіз їхньої архітектури, транспортних механізмів і систем управління трафіком. Проаналізовано характеристики основних типів мережевого трафіку та визначено їх специфічні вимоги до параметрів обслуговування, зокрема затримки, джитеру та втрат пакетів. На основі отриманих результатів сформульовано рекомендації щодо застосування ефективних методів підвищення якості обслуговування в умовах змінного навантаження.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ершов В.А, Кузнецов Н.А. Мультисервисные телекоммуникационные сети. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. - 432 с.
2. IP-сети - Стандарты_QoS [Электронный ресурс]. – 2016.
3. Таненбаум Э. Компьютерные сети. Принципы технологии, протоколы: учебник для студ. высш. уч. зав. / Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл. – [5-е изд.]. – СПб.: Питер, 2012. – 964с.
4. Одом У. Официальное руководство Cisco по подготовке к сертификационным экзаменам CCETN/CCNA ICND1 640-822 / Третье издание , 2013 - 720 с.
5. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы технологии, протоколы: учебник для студ. высш. уч. зав. / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – [5-е изд.]. – СПб.: Питер, 2016. – 996с.
6. General Recommendations on the transmission quality for an entire international telephone connection // ITU-T Recommendation G.114. – 2003.
7. Network Performance objectives for IP-based services // ITU-T Recommendation Y.1540/Y.1541. – 2006.
8. Олифер В. Искусство оптимизации трафика / Олифер В, Олифер Н.. // Журнал сетевых решений. – 2001. – с. 38–47.
9. Уровни эталонной модели OSI. Технологии MIMO и mesh-сети. [Электронный ресурс]