

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет комп'ютерної інженерії та управління  
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин  
(повна назва)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**Пояснювальна записка**

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Моделі та методи управління трафіком в  
корпоративній комп'ютерній мережі

(тема)

Виконав:

здобувач 2 року навчання,

групи СПМ-23-4

Матвій КОРОБСІЙНИКОВ

(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність

123 «Комп'ютерна інженерія»

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-наукова

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма

Системне програмування

(повна назва освітньої програми)

Керівник: зав. каф. Андрій КОВАЛЕНКО

(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри ЕОМ

(підпис)

Андрій КОВАЛЕНКО

(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ комп'ютерної інженерії та управління \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_ електронних обчислювальних машин \_\_\_\_\_

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський) \_\_\_\_\_

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

Тип програми \_\_\_\_\_ освітньо-наукова \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма \_\_\_\_\_ Системне програмування \_\_\_\_\_  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві \_\_\_\_\_ Коробейнікову Матвію Борисовичу \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделі та методи управління трафіком в корпоративній комп'ютерній мережі

затверджена наказом по університету від “ 21 ” квітня 2025 р. № 296 Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 16 червня 2025 р.

3. Вхідні дані до роботи \_\_\_\_\_  
корпоративна мережа  
трафік  
управління трафіком  
кібербезпека

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі \_\_\_\_\_

Теоретичні основи управління трафіком у корпоративній мережі

Методи управління трафіком у корпоративних мережах

Моделювання процесів управління трафіком у корпоративній мережі

Практична реалізація та аналіз результатів

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій 14 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 літератури	21.04.2025–29.04.2025	
2	Огляд існуючих моделей та методів	30.04.2025–10.05.2025	
3	Розробка методу	11.05.2025–20.05.2025	
4	Вибір програмних засобів	21.05.2025–29.05.2025	
5	Програмна реалізація	30.05.2025–02.06.2025	
6	Аналіз отриманих результатів	03.06.2025–05.06.2025	
7	Оформлення записки	06.06.2025–14.06.2025	

Дата видачі завдання “ 21 ” квітня 2025 р.

Здобувач

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис)

зав. каф. Андрій КОВАЛЕНКО

(посада, власне ім'я, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 73 с., 11 рис., 2 дод., 9 джерел.

УПРАВЛІННЯ ТРАФІКОМ, КОРПОРАТИВНА МЕРЕЖА, МАШИННЕ НАВЧАННЯ, ПРОГНОЗУВАННЯ, QOS, АДАПТИВНІСТЬ, GOOGLE COLAB.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження існуючих методів та моделей управління трафіком у корпоративних мережах, а також розробка та практична реалізація адаптивного методу управління трафіком у корпоративній мережі з використанням машинного прогнозування навантаження для забезпечення ефективного розподілу мережевих ресурсів, підвищення якості обслуговування та стійкості до перевантажень у динамічних умовах функціонування інформаційної інфраструктури.

У ході виконання кваліфікаційної роботи обґрунтовано актуальність проблеми, проаналізовано класифікацію існуючих методів управління трафіком, здійснено їх порівняльний аналіз за критеріями точності, адаптивності, ресурсоємності та придатності до масштабування.

Особливу увагу зосереджено на побудові та впровадженні адаптивно-пріоритетного методу управління трафіком, що поєднує принципи пріоритетного обслуговування з машинним прогнозуванням навантаження. Метод реалізовано в середовищі Google Colaboratory з використанням бібліотек Python. Проведено генерацію синтетичних типів трафіку, побудовано прогнозну модель із використанням алгоритмів машинного навчання (лінійна регресія, дерево рішень, випадковий ліс), виконано аналіз точності та ефективності прийняття рішень щодо обслуговування різних класів даних.

## ABSTRACT

Master's thesis: 73 pages, 11 figures, 2 appendices, 9 sources.

TRAFFIC MANAGEMENT, CORPORATE NETWORK, MACHINE LEARNING, FORECASTING, QOS, ADAPTABILITY, GOOGLE COLAB.

The major goal of this thesis is to investigate existing methods and models of traffic management in corporate networks, as well as to design and implement an adaptive traffic management method incorporating machine learning-based load prediction. The aim is to ensure efficient allocation of network resources, enhance quality of service (QoS), and maintain resilience to overloads under dynamic operational conditions of the information infrastructure.

In order to the relevance of the problem has been substantiated, existing traffic management methods have been classified, and a comparative analysis has been conducted based on key criteria such as accuracy, adaptability, computational complexity, and scalability.

Particular attention has been paid to the development and implementation of an adaptive priority-based traffic management method that integrates service prioritization principles with machine learning-based load forecasting. The method has been implemented in the Google Colaboratory environment using Python libraries. Synthetic traffic types were generated, a predictive model was constructed using machine learning algorithms (linear regression, decision tree, random forest), and an analysis of decision-making accuracy and effectiveness across different data classes was conducted.

## ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ .....	8
ВСТУП .....	10
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ТРАФІКОМ У КОРПОРАТИВНІЙ МЕРЕЖІ .....	12
1.1 Методи обробки даних в корпоративній мережі .....	15
1.2 Технічний захист даних.....	21
1.3 Класифікація мережевого трафіку .....	24
1.4 Принципи управління трафіком .....	27
1.5 Існуючі моделі управління трафіком .....	28
2 МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ТРАФІКОМ.....	33
2.1 Класифікація методів управління трафіком.....	33
2.2 Статистичні методи управління трафіком.....	34
2.3 Динамічні методи управління трафіком.....	36
2.4 Інтелектуальні методи управління трафіком .....	38
2.5 Порівняльний аналіз ефективності методів .....	40
3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ТРАФІКОМ У КОРПОРАТИВНІЙ МЕРЕЖІ .....	43
3.1 Особливості моделювання трафіку .....	45
3.2 Використання програмних інструментів для моделювання.....	46
3.3 Адаптивно-пріоритетний метод управління трафіком з машинним прогнозуванням навантаження .....	49
4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ .....	52
4.1 Обґрунтування вибору середовища Google Colab для реалізації методу.....	52
4.2 Алгоритм реалізації розробленого методу в Google Colab.....	53
4.3 Аналіз отриманих результатів .....	55
ВИСНОВКИ.....	60

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	62
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	63
ДОДАТОК Б Програмний код.....	71
Б.1 Підготовка середовища та даних .....	71
Б.2 Генерація різних типів трафіку .....	71
Б.3 Візуалізація трафіку за типами.....	71
Б.4 Побудова прогнозної моделі на Total трафік. Порівняння прогнозу з реальністю.....	72
Б.7 Візуалізація адаптивної реакції .....	73
Б.8 Порівняння різних моделей прогнозування трафіку .....	73

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ACL – список керування доступом

AI – штучний інтелект

ANN – штучна нейронна мережа

API – програмний інтерфейс застосунку

Colab – Google Colaboratory

CPU – центральний процесор

CSV – формат табличних даних

DNS – система доменних імен

DNS TTL – час життя запису в DNS

DoS/DDoS – атака відмови в обслуговуванні / розподілена атака

DSL – виділена лінія зв'язку

GNS3 – Graphical Network Simulator 3

GPU – графічний процесор

GUI – графічний інтерфейс користувача

HTML – мова розмітки гіпертексту

IP – інтернет-протокол

LAN – локальна обчислювальна мережа

LSTM – довготривала короткочасна пам'ять

MAE – середня абсолютна похибка

ML – машинне навчання

MSE – середньоквадратична похибка

NFV – віртуалізація мережевих функцій

NS-3 – Network Simulator версії 3

OMNeT++ – об'єктно-орієнтоване середовище моделювання мереж

OPNET – Optimized Network Engineering Tools

PDU – одиниця передачі даних

QoS – якість обслуговування

$R^2$  – коефіцієнт детермінації

RMSE – корінь середньоквадратичної похибки

SLA – угода про рівень обслуговування

SDN – програмно-зорієнтована мережа

TCP – протокол керування передачею

TPU – тензорний процесор

UDP – протокол користувачьких дейтаграм

VPN – віртуальна приватна мережа

WAN – глобальна обчислювальна мережа

## ВСТУП

У сучасних умовах цифрової трансформації бізнесу корпоративні мережі відіграють ключову роль у забезпеченні ефективного функціонування організацій. Зростання обсягів інформаційного обміну, широке впровадження хмарних технологій, віддалена робота, відеоконференції, інтеграція систем моніторингу та управління – усе це спричиняє істотне зростання навантаження на мережеву інфраструктуру. Як наслідок, ефективне управління мережевим трафіком стає критично важливим фактором для підтримки продуктивності, надійності та безпеки корпоративної мережі.

Неефективне управління трафіком може призводити до затримок у передачі даних, втрати пакетів, перевантаження окремих вузлів мережі, що негативно впливає на якість сервісів, викликає фінансові втрати та шкодить репутації компанії. У зв'язку з цим зростає попит на нові методи і моделі, які дозволяють не лише аналізувати поточний стан мережі, а й прогнозувати поведінку трафіку, динамічно реагувати на зміни, забезпечуючи при цьому оптимальний розподіл ресурсів.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження існуючих методів та моделей управління трафіком у корпоративних мережах, а також розробка та практична реалізація адаптивного методу управління трафіком у корпоративній мережі з використанням машинного прогнозування навантаження для забезпечення ефективного розподілу мережевих ресурсів, підвищення якості обслуговування та стійкості до перевантажень у динамічних умовах функціонування інформаційної інфраструктури.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні завдання:

- провести аналіз сучасних підходів до управління трафіком у корпоративних мережах, охарактеризувати їх переваги та недоліки;

- здійснити класифікацію існуючих методів управління трафіком за принципами дії, рівнем адаптивності та технологічною сумісністю;
- розробити концептуальну модель адаптивно-пріоритетного методу управління з урахуванням пріоритетності трафіку та прогнозованих навантажень;
- реалізувати побудовану модель у програмному середовищі Google Colab з використанням алгоритмів машинного навчання;
- створити генератор синтетичних типів трафіку для імітаційного моделювання вхідних потоків;
- провести порівняльний аналіз точності прогнозних моделей та оцінити ефективність запропонованого методу за відповідними метриками (MSE,  $R^2$  тощо).

Об'єктом дослідження є процеси управління трафіком у корпоративних мережах

# 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ТРАФІКОМ У КОРПОРАТИВНІЙ МЕРЕЖІ

У сучасних умовах цифрової трансформації бізнесу, корпоративні мережі стали критично важливими елементами інформаційної інфраструктури підприємств, які об'єднують численні системи, пристрої та сервіси в єдиний інформаційний простір. Щодня в таких мережах генерується, передається, зберігається і опрацьовується величезний обсяг даних, що охоплює всі аспекти діяльності організації – від фінансових операцій і логістики до комунікацій з клієнтами та внутрішніх процесів управління. Успішне функціонування корпоративної мережі неможливе без ефективної обробки даних, яка дозволяє отримувати з сирової інформації цінні знання, приймати стратегічні рішення, забезпечувати безпеку інформації та оптимізувати ресурси. В умовах високої конкуренції, стрімкого зростання кількості інформаційних потоків і зростаючих вимог до оперативності прийняття рішень, саме методи обробки даних відіграють ключову роль у забезпеченні аналітичної спроможності підприємств.

Методи обробки даних у корпоративному середовищі знаходять застосування в найрізноманітніших сферах бізнесу. У фінансовому секторі вони використовуються для аналізу транзакцій, управління ризиками, прогнозування коливань ринку та виявлення шахрайства. У сфері логістики – для оптимізації маршрутів, контролю складських запасів і координації поставок у режимі реального часу. У маркетингу – для вивчення поведінки клієнтів, сегментації аудиторії та персоналізації комунікацій. У HR-відділах – для оцінки продуктивності персоналу та підбору кандидатів. У сфері охорони здоров'я – для аналізу медичних даних пацієнтів, оптимізації процесів надання послуг та підтримки клінічних рішень. Крім того, обробка даних є основою для розвитку систем штучного інтелекту, цифрових двійників, кібербезпеки та автоматизованого управління підприємствами. Традиційні

підходи до обробки даних поступово поступаються місцем сучасним технологіям, що базуються на використанні Big Data, обробці потокової інформації в реальному часі, хмарних обчисленнях, інтелектуальному аналізі даних та машинному навчанні. При цьому особливої уваги набувають питання захисту даних, їхньої цілісності, доступності, а також дотримання нормативно-правових вимог щодо конфіденційності.

Успішна діяльність сучасних підприємств значною мірою залежить від ефективності обробки великих обсягів інформації, що циркулює в корпоративних мережах. Це включає збір, систематизацію, зберігання, аналіз та передачу даних між різними підрозділами компанії, а також з зовнішніми контрагентами. Складність обробки інформації ускладнюється зростанням її обсягів, необхідністю забезпечення оперативного доступу до даних, а також посиленням вимог до безпеки та захисту інформації. У межах корпоративної мережі обробка даних є процесом, що охоплює повний життєвий цикл інформації – від моменту її створення або надходження ззовні до збереження, аналізу та подальшого використання у процесі прийняття рішень. Щоб зрозуміти сутність обробки даних у такому контексті, необхідно чітко усвідомлювати, що собою являє корпоративна мережа та які типи даних циркулюють у її межах.

Корпоративна мережа являє собою інтегроване середовище, що поєднує комп'ютерні системи, сервери, сховища, мережеве обладнання, програмне забезпечення та користувачів в єдиний інформаційний простір. Така мережа забезпечує безперервну комунікацію між усіма структурними підрозділами організації, незалежно від їхнього фізичного розташування, дозволяючи централізовано управляти даними, обмінюватися інформацією, забезпечувати доступ до систем управління ресурсами, звітності та підтримки клієнтів.

Дані, що циркулюють у корпоративному середовищі, за своєю природою можуть мати різний формат та ступінь структурованості. До структурованих даних належать інформаційні масиви, які мають чітко

визначену форму подання, як-от числові таблиці або записи в реляційних базах даних. Неструктуровані дані, навпаки, не мають фіксованої структури – це можуть бути електронні листи, текстові документи, аудіо- та відеофайли, зображення або соціальні повідомлення. Окрему категорію становлять напівструктуровані дані, які мають певну організацію, але не відповідають традиційним форматам реляційних баз.

Обробка даних у цьому контексті передбачає не лише їхню технічну обробку в обчислювальному сенсі, але й включає етапи збору, фільтрації, агрегування, трансформації, аналізу та подальшого представлення в зручному для інтерпретації вигляді. Важливою характеристикою є те, що корпоративна обробка даних часто вимагає врахування складної ієрархії доступу, ролей користувачів, рівнів безпеки та дотримання політик зберігання й обробки відповідно до нормативних вимог.

Визначальним моментом є те, що корпоративні дані не існують ізольовано. Вони тісно інтегруються у бізнес-процеси організації, створюючи контекст, у якому набувають значення. Саме це визначає потребу в побудові комплексної інфраструктури для їхньої обробки, яка має відповідати масштабам, структурі та динаміці компанії.

Таким чином, розуміння базових понять, пов'язаних із природою корпоративних мереж і типами даних, що в них обробляються, є критично важливим для ефективного впровадження сучасних методів обробки інформації в умовах високої інтенсивності цифрових трансакцій та аналітичних запитів. Усе це створює потребу в системному вивченні процесів, пов'язаних з обробкою даних у межах корпоративної мережі. Зважаючи на зростаючі вимоги до оперативності, достовірності та масштабованості інформаційних рішень, необхідно розглядати не лише загальні принципи функціонування таких систем, а й конкретні методи, що застосовуються для забезпечення цілісного циклу роботи з даними – від їхнього збору до побудови аналітичних звітів. У цьому контексті особливої актуальності набуває аналіз сучасних підходів до трансформації даних,

вибору алгоритмів обробки, засобів автоматизації та інструментів візуалізації, що дозволяють не лише зберігати інформацію, а й витягувати з неї практичну користь для управлінських рішень.

### 1.1 Методи обробки даних в корпоративній мережі

Архітектура корпоративної системи обробки даних являє собою цілісну багаторівневу структуру, яка забезпечує взаємодію між технічними, програмними та організаційними компонентами для ефективного управління інформаційними потоками в межах підприємства. У сучасних умовах така архітектура повинна бути здатною не лише обробляти великі обсяги даних, а й оперативно реагувати на зміну бізнес-вимог, забезпечувати масштабованість, відмовостійкість та безперервний доступ до критичних сервісів.

Центральним елементом будь-якої корпоративної архітектури є логіка розміщення даних і обчислювальних ресурсів, яка може мати як централізований, так і розподілений характер. У централізованих моделях основні обчислення та зберігання відбуваються на єдиному сервері або у межах корпоративного дата-центру, що дозволяє ефективно контролювати доступ, оновлення та резервне копіювання інформації. Натомість у розподілених системах функції обробки та зберігання делегуються численним вузлам мережі, що дозволяє зменшити затримки, підвищити гнучкість і локалізувати дані ближче до кінцевих користувачів, зокрема в умовах географічної розосередженості філій підприємства.

З появою хмарних технологій архітектурні під-ходи зазнали суттєвих змін. Віртуалізація обчислювальних ресурсів, використання інфраструктури як сервісу та платформи як сервісу [1] надали можливість компаніям динамічно масштабувати обчислювальні потужності, розгортати нові сервіси без значних інвестицій в апаратне забезпечення та інтегруватися з зовнішніми постачальниками послуг. У такому середовищі дані можуть

зберігатися у хмарних сховищах, оброблятися через віртуальні кластери, а доступ до аналітики може надаватися через веб-інтерфейси з будь-якої точки світу. Попри переваги, такі рішення вимагають особливої уваги до питань безпеки, розмежування прав доступу, захисту від витоку інформації та гарантування відповідності міжнародним стандартам зберігання персональних та комерційних даних.

Архітектура обробки даних також передбачає наявність модулів, відповідальних за інтеграцію з джерелами даних – це можуть бути корпоративні програми обліку, CRM-системи, сенсори, веб-сервіси або бази даних партнерських компаній. На наступному рівні розміщуються сервіси обробки, які реалізують логіку трансформації, агрегації, фільтрації та верифікації інформації, використовуючи як традиційні програмні засоби, так і спеціалізовані фреймворки на кшталт Apache Spark [2]. Важливою частиною архітектури є й інтерфейси представлення результатів, які дозволяють користувачам взаємодіяти з обробленими даними через панелі візуалізації, звіти, дашборди або API-інтерфейси для подальшого використання в бізнес-застосунках.

Ефективна архітектура корпоративної обробки даних повинна враховувати особливості галузі, масштаби компанії, типи даних, які обробляються, а також рівень цифрової зрілості підприємства. Лише за умови гнучкої, масштабованої та захищеної архітектури можна досягти повноцінної автоматизації аналітичних процесів, зменшити витрати на інфраструктуру та суттєво підвищити якість управлінських рішень на основі актуальних даних.

У контексті корпоративних мереж процес обробки даних неможливий без якісного та систематизованого підходу до етапу їх збору й підготовки. Цей етап визначає не лише обсяг та актуальність доступної інформації, а й ступінь її чистоти, повноти й придатності для подальшої аналітичної обробки. У багатьох випадках саме на етапі збору та по-передньої обробки дані зазнають найбільших втрат якості, що в подальшому може спричинити

помилкові висновки або неефективні управлінські рішення. Тому питання методів збору та підготовки корпоративних даних є критично важливим.

Дані в корпоративному середовищі можуть надходити з різноманітних джерел, кожне з яких має свої особливості структури, форматування та циклічності оновлення. До основних джерел відносяться внутрішні інформаційні системи підприємства, зокрема ERP [3], бухгалтерські та логістичні платформи, а також зовнішні веб-сервіси, API-платформи, інструменти моніторингу поведінки користувачів, інтернет речей та партнерські бази даних. З огляду на високу гетерогенність цих джерел, у процесі збору застосовуються спеціалізовані інструменти інтеграції, які забезпечують уніфікацію вхідної інформації та її передачу до єдиного середовища обробки.

Одним із ключових методологічних підходів до збору й підготовки даних є ETL-процес, який включає 3 логічно пов'язані етапи [4]. Спочатку відбувається вилучення даних з джерел, де важливо забезпечити безперервність потоку, уникнення дублювання записів та контроль версій. На наступному етапі дані проходять трансформацію, яка може включати найрізноманітніші дії: фільтрацію, стандартизацію форматів, очищення від аномалій, видалення дублікатів, обробку відсутніх значень, категоризацію або об'єднання записів з кількох таблиць. Завершальним кроком є завантаження очищеної та трансформованої інформації до цільових систем – це можуть бути сховища даних, аналітичні бази, хмарні платформи або локальні сервери підприємства.

Особливої уваги заслуговує етап очищення даних, адже реальна інформація, отримана з корпоративних джерел, часто є неповною, зашумленою або містить логічні суперечності. У процесі підготовки використовуються методи автоматичної валідації, застосування правил верифікації на основі доменних обмежень, а також алгоритмічні засоби виявлення викидів, нетипових значень або логічних невідповідностей у записах. У багатьох випадках застосовується також нормалізація –

приведення даних до єдиного масштабу для подальшої обробки статистичними або машинними алгоритмами.

Сучасні платформи для інтеграції та підготовки даних, надають змогу автоматизувати ключові етапи процесу, зменшити участь людини в рутинних процедурах та забезпечити контроль якості на кожному кроці обробки. Їх використання особливо виправдане в середовищах з високими вимогами до швидкодії, повторюваності процесів і масштабованості інфраструктури.

Таким чином, якість і релевантність інформації, яку отримує бізнес, великою мірою залежить від організації процесів збору та підготовки. Лише за умови надійної інтеграції джерел, гнучкої трансформації даних і постійного контролю якості можливо сформуванню інформаційне середовище, яке забезпечить ефективну подальшу аналітику, прогнозування та прийняття стратегічних рішень на основі достовірних і своєчасних даних.

Обробка даних у корпоративному середовищі є складним та багатогранним процесом, який передбачає перетворення вхідної інформації у форму, що має практичну цінність для ухвалення рішень, оптимізації процесів та формування аналітичних звітів. Залежно від цілей, обсягів даних, технічних можливостей і часу, доступного для аналізу, компанії можуть використовувати різноманітні методи обробки – від класичних статистичних до високопродуктивних систем із використанням елементів штучного інтелекту.

У традиційних корпоративних системах обробка зазвичай базується на використанні реляційних баз даних і SQL-запитів. Цей підхід дозволяє здійснювати агрегування, сортування, фільтрацію та вибірку даних за різними критеріями, що є достатнім для більшості базових задач звітності. Крім того, активно застосовуються інструменти OLAP-аналітики, які забезпечують багатовимірний аналіз даних у форматі кубів, дозволяючи менеджерам та аналітикам швидко отримувати уявлення про ключові показники ефективності [5]. У випадках, коли необхідно обробляти великі обсяги даних або будувати складні сценарії, ці методи доповнюються

засобами пакетної обробки, яка виконується за розкладом або за певними умовами запуску.

Проте в умовах сучасного цифрового середовища зростає потреба в обробці даних у реальному часі. Замість традиційного підходу, де інформація накопичується і аналізується з часовим лагом, усе більшої популярності набуває потокова обробка. Вона дозволяє обробляти події та транзакції миттєво після їх виникнення. Такі системи критично важливі для фінансового сектору, телекомунікацій, електронної комерції та кібербезпеки, де затримка на-віть у кілька секунд може мати значні наслідки. Інструменти на т Apache Kafka, Apache Flink чи Spark Streaming забезпечують ефективну реалізацію таких підходів, дозволяючи працювати з потоками даних у великих обсягах та з високою швидкістю.

З розвитком технологій великих даних компанії дедалі частіше звертаються до методів, що базують-ся на Hadoop-архітектурі або розподілених обчислювальних фреймворках. Це дозволяє працювати з інформацією, яка не може бути оброблена традиційними засобами через її обсяг, швидкість генерації або різноманітність форматів. Обробка Big Data передбачає не лише технічну здатність обробити великі масиви, а й застосування нових підходів до зберігання, індексації, паралельної обробки та розподілу навантаження між кластерами.

Усе більшої ваги набувають методи інтелектуального аналізу даних, які включають машинне навчання, класифікацію, кластеризацію, побудову моделей прогнозування, рекомендаційні системи та машинне навчання [6]. Такі підходи дозволяють не просто аналізувати наявні дані, а й виявляти приховані закономірності, будувати прогнози майбутніх подій і приймати адаптивні рішення в умовах невизначеності. Моделі можуть навчатися на історичних даних та автоматично оновлюватися з урахуванням нових вхідних параметрів, що робить їх особливо корисними у сфері маркетингу, персоналізації сервісів, логістичної оптимізації та управління ризиками.

Варто відзначити, що ефективна обробка даних неможлива без їхньої візуалізації та представлення у зрозумілому для кінцевих користувачів вигляді. Методи візуалізації, включаючи інтерактивні дашборди, графіки, карти і heatmap-аналіз, є завершальним етапом обробки, який перетворює результати обчислень у наочну форму для прийняття рішень. Це дає змогу менеджменту швидко інтерпретувати результати, реагувати на зміну динаміки бізнес-процесів і виявляти критичні точки у реальному часі.

У корпоративних мережах, де обсяг, швидкість та критичність даних постійно зростають, питання безпеки інформації стає не лише технічною, а й стратегічною категорією. Обробка даних передбачає постійне переміщення, трансформацію, зберігання та доступ до інформації, що створює потенційні вразливості на кожному з етапів. Зловмисники можуть використовувати ці вразливості для отримання несанкціонованого доступу, викрадення конфіденційної інформації або маніпуляції з даними, що може спричинити не лише фінансові втрати, а й серйозні репутаційні наслідки для організації. У зв'язку з цим забезпечення безпеки даних в процесі їх обробки є обов'язковою умовою сталого функціонування будь-якої корпоративної інформаційної системи.

Захист даних починається з побудови чіткої системи ідентифікації та автентифікації користувачів, яка гарантує, що доступ до ресурсів мають лише уповноважені особи. У корпоративних системах для цього часто використовуються багаторівневі механізми перевірки, включаючи одноразові паролі, апаратні токени, біометричні ідентифікатори або інтеграцію з централізованими системами доступу. Проте навіть після підтвердження особи важливим є обмеження повноважень, тобто запровадження політик авторизації, що дозволяють кожному користувачу доступ лише до тієї частини даних, яка необхідна для виконання його посадових обов'язків.

Неможливо уявити сучасну обробку даних без засобів криптографічного захисту. Шифрування інформації як у процесі передавання між вузлами мережі, так і під час зберігання в базах даних дозволяє

мінімізувати ризик її перехоплення або розголошення. Сучасні алгоритми симетричного та асиметричного шифрування, протоколи SSL/TLS, криптографічні підписи та контроль цілісності даних формують фундамент для безпечної комунікації у цифровому середовищі [7]. Особливої актуальності це на-буває у випадках, коли обробка здійснюється в хмарному середовищі або за умов передавання да-них між організаційними структурами. Але для сенсорних мереж існують інші методи без криптографічного захисту (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Методи обробки даних у корпоративних мережах

## 1.2 Технічний захист даних

Крім технічних засобів, захист даних вимагає постійного моніторингу активності користувачів, виявлення аномальних дій і зберігання логів доступу до чутливої інформації. Системи управління інформаційною

безпекою, модулі виявлення вторгнень, засоби аудиту та автоматизованого аналізу подій дозволяють не лише фіксувати порушення, а й оперативно реагувати на потенційні загрози. Це особливо важливо у великих організаціях, де одночасно працюють тисячі користувачів, і контроль за діями кожного вручну є неможливим.

Ще одним важливим аспектом є резервне копіювання та можливість відновлення даних у разі інцидентів. Побудова системи резервного копіювання, географічне дублювання сховищ та автоматичне відновлення сервісів після збоїв забезпечують стійкість до катастрофічних подій, таких як технічні аварії, програмні помилки або цілеспрямовані атаки. Важливо не лише створювати резервні копії, а й регулярно тестувати процедури відновлення, щоб переконатися в їхній дієвості в реальних умовах.

Ефективна обробка даних у корпоративному середовищі неможлива без використання спеціалізованих інструментів і платформ, які забезпечують виконання складних обчислювальних операцій, інтеграцію з джерелами інформації, зберігання, трансформацію, аналіз та візуалізацію даних у зручному для користувача вигляді. Розмаїття бізнес-завдань, обсягів даних, інфраструктурних обмежень та вимог до безпеки обумовлює широке використання як традиційного програмного забезпечення, так і хмарних сервісів та відкритих рішень, орієнтованих на гнучкість, масштабованість і високу продуктивність.

Великі підприємства, які працюють з масивами даних у різних форматах і з численних джерел, час-то використовують розподілені фреймворки для паралельної обробки інформації. Одним із найвідоміших рішень є екосистема Apache Hadoop, що дозволяє зберігати й обробляти терабайти даних завдяки моделі розподіленого зберігання та паралельних обчислень. У поєднанні з Hadoop часто використовується Apache Hive, що дозволяє виконувати SQL-подібні запити до великих наборів даних, зберігаючи зручність класичної аналітики в умовах Big Data. Ще більш потужним і гнучким інструментом є Apache Spark – платформа, орієнтована

на високу швидкість обробки потокових і пакетних даних, яка особливо добре підходить для реалізації алгоритмів машинного навчання, обробки графів та вбудованих аналітичних моделей [2].

У випадках, коли організації орієнтуються на інтеграцію, автоматизацію і візуальний контроль за процесами підготовки даних, великої популярності набули такі інструменти, як Talend, Apache NiFi та Microsoft SQL Server Integration Services. Вони до-звояють створювати потоки даних, які включають етапи витягування, трансформації, перевірки та за-вантаження інформації у цільові сховища. Завдяки зручному графічному інтерфейсу та можливості моніторингу стану кожного етапу обробки, ці платформи значно знижують вимоги до рівня програмної підготовки фахівців, забезпечуючи при цьому високу гнучкість і контроль за якістю даних.

Із поширенням хмарних технологій дедалі більше компаній переходять до використання хмар-них платформ для обробки даних, які надають обчислювальні ресурси як сервіс, без необхідності інвестування у власну інфраструктуру. Серед таких платформ найбільш поширеними є Amazon Web Services, Google Cloud Platform та Microsoft Azure [8]. Ці платформи дозволяють створювати масштабовані середовища обробки, реалізовувати потужні аналітичні сценарії, використовувати сервіси штучного інтелекту, а також забезпечувати безперервну доступність даних у будь-якій точці світу. Особливістю таких сервісів є можливість інтеграції з численними джерелами даних, використання готових моделей аналітики та забезпечення високого рівня без-пеки через багаторівневу архітектуру доступу, шифрування й моніторинг.

Крім обчислювальних платформ, важливою складовою сучасної обробки даних є інструменти для їх візуалізації. Power BI, Tableau, Qlik Sense, Looker – це приклади систем, які дозволяють користувачам без глибоких технічних знань створювати інтерактивні дашборди, графіки, діаграми та звіти, що ґрунтуються на актуальних даних із різних джерел. Такі системи активно використовуються на всіх рівнях управління – від

оперативного аналізу діяльності відділів до формування стратегічних показників для топ менеджменту.

Особливу нішу займають корпоративні системи, що поєднують функціональність обробки даних із функціями управління бізнес-процесами. Прикладами таких рішень є платформи SAP, Oracle BI, IBM Cognos Analytics. Вони не лише забезпечують повноцінну роботу з даними, а й інтегруються з управлінськими модулями, фінансовими підсистемами, логістикою та кадрами, створюючи єдиний інформаційний простір для всіх структурних підрозділів підприємства.

Таким чином, обробка даних в корпоративних мережах є дуже актуальною, і нею займається все більше компаній, забезпечуючи їх ефективне функціонування

### 1.3 Класифікація мережевого трафіку

Мережевий трафік (рисунок 1.2) є фундаментальним поняттям у сфері телекомунікацій та комп'ютерних мереж. Під цим терміном розуміється обсяг даних, які передаються мережею за певний проміжок часу. Трафік складається з мережевих пакетів, кожен з яких містить дані користувача та службову інформацію (заголовки протоколів).

У широкому розумінні трафік у корпоративній мережі можна розглядати як сукупність інформаційних потоків, що виникають внаслідок дій користувачів, сервісів і застосунків в межах інформаційної інфраструктури підприємства. Розуміння характеристик та структури трафіку є необхідним для ефективного управління ресурсами мережі та підтримки належного рівня продуктивності.

Мережевий трафік класифікується за різними ознаками, що дозволяє глибше аналізувати його поведінку та ефективніше здійснювати управління. Основні класифікації наведено нижче.

За напрямом передачі:

- вхідний (вхідний трафік) – дані, що надходять у внутрішню мережу ззовні;

- вихідний (вихідний трафік) – дані, що передаються з внутрішньої мережі до зовнішнього середовища.

За джерелом і призначенням:

- локальний трафік – передача даних між вузлами однієї корпоративної мережі;

- зовнішній трафік – обмін даними з інтернет-ресурсами або іншими віддаленими мережами.

За типом переданих даних:

- HTTP/HTTPS трафік – веб-запити і передача веб-сторінок;

- FTP трафік – передача файлів;

- VoIP трафік – голосові дзвінки через інтернет;

- Відеотрафік – потокове відео (YouTube, Zoom, Teams тощо);

- SMTP/IMAP/POP3 трафік – електронна пошта;

- DNS трафік – запити до системи доменних імен;

- VPN трафік – зашифрований трафік через тунельні протоколи.

За пріоритетом (QoS):

- критичний трафік – трафік з найвищим пріоритетом (VoIP, транзакції);

- пріоритетний трафік – важливі службові дані;

- фоновий трафік – менш важливі передачі (оновлення, резервне копіювання).

За характеристиками потоку:

- статичний трафік – передача даних з відносно стабільною швидкістю;

- динамічний трафік – нерівномірні передавання з піками активності.

Кожен потік мережевого трафіку характеризується певними параметрами:

- пропускна здатність – максимальний обсяг даних, що може бути передано за одиницю часу;
- затримка – час, необхідний для доставки пакету з джерела до приймача;
- варіативність затримки – коливання часу затримки між пакетами;
- втрати пакетів – частка втрачених пакетів у потоці;
- частота передачі – кількість пакетів, що передаються щосекунди.

В умовах корпоративної мережі контроль за типами та обсягом трафіку дозволяє:

- забезпечити пріоритетність критичних сервісів;
- виявити аномалії, що можуть свідчити про атаки або несправності;
- здійснювати планування розвитку мережевої інфраструктури;
- реалізовувати політики безпеки та обмеження доступу;
- оптимізувати витрати на використання каналів зв'язку.

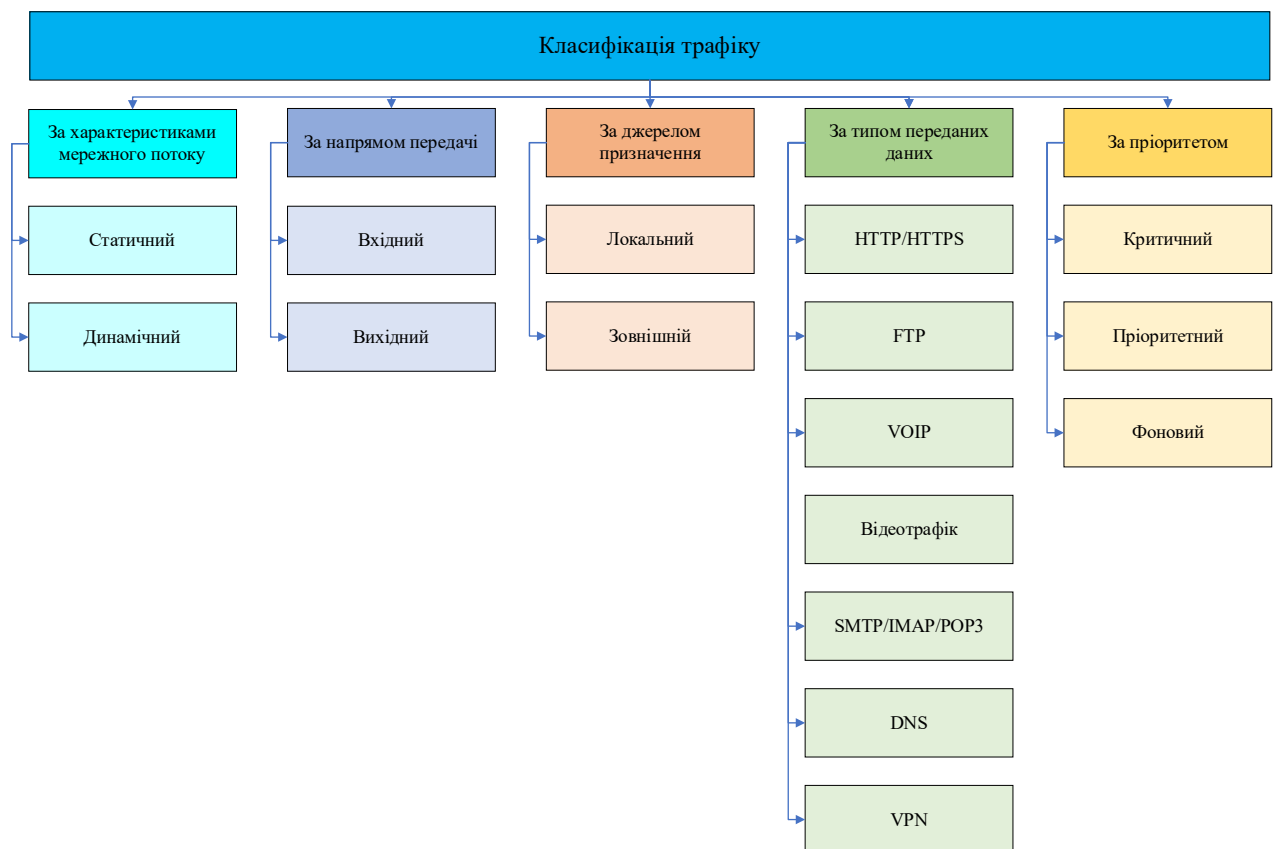


Рисунок 1.2 – Класифікація мережного трафіку

Таким чином, правильне розуміння природи мережевого трафіку, його типів і характеристик є першочерговим завданням для побудови ефективної системи управління корпоративною мережею.

#### 1.4 Принципи управління трафіком

Управління мережевим трафіком у корпоративних мережах є складним завданням, що потребує цілісного підходу до забезпечення ефективності передачі даних, стабільності функціонування інфраструктури та підтримки заданого рівня якості обслуговування. Основу цього процесу складають загальноприйняті принципи, які відображають найкращі практики оптимального використання обмежених мережевих ресурсів і забезпечення належної продуктивності системи.

Першим фундаментальним принципом управління трафіком є пріоритезація, яка передбачає розподіл мережевих потоків відповідно до їхньої важливості для користувача чи бізнес-процесу. Забезпечення різного рівня доступності та пропускної здатності для різних типів трафіку дозволяє уникнути перевантаження та забезпечити безперебійне функціонування критичних сервісів, навіть за умов обмеженого доступу до мережевих ресурсів. Наприклад, голосовий та відеотрафік потребує низької затримки та мінімальної втрати пакетів, тому в системах управління вони зазвичай отримують вищий пріоритет порівняно з неінтерактивними потоками, такими як передача великих файлів.

Іншим важливим принципом є адаптивність, тобто здатність системи управління реагувати на зміну умов у реальному часі. Оскільки трафік у мережі може суттєво варіюватися залежно від часу доби, активності користувачів або появи нових сервісів, система управління повинна динамічно змінювати правила маршрутизації, контролю швидкості та обробки пакетів. Така гнучкість досягається за рахунок використання

алгоритмів зворотного зв'язку, аналітики в реальному часі, а також методів прогнозування навантаження.

Також суттєвого значення набуває принцип справедливості, який забезпечує рівномірний розподіл доступу до ресурсів між користувачами та сервісами. У корпоративному середовищі важливо не лише надати перевагу критичним застосункам, але й не допустити повного витіснення менш пріоритетного трафіку. Реалізація цього принципу ґрунтується на застосуванні алгоритмів управління чергами та політик обмеження швидкості.

Безпека є ще одним базовим принципом, що має тісний зв'язок із управлінням трафіком. Контроль над потоками даних дозволяє виявляти потенційно небезпечні дії, обмежувати або блокувати підозрілу активність, запобігати витоку інформації та реалізовувати політики доступу до мережевих ресурсів. Трафік-аналіз у цьому контексті виступає як інструмент виявлення атак, вторгнень чи аномальної поведінки.

Економічна доцільність управління трафіком полягає у зниженні витрат на інфраструктуру за рахунок ефективнішого використання наявних каналів зв'язку, зменшення потреби у надлишкових ресурсах та уникнення простоїв. Таким чином, управління трафіком розглядається не лише як технічний, але і як економічний інструмент оптимізації мережі.

### 1.5 Існуючі моделі управління трафіком

Управління трафіком у корпоративних мережах є не лише технічним завданням, а й об'єктом численних теоретичних досліджень, результатом яких стало формування широкого спектру моделей, що відображають різні аспекти функціонування мережі. Моделі управління трафіком дозволяють формалізувати процеси передачі даних, прогнозувати навантаження, оцінювати ефективність алгоритмів керування та забезпечувати прийняття обґрунтованих рішень у реальному чи наближеному до реального часі. Їх

застосування є необхідним етапом як при проектуванні нових мережевих систем, так і при оптимізації існуючих інфраструктур.

У найзагальнішому вигляді всі моделі управління трафіком можна класифікувати за рядом ознак: за рівнем абстракції, за підходом до опису потоків, за динамікою реагування, за характером розподілу ресурсів. Залежно від цього розрізняють математичні моделі, засновані на аналітичному описі параметрів мережі; імітаційні моделі, що моделюють роботу мережі на основі сценаріїв; статистичні моделі, побудовані на базі аналізу реальних даних; а також гібридні моделі, що поєднують елементи згаданих підходів.

Математичні моделі зазвичай базуються на апараті теорії масового обслуговування, графів, теорії ймовірностей або диференціальних рівнянь. Такі моделі дозволяють точно описати поведінку мережі за заданих умов, однак часто вимагають спрощень, що обмежує їхню придатність у складних і динамічних системах. Наприклад, класична модель  $M/M/1$  або  $M/M/n$  може бути використана для аналізу затримок і пропускної здатності при обробці трафіку на маршрутизаторах або комутаторах.

Імітаційні моделі надають змогу відтворити реальний трафік у віртуальному середовищі, використовуючи спеціалізоване програмне забезпечення, таке як NS-3, OPNET, або Cisco Packet Tracer. Вони дозволяють проводити експерименти з різними налаштуваннями мережі, досліджувати поведінку при зміні навантаження, впроваджувати нові політики управління і аналізувати їхній вплив на ефективність системи. Основною перевагою імітаційних моделей є висока гнучкість і наближеність до реальних умов експлуатації.

У свою чергу, статистичні моделі спираються на аналіз великих обсягів історичних даних про мережеву активність. Вони дозволяють побудувати профілі поведінки трафіку, виявляти закономірності, аномалії, циклічні зміни та інші тренди. Застосування таких моделей є ефективним при побудові прогнозів навантаження та в системах виявлення вторгнень або аномальної активності.

Іншою важливою категорією є моделі, що базуються на принципах оптимізації, зокрема лінійного або нелінійного програмування, які дозволяють знаходити найкращі варіанти розподілу мережевих ресурсів за заданими обмеженнями. Подібні моделі особливо актуальні у випадках, коли стоїть завдання мінімізувати затримку або максимізувати пропускну здатність мережі при одночасному обслуговуванні великої кількості користувачів або сервісів.

Окремо слід згадати про моделі, що реалізують концепцію самонавчання або адаптації. До них належать моделі, які використовують нейронні мережі, алгоритми машинного навчання чи методи нечіткої логіки. Їх особливістю є здатність до самостійного вдосконалення в процесі експлуатації, вивчення нових патернів трафіку та автоматичного коригування політик керування без втручання адміністратора.

Вибір моделі управління трафіком у конкретному випадку залежить від завдань, що стоять перед мережею, її масштабів, складності, доступних технічних засобів та рівня кваліфікації персоналу.

У багатьох випадках ефективним підходом є використання гібридних моделей, які поєднують точність аналітичних методів із гнучкістю імітаційного чи адаптивного моделювання. Такий підхід дозволяє максимально точно відтворювати поведінку мережі та приймати ефективні управлінські рішення в умовах постійно змінного інформаційного середовища.

Усі зазначені принципи функціонують у тісному взаємозв'язку й утворюють концептуальну основу для розробки систем управління трафіком у сучасних корпоративних мережах. Їхнє дотримання забезпечує досягнення балансу між якістю обслуговування, ефективністю використання ресурсів, безпекою мережі та економічною вигодою для підприємства.

Назва ПЗ	Тип моделювання	Платформа	Рівень складності
Cisco Packet Tracer	Візуальна імітація мережі	Windows, Linux	Низький
GNS3	Емуляція мережі з реальним трафіком	Windows, Linux, macOS	Середній
NS-3	Імітаційне моделювання подій	Windows, Linux	Високий
OPNET (Riverbed Modeler)	Імітаційне моделювання	Windows	Високий
OMNeT++	Імітаційне моделювання подій	Windows, Linux	Високий
Назва ПЗ	Переваги	Недоліки	
Cisco Packet Tracer	Легкість у використанні, інтерактивність	Обмеженість у складних сценаріях	
GNS3	Реалістична емуляція, підтримка реального ПЗ	Потребує потужних ресурсів	
NS-3	Висока точність, підтримка скриптів	Складність у використанні	
OPNET (Riverbed Modeler)	Масштабованість, точне моделювання	Комерційне ПЗ, складність налаштування	
OMNeT++	Гнучкість, модульна структура	Складність для початківців	

Рисунок 1.3 – Порівняльний аналіз ПЗ для імітації трафіка

На рисунку 1.3 представлена таблиця з порівняльним аналізом програмного забезпечення для імітаційного моделювання мережевого трафіку.

Згідно з проведеним порівняльним аналізом спеціалізованого програмного забезпечення для імітаційного моделювання мережевого трафіку, можна зробити низку узагальнюючих висновків, які мають як теоретичне, так і практичне значення. Кожен із розглянутих інструментів демонструє унікальні переваги й обмеження, що визначають доцільність його використання в залежності від поставлених завдань, рівня підготовки користувача, а також контексту застосування – навчального, дослідницького чи практичного.

Cisco Packet Tracer вирізняється простотою використання та зручністю інтерфейсу, що робить його популярним серед студентів і початківців. Проте функціональні можливості цього програмного забезпечення суттєво обмежені, особливо в контексті відтворення реалістичного мережевого середовища або роботи з трафіком у динамічних умовах. Навпаки, GNS3 забезпечує високу реалістичність завдяки можливості емулювати справжнє мережеве обладнання та взаємодіяти з реальними операційними системами, що робить його ефективним для тестування конфігурацій у середовищі, наближеному до реального. Разом з тим, для коректної роботи GNS3 потребує значних апаратних ресурсів і вимагає базових навичок адміністрування.

NS-3 та OMNeT++ належать до програмних засобів високого рівня складності, орієнтованих насамперед на дослідницькі цілі та моделювання складних систем передачі даних. Їх використання передбачає глибоке розуміння архітектури мереж, знання мов програмування та здатність працювати з математичними моделями процесів. Особливістю NS-3 є висока точність і гнучкість, що забезпечує можливість створення складних сценаріїв трафіку на основі реальних статистичних даних. OMNeT++ у свою чергу приваблює своєю модульною структурою, що дозволяє ефективно масштабувати моделі та доповнювати їх новими функціональними блоками. Ще одним потужним засобом є OPNET (тепер відомий як Riverbed Modeler), який забезпечує детальне моделювання на різних рівнях мережевої архітектури та є особливо корисним у складних корпоративних або операторських інфраструктурах. Однак його недоліком є складність освоєння та комерційна модель ліцензування, що обмежує доступність для широкого кола користувачів.

Загалом, можна зробити висновок, що жоден із розглянутих інструментів не є універсальним. Вибір програмного забезпечення має бути зумовлений цілями дослідження або навчання, характером мережевого середовища, рівнем технічної підготовки фахівця та наявністю ресурсів. Ідеальним підходом у багатьох випадках є комбінування кількох засобів для досягнення найкращого балансу між простотою, точністю та функціональністю.

## 2 МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ТРАФІКОМ

### 2.1 Класифікація методів управління трафіком

Методи управління мережевим трафіком у корпоративних мережах охоплюють широкий спектр підходів, які відрізняються за своїм функціональним призначенням, принципами роботи, рівнем складності та контекстом застосування. Необхідність класифікації цих методів зумовлена як зростаючою різноманітністю інформаційних потоків, так і потребою у формалізації процесів контролю, адаптації та оптимізації мережевого середовища.

У найзагальнішому вигляді класифікація методів управління трафіком базується на кількох ключових критеріях. По-перше, залежно від способу збору та обробки інформації про стан мережі розрізняють статичні та динамічні методи. Статичні методи передбачають фіксовані правила та параметри, які встановлюються адміністратором мережі до початку передачі даних і залишаються незмінними незалежно від змін у навантаженні чи топології. Вони вирізняються простотою реалізації, проте обмежені в здатності реагувати на непередбачувані ситуації або пікові навантаження. Натомість динамічні методи реалізують адаптивне управління на основі поточних показників трафіку, забезпечуючи гнучке реагування на зміни умов у реальному часі.

По-друге, за характером впливу на трафік методи поділяють на превентивні, регулятивні та реактивні. Превентивні методи спрямовані на запобігання виникненню перевантаження шляхом встановлення обмежень на рівні політик доступу чи фільтрації даних. Регулятивні методи забезпечують постійний моніторинг та коригування параметрів мережевого середовища, наприклад шляхом управління чергами або перерозподілу смуги пропускання. Реактивні методи, у свою чергу, активуються у відповідь на

конкретні події або порушення у функціонуванні мережі, зокрема при виявленні перевантаження, втрати пакетів або підозрілої активності.

Ще одним важливим критерієм є рівень застосування в моделі мережі. Існують методи управління трафіком, що реалізуються на фізичному, каналному, мережевому, транспортному або прикладному рівнях. Наприклад, обмеження пропускної здатності та фільтрація MAC-адрес належать до методів нижчих рівнів, тоді як розподілення ресурсів між застосунками або контроль за сесіями користувачів реалізуються на прикладному рівні. Ефективне управління трафіком потребує комплексного підходу з урахуванням усіх рівнів мережевої моделі, що особливо актуально у великих корпоративних структурах із багаторівневою архітектурою.

Окрему категорію становлять інтелектуальні методи, які використовують алгоритми машинного навчання, нейронні мережі або інші засоби штучного інтелекту для прийняття рішень щодо маршрутизації, пріоритетизації чи виявлення аномалій. Їхня класифікація може ґрунтуватися на типі алгоритмів, ступені автономності системи, рівні навчання (з учителем або без) тощо. Подібні методи демонструють високу ефективність у складних, динамічних і гетерогенних мережах, однак потребують значного обсягу даних для навчання та складних обчислювальних ресурсів.

Узагальнюючи, класифікація методів управління трафіком дозволяє систематизувати підходи до організації контролю за потоками даних, полегшує вибір оптимального інструменту для конкретної мережевої ситуації та створює основу для подальшого вдосконалення існуючих або розробки нових механізмів керування в умовах зростаючої складності сучасних інформаційних систем.

## 2.2 Статистичні методи управління трафіком

Статистичні методи управління трафіком становлять одну з найдавніших і водночас найстабільніших категорій інструментів, що

застосовуються у мережевих системах для контролю, прогнозування та оптимізації потоків даних. Основою таких методів є використання накопиченої інформації про параметри трафіку у вигляді числових характеристик, які аналізуються за допомогою методів математичної статистики. Отримані результати використовуються для формування рішень щодо розподілу ресурсів, обмеження навантаження або адаптації політик обслуговування.

Ключовою передумовою ефективності статистичних методів є наявність великого обсягу репрезентативних даних, які відображають поведінку мережі в різні періоди часу, з урахуванням сезонних, часових або ситуаційних змін. Зокрема, для аналізу використовується така інформація, як середній обсяг переданих даних, пікове навантаження, частота пакетів, середній час затримки, відсоток втрат або рівень завантаження окремих каналів. Ці параметри дозволяють не лише оцінити поточний стан мережі, а й виявити тренди, закономірності та аномалії, що можуть свідчити про потенційні проблеми чи неефективність конфігурації.

До найпоширеніших статистичних інструментів, що застосовуються у сфері управління трафіком, належать методи описової статистики, кореляційного аналізу, регресійного моделювання та кластерного аналізу. Такі інструменти дозволяють побудувати аналітичні моделі, які можуть слугувати основою для прогнозування навантаження на мережу або оцінки ефективності впроваджених механізмів управління. Наприклад, на основі історичних даних про пік навантаження в робочі дні системний адміністратор може заздалегідь змінити пріоритети обслуговування або обмежити доступ до другорядних сервісів, аби запобігти перевантаженню.

Важливо зазначити, що статистичні методи, на відміну від динамічних або інтелектуальних, не передбачають негайної реакції на зміни в трафіку в режимі реального часу. Їхня основна функція полягає в аналізі минулих подій і формуванні стратегічних рішень, що можуть бути реалізовані в рамках довгострокового або середньострокового планування. Проте в умовах

постійної автоматизації та інтеграції зі смарт-системами статистичні дані дедалі частіше використовуються як джерело навчальної інформації для адаптивних і гібридних методів управління.

Варто також підкреслити, що якість результатів, отриманих за допомогою статистичних методів, значною мірою залежить від точності збору вихідних даних та їх повноти. У разі відсутності коректного моніторингу або наявності пропусків у масиві даних аналіз може бути спотвореним, що, у свою чергу, вплине на прийняті управлінські рішення. Тому ефективне впровадження статистичних методів вимагає тісної інтеграції з підсистемами моніторингу, збору та обробки інформації.

Метод	Призначення	Переваги	Недоліки
Описова статистика	Оцінка загального стану трафіку	Простота реалізації	Не враховує динаміку
Регресійний аналіз	Прогнозування майбутніх навантажень	Можливість передбачення	Потребує якісних даних
Кореляційний аналіз	Виявлення взаємозв'язків між параметрами	Інформативність	Може давати хибні висновки
Кластеризація	Групування схожих шаблонів трафіку	Автоматизація аналізу	Залежить від обсягу даних
Аналіз сезонності	Виявлення повторюваних змін у трафіку	Використання для планування	Не працює в режимі реального часу

Рисунок 2.1 – Порівняльний аналіз статистичних методів управління трафіком

Узагальнюючи, статистичні методи управління трафіком є надійним та економічно доцільним засобом аналізу мережевої поведінки, особливо в умовах стабільного та передбачуваного трафіку. Вони не лише сприяють виявленню вузьких місць і забезпечують стратегічну оптимізацію інфраструктури, а й слугують фундаментом для більш складних моделей, які потребують вхідних даних високої якості.

### 2.3 Динамічні методи управління трафіком

Динамічні методи управління трафіком у корпоративних мережах передбачають адаптивний підхід до контролю та регулювання потоків даних, що ґрунтується на безперервному моніторингу поточного стану мережевого середовища та оперативному прийнятті рішень на основі аналізу змінних

параметрів. Такі методи виникли як відповідь на обмеження традиційних, статичних моделей, які не враховують варіативність навантаження в сучасних мережах і не здатні ефективно реагувати на непередбачувані ситуації, зокрема перевантаження, затримки або нестачу ресурсів.

Основна ідея динамічного управління полягає в тому, що система безпосередньо в процесі функціонування отримує інформацію про обсяг трафіку, затримки, втрати пакетів, зміну топології або появу нових пристроїв, після чого автоматично або напівавтоматично коригує відповідні параметри, такі як пріоритетність обробки пакетів, доступна смуга пропускання, маршрутизація або політики фільтрації. У результаті досягається гнучке й ефективне розподілення ресурсів, яке відповідає реальним потребам користувачів та сервісів у кожен конкретний момент часу.

На відміну від статистичних підходів, динамічні методи функціонують у режимі майже реального часу та орієнтовані на оперативну реакцію на зміни. Їхня реалізація можлива завдяки застосуванню спеціалізованих алгоритмів, які можуть бути як детермінованими, так і евристичними. Наприклад, механізми типу Traffic Shaping і Traffic Policing дають змогу не лише контролювати швидкість передачі даних, а й згладжувати сплески навантаження або запобігати порушенню встановлених політик обслуговування. Іншим поширеним інструментом є Active Queue Management (AQM), який керує чергами в мережевих пристроях таким чином, щоб мінімізувати затримки та втрати пакетів навіть у разі значного перевантаження.

У сучасних мережах все більшого значення набувають протоколи з підтримкою адаптивного керування, такі як Multiprotocol Label Switching (MPLS), Software-Defined Networking (SDN) або QoS, які інтегрують динамічні підходи до управління ресурсами на різних рівнях мережевої архітектури. Наприклад, технологія SDN дозволяє централізовано керувати всіма елементами мережі, що дає змогу швидко змінювати правила маршрутизації або пріоритети обслуговування залежно від змін у трафіку або

політик безпеки. Це відкриває нові можливості для автоматизованого масштабування, балансування навантаження та швидкого реагування на інциденти.

Метод	Призначення	Переваги	Недоліки
Traffic Shaping	Згладжування піків трафіку	Поліпшення QoS	Складність налаштування
Traffic Policing	Контроль перевищення політик	Гнучке обмеження трафіку	Може призводити до втрат
Active Queue Management	Зменшення затримок та втрат	Підвищення стабільності	Вимагає потужного обладнання
Adaptive Routing	Динамічне керування маршрутами	Реакція на зміни	Залежить від топології
Load Balancing	Рівномірний розподіл трафіку	Зниження перевантаження	Може потребувати централізації

Рисунок 2.2 – Порівняльний аналіз динамічних методів управління трафіком

Перевагою динамічних методів є їхня здатність адаптуватися до умов невизначеності, підвищувати ефективність використання ресурсів і забезпечувати стабільну якість обслуговування навіть у складних і високонавантажених середовищах. Проте водночас їх впровадження пов'язане з підвищеними вимогами до апаратного забезпечення, складністю налаштувань, необхідністю забезпечення точного моніторингу та ризиком виникнення нестабільної поведінки у випадку некоректної конфігурації або помилок у керуванні логікою.

#### 2.4 Інтелектуальні методи управління трафіком

Інтелектуальні методи управління трафіком становлять сучасний і високоефективний підхід до організації мережевої взаємодії в умовах складних, динамічних і часто непередбачуваних навантажень. Їх поява зумовлена швидким розвитком технологій штучного інтелекту, зокрема машинного навчання, нейронних мереж, нечіткої логіки та еволюційних алгоритмів, які дозволяють моделювати, аналізувати та прогнозувати мережеві процеси з високою точністю та гнучкістю. Застосування інтелектуальних методів значно розширює можливості адміністрування, дозволяючи створювати системи, здатні до самонавчання, саморегулювання та адаптації до нових умов.

Однією з ключових особливостей інтелектуальних підходів є здатність аналізувати великі масиви даних, отриманих з мережевої інфраструктури в режимі реального часу, і на цій основі приймати рішення щодо пріоритетів трафіку, виявлення аномалій, розподілу ресурсів або передбачення можливих перевантажень. Наприклад, алгоритми машинного навчання можуть використовувати історичні дані для виявлення типових шаблонів поведінки користувачів або сервісів, після чого система буде автоматично регулювати параметри мережі, щойно виявлено відхилення від цих шаблонів. Таким чином, забезпечується не лише реактивна, а й проактивна форма управління.

Нейронні мережі, зокрема глибокі нейронні моделі, можуть бути використані для класифікації трафіку, прогнозування пікових навантажень, автоматичного балансування навантаження між маршрутизаторами або серверами. Завдяки своїй здатності до узагальнення складних нелінійних залежностей, ці моделі дозволяють значно підвищити точність рішень у складних мережових середовищах. Нечітка логіка, у свою чергу, застосовується для прийняття рішень у ситуаціях, коли вихідні дані є неповними, суперечливими або нечіткими, що типово для мереж з високою динамікою та гетерогенністю. Її застосування дозволяє формалізувати експертні знання у вигляді набору правил та автоматизувати процеси оцінки пріоритетності чи безпеки окремих типів трафіку.

Еволюційні алгоритми, як-от генетичні, знаходять широке застосування в задачах оптимізації структури мережі, вибору маршрутів або розподілу смуги пропускання. Вони особливо ефективні тоді, коли необхідно знайти компромісне рішення серед великої кількості можливих варіантів з урахуванням множини обмежень, наприклад, мінімізації затримки при обмеженій пропускній здатності та вимогах до QoS. Крім того, інтелектуальні системи управління трафіком можуть працювати в парі з іншими технологіями – зокрема, з програмно-визначеними мережами (SDN) та мережевою віртуалізацією (NFV), що відкриває нові горизонти для створення гнучких, масштабованих та автономних інфраструктур.

Попри численні переваги, інтелектуальні методи мають і свої обмеження. Їхня реалізація часто вимагає значних обчислювальних ресурсів, які можуть бути недоступними для малих і середніх організацій. Окрім того, навчання моделей вимагає наявності великих і якісних наборів даних, що не завжди можливо у специфічних галузевих умовах. Існує також ризик помилок або упередженості моделей у разі некоректного налаштування параметрів навчання чи використання неповних даних. У зв'язку з цим важливим аспектом залишається постійне оновлення моделей, контроль за якістю вхідних даних та ретельна перевірка результатів.

Метод	Призначення	Переваги	Недоліки
Нейронні мережі	Автоматичне розпізнавання шаблонів трафіку	Висока точність	Складність реалізації
Нечітка логіка	Гнучке прийняття рішень при нечітких даних	Адаптивність	Потреба у великих обчисленнях
Генетичні алгоритми	Оптимізація мережевих рішень	Ефективність у складних мережах	Труднощі з налаштуванням
Методи класифікації	Виявлення аномалій	Автоматичне навчання	Вимоги до навчальних даних
Машинне навчання	Прогнозування та адаптація	Гнучкість у різних ситуаціях	Можливість помилок при навчанні

Рисунок 2.3 – Порівняльний аналіз інтелектуальних методів управління трафіком

Таким чином, інтелектуальні методи управління трафіком є потужним інструментом для забезпечення високої продуктивності, надійності та адаптивності корпоративних мереж у динамічному цифровому середовищі. Вони відкривають можливість для створення самоорганізованих і самонавчальних систем, здатних ефективно функціонувати навіть в умовах нестабільного або агресивного інформаційного простору.

## 2.5 Порівняльний аналіз ефективності методів

Порівняльний аналіз ефективності статистичних, динамічних та інтелектуальних методів управління трафіком демонструє суттєві відмінності у їх призначенні, принципах функціонування та досяжних результатах. Кожна група методів відображає окрему еволюційну стадію розвитку підходів до управління потоками даних, що формувалася у відповідь на зміни

характеру навантажень, вимог до якості сервісу та рівня доступних обчислювальних ресурсів.

Статистичні методи, що базуються на класичних підходах аналізу даних, демонструють ефективність у стабільних мережевих середовищах, де характер трафіку є передбачуваним і схильним до сезонних коливань. Вони забезпечують стратегічну аналітику, дозволяють будувати прогнози та оцінювати ефективність політик, проте мають суттєве обмеження у вигляді нездатності реагувати на зміни в режимі реального часу. Їх перевага полягає у простоті реалізації та низьких вимогах до інфраструктури, однак у динамічних або кризових умовах вони часто втрачають актуальність.

Динамічні методи, навпаки, орієнтовані на оперативне реагування на зміни в мережевому середовищі. Вони забезпечують гнучкість, підтримують баланс між навантаженням і доступними ресурсами, дозволяють знижувати затримки та підвищувати якість обслуговування. Такі методи, як Traffic Shaping або Active Queue Management, ефективно працюють у середовищах із непостійним трафіком і дозволяють автоматизувати регуляцію потоків даних. Проте їх реалізація часто потребує складного налаштування та потужної апаратної бази. Крім того, їхня ефективність суттєво залежить від топології мережі та коректності конфігурації алгоритмів.

Інтелектуальні методи демонструють найвищий потенціал ефективності в умовах складної, гетерогенної та мінливої мережевої інфраструктури. Завдяки здатності до самонавчання, виявлення складних патернів і прийняття рішень на основі нечітких, неповних або суперечливих даних, вони є практично незамінними в контексті сучасної цифрової трансформації. Методи, що використовують нейронні мережі, машинне навчання чи генетичні алгоритми, дозволяють досягати адаптивності та точності, які недоступні класичним підходам. Разом з тим їх упровадження пов'язане з високою вартістю, складністю конфігурації та необхідністю постійного супроводу, що на практиці може бути перешкодою для невеликих організацій.

Таким чином, ефективність методів управління трафіком не може оцінюватися поза контекстом їх застосування. Статистичні методи залишаються актуальними для аналітики та довгострокового планування, динамічні – є основою для гнучкої реальної взаємодії, а інтелектуальні – відкривають перспективи для автономного й передбачуваного управління трафіком. Комплексне використання всіх трьох підходів є найкращою стратегією для побудови стійких і адаптивних мережевих інфраструктур.

### 3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ТРАФІКОМ У КОРПОРАТИВНІЙ МЕРЕЖІ

Моделювання процесів управління трафіком у корпоративних мережах є важливою складовою науково-технічного підходу до аналізу ефективності систем керування, вибору оптимальних конфігурацій та перевірки працездатності запропонованих рішень до їх фактичного впровадження. У сучасних умовах високої варіативності навантажень, гетерогенності обладнання, складної топології мереж та вимог до якості обслуговування, імітаційне й аналітичне моделювання виступають як ключові інструменти попереднього дослідження та валідації рішень, пов'язаних із оптимізацією керування трафіком.

Моделювання трафіку у корпоративному середовищі дозволяє формалізувати процеси передачі, маршрутизації, обробки та контролю даних. У межах такого підходу створюються штучні мережеві умови, що відтворюють характерні властивості та параметри реальної інфраструктури – топологію, пропускну здатність каналів, типи трафіку, правила маршрутизації, політики обслуговування, часові коливання тощо. Це дає змогу без ризику для продуктивного середовища експериментувати з різними стратегіями управління та визначати найефективніші конфігурації з точки зору затримки, втрат, навантаження та стійкості до аномалій.

Особливе значення в моделюванні мають математичні моделі трафіку, які описують поведінку даних у мережі на основі ймовірнісних, аналітичних або гібридних методів. Вони включають у себе використання теорії масового обслуговування, марковських процесів, диференціальних рівнянь та апарату лінійної оптимізації. Такі моделі, хоча й передбачають певне спрощення реальних умов, дозволяють отримати точні кількісні оцінки критичних показників продуктивності та використовуються як базові в процесі проектування архітектури мережі.

Поряд із математичним підходом, важливе місце займає імітаційне моделювання, що базується на побудові віртуальної копії мережі в програмному середовищі. Застосування таких інструментів, як Cisco Packet Tracer, NS-3, GNS3 або OMNeT++, дає змогу детально відтворити сценарії функціонування мережі з різними типами трафіку, конфігураціями та умовами. У результаті можна оцінити вплив змін у політиках управління, наприклад запровадження QoS, застосування адаптивних маршрутизаторів або впровадження фільтрації трафіку. Імітаційне моделювання дозволяє враховувати непередбачуваність змін навантаження, випадкові збої, взаємодію між компонентами мережі та інші аспекти, що є недоступними для чисто аналітичного аналізу.

Ще одним напрямом є використання самонавчальних моделей, які інтегрують інтелектуальні методи (нейронні мережі, нечіткі системи, алгоритми класифікації) в імітаційне середовище. Це дозволяє не лише відтворювати поведінку трафіку, а й прогнозувати її, адаптувати моделі до змінних умов і створювати системи, що здатні автоматично вдосконалювати свої параметри з часом. Такі підходи набувають особливої актуальності в контексті Software-Defined Networking (SDN) та мереж із віртуалізованими функціями (NFV), де централізоване управління поєднується з необхідністю гнучкого реагування на зміни в інфраструктурі.

Моделювання дозволяє виявляти вузькі місця в мережевій архітектурі, оцінювати наслідки зміни конфігурацій, перевіряти гіпотези щодо впровадження нових протоколів або алгоритмів управління, а також формувати підґрунтя для прийняття обґрунтованих технічних рішень. Воно також забезпечує інтеграцію між теоретичним аналізом і практичною реалізацією, дозволяючи скоротити цикл розробки та уникнути ризиків при реалізації змін у продуктивному середовищі.

### 3.1 Особливості моделювання трафіку

Моделювання трафіку в корпоративній мережі є складним завданням, що вимагає урахування численних технічних, статистичних та поведінкових факторів, які безпосередньо впливають на точність відтворення мережевих процесів. Особливості такого моделювання полягають у необхідності максимально достовірного відображення реальних характеристик трафіку, що генерується користувачами, додатками та службовими протоколами в межах корпоративного інформаційного середовища.

Однією з ключових особливостей є різноманітність типів трафіку, які можуть одночасно існувати в мережі. У типових корпоративних системах передаються дані, що суттєво відрізняються за своєю структурою, протоколами, частотою передачі, обсягами та вимогами до якості обслуговування. Наприклад, трафік від відеоконференцій вимагає мінімальної затримки та стійкої пропускну здатності, тоді як резервне копіювання або оновлення програмного забезпечення є менш чутливим до затримок, але характеризується великим обсягом переданих даних. Тому при моделюванні необхідно не лише враховувати самі типи трафіку, а й їхню часову та логічну кореляцію, сезонність, пікові періоди та імовірнісні коливання.

Ще однією важливою особливістю є необхідність урахування топологічної структури мережі, яка включає як фізичну, так і логічну організацію взаємозв'язків між мережевими пристроями. Топологія визначає маршрути, затримки, вузькі місця та шляхи обходу, що мають суттєвий вплив на поведінку трафіку. Неправильне відтворення структури мережі у моделі може призвести до викривлених результатів, які не відповідають реальним сценаріям, особливо якщо йдеться про моделювання критичних точок передачі даних або балансування навантаження між сегментами.

Третім важливим фактором є поведінковий аспект трафіку, який формується внаслідок дій користувачів, бізнес-процесів та автоматизованих

систем. Моделювання має враховувати сценарії використання мережі: інтенсивність активності в різний час доби, залежність від робочих циклів підприємства, взаємодію між підрозділами або географічно розподіленими вузлами. Наприклад, вранці мережа може відчувати пікове навантаження через одночасний запуск систем, а в обідній час – спад трафіку, що потрібно відтворювати для коректного прогнозування поведінки інфраструктури.

Окрему увагу слід приділити параметрам трафіку, які підлягають моделюванню: швидкість передачі, розмір пакетів, інтенсивність генерації, часові інтервали, типи протоколів, а також втрати, затримки та варіації затримок (jitter). У разі складних мереж з високим рівнем інтеграції сервісів, не менш важливим є моделювання QoS-міток, механізмів пріоритезації, політик безпеки та взаємодії з системами моніторингу. Врахування цих аспектів є критично необхідним для створення адекватної та практично корисної моделі.

Нарешті, ще однією особливістю моделювання трафіку є необхідність вибору відповідного рівня деталізації. З одного боку, надмірно спрощена модель може не відображати критичних моментів у роботі мережі. З іншого боку, надмірна деталізація призводить до суттєвого зростання обчислювальних витрат і ускладнює аналіз результатів. Тому важливо досягнути балансу між складністю моделі та її придатністю для прийняття управлінських рішень.

### 3.2 Використання програмних інструментів для моделювання

Застосування програмних інструментів для імітаційного моделювання процесів управління трафіком у корпоративних мережах є важливою складовою як наукових досліджень, так і практичної інженерної діяльності. Завдяки сучасному програмному забезпеченню стало можливим створювати гнучкі, багаторівневі моделі, які відтворюють ключові аспекти функціонування реальних мереж, дозволяючи проводити експерименти,

тестування та аналітичну оцінку без необхідності втручання в продуктивне середовище.

Одним із найбільш популярних інструментів є Cisco Packet Tracer – інтерактивний симулятор мереж, орієнтований передусім на освітні потреби. Його головною перевагою є інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та підтримка базових механізмів управління трафіком, таких як маршрутизація, VLAN, ACL, а також базові налаштування QoS. Цей інструмент надає змогу швидко відтворювати типові мережеві сценарії та досліджувати вплив зміни конфігурації на розподіл трафіку.

Іншим широко використовуваним рішенням є GNS3, який підтримує запуск повноцінних операційних систем маршрутизаторів та комутаторів у віртуалізованому середовищі. Завдяки цьому GNS3 забезпечує реалістичне моделювання трафіку із залученням справжніх образів мережевих пристроїв Cisco, Juniper, Mikrotik тощо. Цей інструмент дозволяє тестувати складні сценарії, моделювати взаємодію між сегментами мережі, а також оцінювати ефективність політик безпеки та обробки трафіку на рівні реального програмного коду.

Для задач академічного рівня часто використовується NS-3 – інструмент для подієвого моделювання мереж, орієнтований на точність відтворення поведінки протоколів і систем управління. Його особливістю є можливість написання власних скриптів моделювання мовами C++ або Python, що відкриває широкі можливості для дослідження алгоритмів управління трафіком у детальному, низькорівневому вигляді. NS-3 дозволяє моделювати вплив різних конфігурацій на рівні транспортного, мережевого та каналного рівнів моделі OSI, а також враховує затримки, втрати пакетів, черги та інші критичні параметри.

OMNeT++ – ще один високофункціональний симулятор, що дозволяє моделювати мережі на основі модульного підходу. Він підтримує детальну побудову мережевих протоколів, що особливо актуально при розробці нових систем управління або при дослідженні нестандартних топологій. Завдяки

потужному графічному інтерфейсу та підтримці бібліотек (наприклад, INET), OMNeT++ широко використовується у науково-дослідних роботах, де необхідна гнучкість та висока деталізація.

У контексті великих мережевих середовищ також застосовуються інструменти на кшталт OPNET (Riverbed Modeler), які забезпечують комплексне моделювання поведінки корпоративної інфраструктури з урахуванням трафіку, взаємодії застосунків, затримок, політик безпеки та розподілених систем управління. Ці рішення мають розвинуту аналітику, підтримують багатопланове трасування подій і дають змогу створювати звіти з високим рівнем деталізації.

Загалом, вибір програмного інструмента залежить від поставленої задачі, технічних можливостей користувача, рівня деталізації моделі та необхідності інтеграції з іншими середовищами. У практиці розумного управління трафіком доцільним є комбінування різних платформ, що дозволяє поєднувати переваги простоти, точності та гнучкості. Таким чином, сучасне програмне забезпечення відкриває широкі можливості для глибокого вивчення мережевих процесів і створення обґрунтованих механізмів контролю над потоками даних.

Вибір Google Colab як інструменту для моделювання трафіку не є прямою альтернативою до Cisco Packet Tracer, GNS3 чи NS-3, але в окремих випадках він може бути кращим – залежно від поставленого завдання. Colab ідеально підходить для аналізу логів, історичних даних, трендів трафіку, створення графіків, теплових карт і моделей прогнозування. Підтримка Python-бібліотек (pandas, matplotlib, scikit-learn, tensorflow) дозволяє реалізувати статистичні й інтелектуальні моделі. Підтримує GPU/TPU, тому ти можеш навчати нейронні мережі для класифікації трафіку, виявлення аномалій, прогнозування перевантажень та легко інтегрується з Google Drive для зберігання результатів, формування PDF-звітів, експорту графіків тощо.

Google Colab – не симулятор, а аналітичне та дослідницьке середовище. Він краще підходить для етапів аналізу, прогнозування, навчання моделей, але не для візуального чи протокольного моделювання трафіку.

### 3.3 Адаптивно-пріоритетний метод управління трафіком з машинним прогнозуванням навантаження

В умовах стрімкого зростання обсягів мережевого трафіку, ускладнення архітектур корпоративних мереж і зростаючих вимог до QoS виникає необхідність у впровадженні гнучких і високоточних механізмів управління потоками даних. Відповіддю на цю потребу є адаптивно-пріоритетний метод управління трафіком з машинним прогнозуванням навантаження, розроблений як універсальний підхід для забезпечення ефективного розподілу мережевих ресурсів, мінімізації затримок та уникнення перевантаження вузлів корпоративної мережі.

Крок 1. Класифікація трафіку за пріоритетами.

Усі вхідні потоки даних поділяються на класи залежно від критичності для бізнес-процесів:

- клас 1 – критичний трафік (голос, відео, транзакції);
- клас 2 – службовий трафік (пошта, бази даних, внутрішні API);
- клас 3 – фоновий або допоміжний трафік (оновлення, резервне копіювання).

Для кожного класу призначається пріоритет:  $P1 > P2 > P3$ .

Крок 2. Моніторинг поточної інтенсивності трафіку.

У режимі реального часу або в контрольованому середовищі проводиться фіксація обсягу трафіку  $\lambda(t)$  через регулярні інтервали часу. Значення можуть бути агреговані в масив:

$$\Lambda = \{\lambda(t-n), \lambda(t-n+1), \dots, \lambda(t)\}. \quad (3.1)$$

Крок 3. Побудова прогнозу трафіку.

На основі масиву  $\Lambda$  будується модель прогнозування:

$$\lambda'(t+1) = f(\Lambda) \quad (3.2)$$

де  $f$  – функція машинного навчання (лінійна регресія, LSTM, SVM або нейронна мережа), що передбачає інтенсивність трафіку на наступний крок.

Крок 4. Аналіз співвідношення пропускної здатності.

Система порівнює прогнозовану інтенсивність  $\lambda'(t+1)$  з максимально допустимою смугою пропускання мережі  $\mu$ :

- якщо  $\lambda'(t+1) < 0.7\mu$ , обслуговуються всі класи без обмежень;
- якщо  $0.7\mu \leq \lambda'(t+1)$ , застосовується часткове обмеження до класу 3;
- якщо  $\lambda'(t+1) \geq \mu$ , трафік класу 3 блокується, клас 2 – обмежується, клас 1 – працює без змін.

Крок 5. Застосування адаптивного управління чергами.

Реалізується управління чергами в кожному класі:

- черги високого пріоритету обробляються першочергово.
- фоновий трафік затримується або скидається залежно від навантаження.
- застосовуються алгоритми типу Active Queue Management з адаптацією порогів від прогнозу.

Крок 6. Контроль втрат і відновлення.

Система реєструє обсяг втрат пакетів, часу очікування, затримок і використовує ці дані для навчання моделі прогнозу в наступних ітераціях.

Запропонований метод поєднує класичні принципи пріоритетного обслуговування з елементами інтелектуального аналізу даних, що забезпечує його гнучкість і здатність до адаптації в динамічному мережевому середовищі. Основною ідеєю методу є попереднє прогнозування інтенсивності трафіку з використанням моделей машинного навчання та

подальше прийняття рішень про обмеження або зміну режиму обслуговування певних класів трафіку на основі прогнозованих значень.

У межах методу всі вхідні потоки поділяються на логічні класи за критерієм критичності до затримок і втрат, після чого для кожного класу встановлюється пріоритет обробки. На основі попередньо зібраних даних про трафік у реальному або контрольованому середовищі (часова інтенсивність, обсяг, середня пропускна здатність) будується прогнозна модель, наприклад, на базі лінійної регресії, дерева рішень або нейромережевої архітектури. Результати прогнозування використовуються для виявлення можливого перевищення доступної смуги пропускання мережі, що в свою чергу ініціює алгоритм адаптивного перерозподілу ресурсів – зокрема, обмеження низькопріоритетного трафіку або переведення його в чергу з мінімальним обслуговуванням.

Перевагою даного методу є його придатність до автоматизованого управління мережею в умовах непередбачуваних змін навантаження, зменшення часу прийняття рішень, підвищення стійкості до перевантажень і здатність масштабуватися відповідно до розміру інфраструктури. Застосування машинного навчання дозволяє забезпечити самонавчання системи на основі попередніх помилок і постійне вдосконалення точності прогнозів. Метод може бути інтегрований у програмно-зорієнтовані мережі (SDN), системи моніторингу та інструменти аналітики безпеки.

Таким чином, адаптивно-пріоритетний метод управління трафіком є ефективним засобом для інтелектуального, динамічного та контекстно-чутливого управління трафіком у сучасних корпоративних мережах, що відповідає актуальним тенденціям цифрової трансформації та зростаючим вимогам до продуктивності IT-інфраструктури.

## 4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

### 4.1 Обґрунтування вибору середовища Google Colab для реалізації методу

Для реалізації та тестування адаптивно-пріоритетного методу управління трафіком з машинним прогнозуванням навантаження було обрано середовище Google Colaboratory (Google Colab). Це інтерактивна хмарна платформа, що поєднує потужні можливості середовища виконання Python із гнучким механізмом розробки, тестування та візуалізації аналітичних моделей у режимі реального часу.

Основною перевагою Google Colab є відсутність потреби у локальному розгортанні програмного забезпечення, що забезпечує повну платформонезалежність і швидкий доступ до ресурсоємних обчислень без додаткових витрат. Середовище автоматично підтримує актуальні версії популярних бібліотек для аналізу даних, машинного навчання та візуалізації, зокрема `pandas`, `numpy`, `scikit-learn`, `matplotlib`, `seaborn`, що дозволяє реалізувати повний цикл обробки трафіку: від генерації вхідних даних до побудови інтелектуальних моделей прийняття рішень.

Крім того, Google Colab надає змогу виконувати обчислення на графічних (GPU) та тензорних (TPU) процесорах, що особливо актуально при використанні складніших архітектур штучного інтелекту, таких як згорткові або рекурентні нейронні мережі. Хмарне зберігання файлів у Google Drive дозволяє зручно організовувати дані, зберігати результати експериментів, створювати звіти та забезпечити спільну роботу над проектом.

Суттєвою перевагою середовища є інтерактивність та можливість поетапного виконання коду з вбудованими блоками Markdown, що забезпечує зрозуміле документування, пояснення алгоритмів та візуальну інтерпретацію результатів. Такий підхід значно покращує наочність

реалізації методу і дозволяє легко адаптувати структуру дослідження до формату пояснювальної записки або наукової публікації.

Таким чином, вибір Google Colab як середовища реалізації методу обумовлений його технічною потужністю, доступністю, універсальністю, високим ступенем інтеграції з інструментами машинного навчання, а також відповідністю сучасним стандартам цифрових наукових досліджень.

## 4.2 Алгоритм реалізації розробленого методу в Google Colab

Для реалізації даного алгоритму пропонується;

- імпортувати бібліотеки;
- завантажити або згенерувати синтетичні дані трафіку;
- імітувати трафік у вигляді серії  $\lambda(t)$  з різними піками;
- розмітити дані за класами трафіку;
- побудувати модель прогнозування;
- візуалізувати результат;
- зробити висновок про ефективність.

### ⚙ Реалізація адаптивно-пріоритетного методу

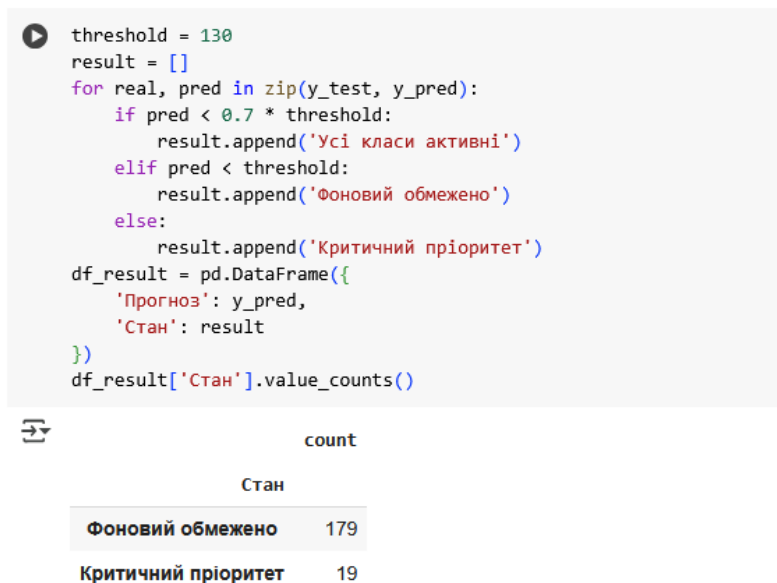


Рисунок 4.1 – Реалізація адаптивно пріоритетного методу

Рисунок 4.1 демонструє фрагмент реалізації механізму адаптивного управління трафіком на основі прогнозованого значення інтенсивності навантаження. У кодї, представленої на рисунку, задано умовну межу пропускної здатності мережі  $\mu=130$ , яка слугує порогом прийняття рішень щодо обслуговування різних класів трафіку. З метою оптимізації розподілу ресурсів прогнозоване значення інтенсивності трафіку  $\lambda'(t+1)$  порівнюється з установленими порогоми у відсотках до  $\mu$ .

Залежно від прогнозованого навантаження, система присвоює кожному часовому інтервалу відповідний стан управління:

- якщо прогнозований трафік є нижчим за 70% від максимально допустимого рівня, система дозволяє одночасне обслуговування всіх класів трафіку (стан: «Усі класи активні»);

- якщо навантаження перевищує 70%, але не перевищує загальний поріг, активується політика часткового обмеження (стан: «Фоновий обмежено»);

- у разі перевищення порогу  $\mu$ , система активує жорсткий режим обслуговування з пріоритетом критичного трафіку (стан: «Критичний пріоритет»).

У нижній частині рисунка наведено підсумковий розподіл прогнозованих ситуацій за виявленими станами. Як видно з таблиці, більшість випадків (179) потрапляють у зону помірної перевантаженості, при якому обмежується лише фоновий трафік. У 19 випадках зафіксовано критичне перевищення допустимого навантаження, що призвело до активації високопріоритетного режиму обслуговування. Відсутність стану «Усі класи активні» свідчить про те, що навіть у періоди відносного спаду навантаження прогнозована інтенсивність залишалася достатньо високою, що є характерним для тривалих періодів роботи системи в умовах підвищеного навантаження.

Такий підхід демонструє ефективність використання прогнозу як основи для адаптивного прийняття рішень щодо керування ресурсами мережі

в реальному або симульованому середовищі. Результати можуть бути використані для оцінки стійкості політики обслуговування до змінних умов трафіку та подальшого удосконалення пріоритетної моделі.

Лістинг всіх файлів представлений в додатку Б.

### 4.3 Аналіз отриманих результатів

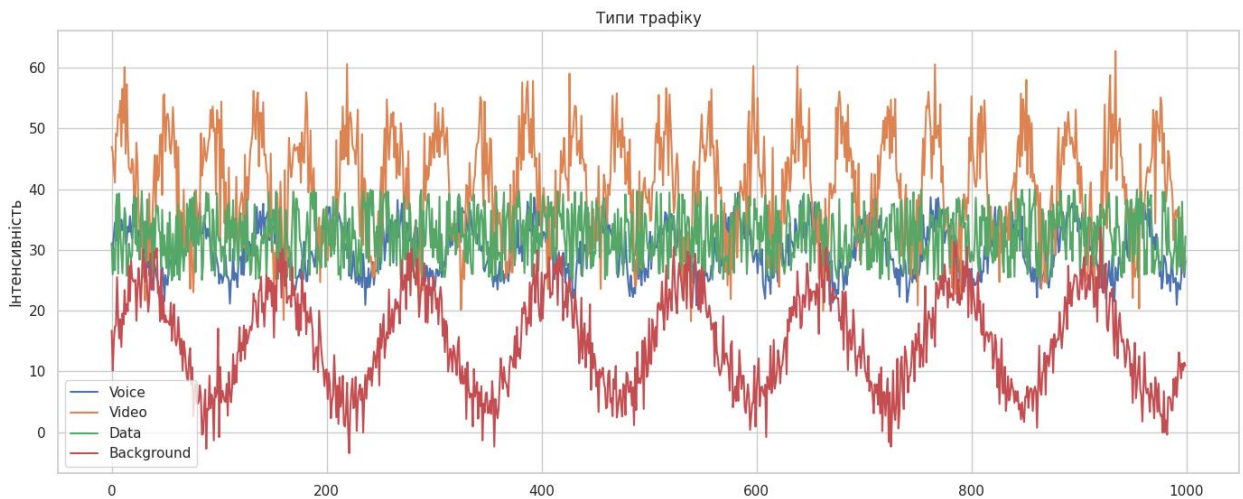


Рисунок 4.2 – Сгенеровані типи трафіку

Рисунок 4.2 ілюструє динаміку зміни інтенсивності чотирьох типів трафіку в корпоративній мережі протягом визначеного періоду часу. На графіку відображено синтетично згенеровані дані, які моделюють характерні особливості передачі голосових, відео-, інформаційних та фонових потоків. Спостерігається значна варіативність відеотрафіку, що супроводжується періодичними піками навантаження, у той час як голосовий трафік характеризується стабільністю та низькою амплітудою коливань. Інформаційний трафік виявляє помірну активність із випадковими збуреннями, а фоновий трафік демонструє хвилеподібну змінність із вираженою сезонністю. Така візуалізація дозволяє оцінити нерівномірність навантаження між типами трафіку та слугує основою для подальшої реалізації політик пріоритезації в рамках системи адаптивного управління.



Рисунок 4.3 – Прогнозування загального трафіку

Графік 4.3 відображає порівняння реального та прогнозованого значень сумарного мережевого трафіку (Total traffic) протягом певного періоду спостережень. Синя лінія представляє фактичні значення інтенсивності навантаження, тоді як помаранчева – результати, отримані внаслідок роботи побудованої прогнозної моделі. Спостерігається достатньо тісна відповідність між прогнозом і реальними коливаннями трафіку, що свідчить про задовільну точність моделі у виявленні загальної динаміки та трендів. Водночас відхилення у пікових зонах вказують на потенційне вдосконалення моделі шляхом підвищення її чутливості до різких змін інтенсивності. Така візуалізація є ключовою для верифікації ефективності алгоритмів прогнозування у рамках адаптивного управління мережевими ресурсами.

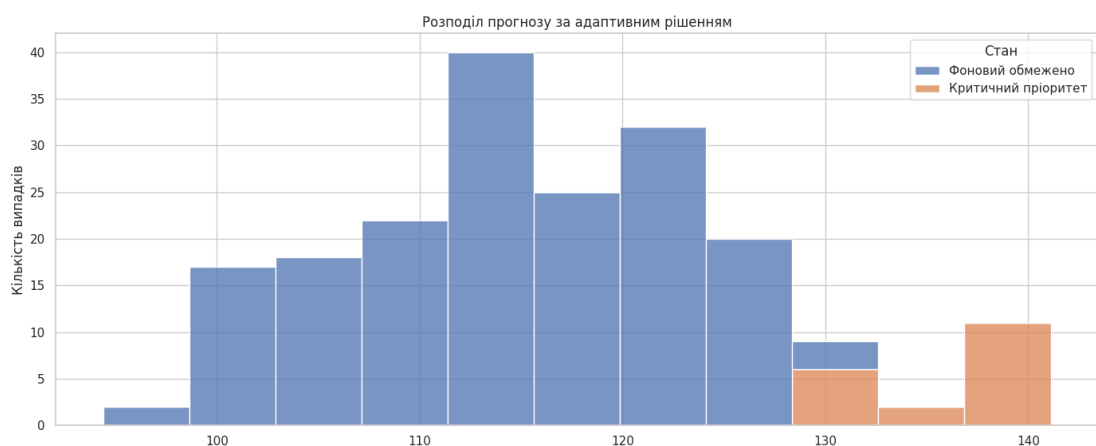


Рисунок 4.4 – Розподіл прогнозу за адаптивним рішенням

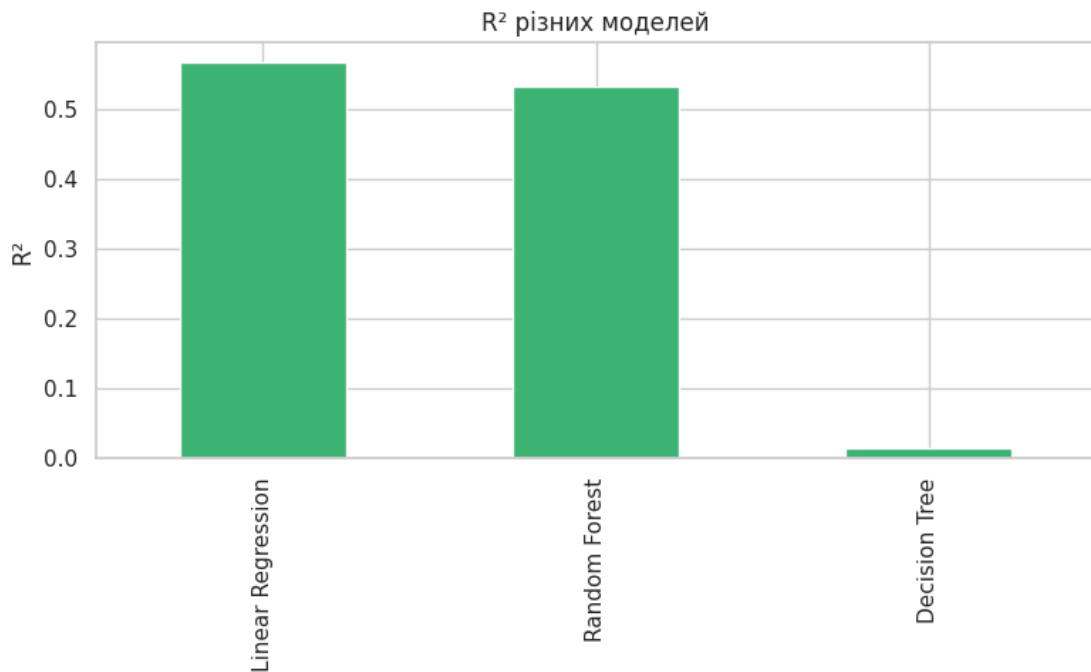


Рисунок 4.5 – Графік порівняння моделей за коефіцієнтом детермінації ( $R^2$ )

На рисунку 4.4 представлено гистограму розподілу прогнозованої інтенсивності трафіку згідно з адаптивно-пріоритетним методом управління, згруповану за типами прийнятих рішень. Графік візуалізує, у якому діапазоні прогнозованих значень спостерігалися відповідні стани системи: «Фоновий обмежено» та «Критичний пріоритет». Як видно з рисунка, більшість прогнозів припадає на зону помірної навантаженості (у межах від 105 до 125 одиниць), що відповідає активації політики часткового обмеження низькопріоритетного трафіку. Зростання частоти випадків у діапазоні понад 130 одиниць свідчить про активацію критичного режиму, де перевага надається лише трафіку з найвищим пріоритетом. Такий аналіз дозволяє кількісно оцінити частоту перевищення допустимого порогу та слугує обґрунтуванням для автоматичного регулювання мережевого навантаження в умовах прогнозованої нестабільності.

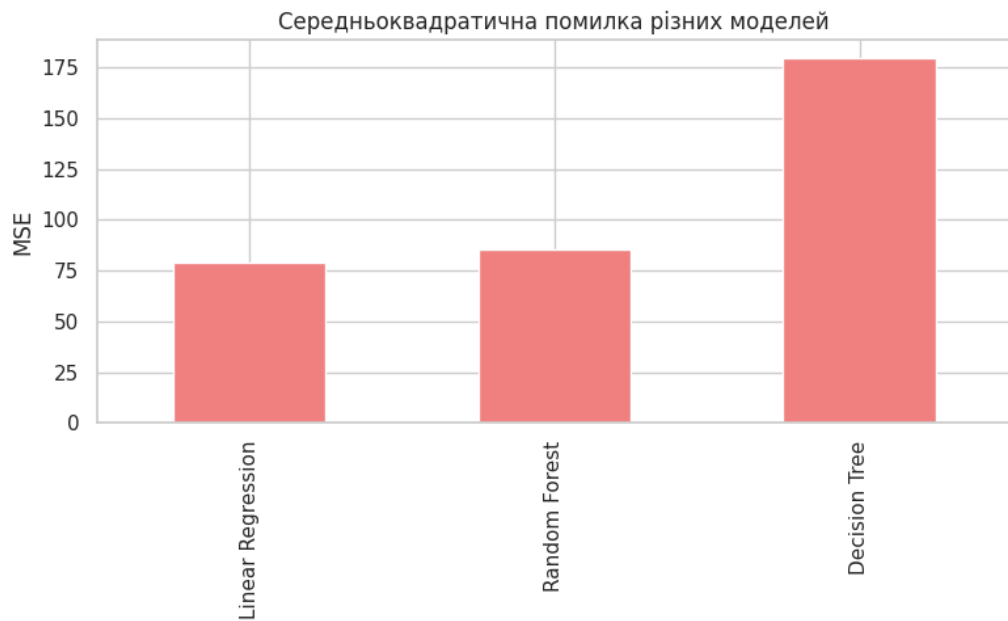


Рисунок 4.6 – Графік порівняння моделей за точністю (MSE)

На рисунках 4.5 та 4.6 представлено порівняльну оцінку ефективності трьох моделей машинного навчання, застосованих для прогнозування інтенсивності мережевого трафіку в рамках адаптивно-пріоритетного методу. Перший графік відображає середньоквадратичну помилку (MSE), яка характеризує точність моделей у кількісному аспекті. Найнижче значення помилки зафіксовано для моделі лінійної регресії, дещо вищий показник демонструє модель випадкового лісу (Random Forest), а найгірший результат – дерево рішень (Decision Tree), яке має суттєво більшу похибку.

Другий графік ілюструє коефіцієнт детермінації  $R^2$ , що відображає якість апроксимації залежності між ознаками та цільовим значенням. Найкращу відповідність між прогнозованими та реальними даними знову показує лінійна регресія, що підтверджує її доцільність для задач з відносно лінійною структурою. Модель Random Forest також демонструє прийнятний рівень узгодженості, тоді як дерево рішень має мінімальне значення  $R^2$ , що свідчить про його слабку здатність до генералізації та високу варіативність результатів.

Ці результати вказують на те, що для прогнозування навантаження у корпоративній мережі доцільно використовувати прості інтерпретовані

моделі або ансамблеві методи, які краще узгоджуються з характером вхідних даних. Отримані метрики є важливою частиною обґрунтування вибору інструменту в науковому дослідженні та підкріплюють достовірність реалізованого методу.

Прогнозується інтенсивність сумарного трафіку (Total), яка, судячи з графіків, коливається приблизно в межах від 90 до 150 одиниць. Це означає, що:

- розмах значень  $\approx 60$ ;
- типова варіація (стандартне відхилення)  $\approx 10$ –15 одиниць.

$MSE \approx 80$ –90 (Linear Regression, Random Forest)

Це значення відповідає середній квадратичній похибці  $\approx 9$ –10, тобто середня абсолютна похибка близька до 9 одиниць. Це допустимий рівень похибки, особливо для синтетичних або шумних даних. Модель адекватно відтворює тренди, навіть якщо не вловлює кожен пік.

$MSE > 170$  (Decision Tree). Це вже високий рівень похибки відносно масштабу значень. Такий результат вказує на перенавчання або неадекватне узагальнення.

Такі значення  $MSE \sim 80$ –90 є прийнятними для прогнозування трафіку у реальних або симульованих системах, особливо якщо мета полягає в адаптивній реакції системи, для чого, відповідно, і був розроблений метод.

## ВИСНОВКИ

В процесі виконання кваліфікаційної роботи було досліджено, проаналізовано та практично реалізовано сучасні методи й моделі управління трафіком у корпоративному мережевому середовищі. Робота охоплює як теоретичні основи функціонування механізмів контролю потоків даних, так і прикладну частину, в якій було здійснено моделювання, прогнозування та оцінку ефективності запропонованого підходу на основі машинного навчання.

Проведений аналіз засвідчив, що традиційні методи управління трафіком – зокрема, статистичні, динамічні й евристичні – мають як певні переваги в окремих сценаріях, так і обмеження, пов'язані з недостатньою адаптивністю до швидких змін мережевого навантаження. Відтак виникла необхідність у створенні комбінованого підходу, що поєднує точність аналітичних моделей з гнучкістю штучного інтелекту. У відповідь на це завдання було розроблено адаптивно-пріоритетний метод управління трафіком з машинним прогнозуванням навантаження, який дозволяє приймати рішення щодо розподілу мережевих ресурсів на основі передбачення пікових ситуацій.

У роботі реалізовано повнофункціональну модель у середовищі Google Colab, що включає генерацію синтетичних типів трафіку, побудову прогнозної моделі, класифікацію за критичністю та динамічне реагування на зміни в умовах навантаження. Проведене тестування моделі на різних алгоритмах машинного навчання (лінійна регресія, дерева рішень, випадковий ліс) дало змогу оцінити точність і стабільність кожного підходу. Найкращі результати було отримано за допомогою лінійної регресії, яка продемонструвала найменшу середньоквадратичну похибку та високий коефіцієнт детермінації.

Аналіз роботи моделі показав, що в більшості випадків система ефективно ідентифікує сценарії помірною навантаження, застосовуючи політику часткового обмеження фонових процесів. У критичних ситуаціях, коли прогнозований рівень трафіку перевищує допустимі пороги, система коректно перемикається на обслуговування лише високопріоритетного трафіку. Це свідчить про здатність алгоритму до проактивного управління ресурсами мережі з урахуванням прогнозованих ризиків перевантаження.

Загалом, результати дослідження підтверджують ефективність запропонованого методу в умовах динамічного корпоративного середовища. Метод може бути застосований у реальних інфраструктурах для забезпечення стійкості сервісів, покращення якості обслуговування та оптимізації використання смуги пропускання. Крім того, використання хмарного середовища Google Colab забезпечило високу продуктивність і масштабованість реалізації без потреби в локальних ресурсах.

За результатами роботи опубліковано статтю в фаховому виданні [9].

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Michael J. Kavis. Architecting the Cloud: Design Decisions for Cloud Computing Service Models (SaaS, PaaS, and IaaS). 1st ed, Wiley, 2014. 224 p.
2. Jean-Georges Perrin. Spark in Action. 2nd ed, Manning, 2020. 576 p.
3. Jack G Nestell, David L Olson Professor. Successful ERP Systems: A Guide for Businesses and Executives. Business Expert Press, 2017. 134 p.
4. Brij Kishore Pandey, Emily Ro Schoof. Building ETL Pipelines with Python: Create and deploy enterprise-ready ETL pipelines by employing modern methods. 1st ed, Packt Publishing, 2023. 246 p.
5. Edward Pollack. Analytics Optimization with Columnstore Indexes in Microsoft SQL Server: Optimizing OLAP Workloads. 1st ed, Apress, 2022. 300 p.
6. Flach P. A. Machine Learning: The Art and Science of Algorithms that Makes Sense of Data. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. 291 p.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511973000>
7. Rolf Oppliger. Ssl and Tls: Theory and Practice. 3rd ed, Artech House, 2023. 388 p.
8. Dr. Logan Song. The Self-Taught Cloud Computing Engineer: A comprehensive professional study guide to AWS, Azure, and GCP. 1st ed., Packt Publishing, 2023. 472 p.
9. Diachenko D., Korobeinikov M., Korobeinikov O., Kovalenko A., Kravchenko P. Data processing methods in a corporate network. Системи управління, навігації та зв'язку, вип.3. Полтава, 2025. С. 81-86.