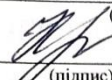


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
ДЕРЖАВНОГО НЕКОМЕРЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»
Циклова комісія комп'ютерних систем та мереж
(повна назва циклової комісії)

Допустити до захисту
Голова випускової циклової комісії
комп'ютерних систем та мереж

 (повна назва циклової комісії)
(підпис) Ірина КРАВЧУК
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)
« 10 » « 06 » 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОГО СТУПЕНЯ
ФАХОВИЙ МОЛОДШИЙ БАКАЛАВР

Тема: Аналіз продуктивності локальної мережі навчального закладу
Криворізький фаховий коледж державного некомерційного
підприємства «Державний університет «Київський авіаційний
інститут»

Група: 3-011 Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Здобувач освіти


(підпис)

Роман РОМАНЦОВ

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи


(підпис)

Андрій КОЖАСЬ

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Консультант з оформлення
пояснювальної записки


(підпис)

Оксана ОСАДЧА

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Кривий Ріг 2025 р.


КРИВОРІЗЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
ДЕРЖАВНОГО НЕКОМЕРЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»

Відділення комп'ютерної та програмної інженерії
Циклова комісія комп'ютерних систем та мереж
Освітньо-професійний ступінь фаховий молодший бакалавр
Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова випускової циклової комісії
комп'ютерних систем та мереж

(повна назва циклової комісії)

 Ірина КРАВЧУК

(підпис)

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

« 01 » 03 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ОСВІТИ

Романцову Роману Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз продуктивності локальної мережі навчального закладу: Криворізький фаховий коледж державного некомерційного підприємства «Державний Університет «Київський авіаційний інститут»

Керівник роботи Кожасев Андрій Володимирович, викладач вищої категорії
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по коледжу від « 04 » 04 2025 року № 50-ст

2. Строк подання здобувачем освіти роботи з _____ по _____

3. Вихідні дані до роботи Розробка обґрунтованих рекомендацій щодо модернізації мережевої інфраструктури коледжу для підвищення її продуктивності, надійності, безпеки та керованості.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Загальна характеристика локальної мережі навчального закладу. Основні причини зниження продуктивності мережі. Оцінка технічного стану мережевої інфраструктури. Підбір і обґрунтування нового обладнання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Презентація Microsoft PowerPoint

6. Консультанти розділів роботи (проекту)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Узгодження технічного завдання з керівником кваліфікаційної роботи</i>	17.03.2025-21.03.2025	виконано
2.	<i>Підбір та вивчення науково-технічної літератури за темою кваліфікаційної роботи</i>	24.03.2025-28.03.2025	виконано
3.	<i>Аналіз стану мережі</i>	31.03.2025-04.04.2025	виконано
4.	<i>Опис компонентів. Обґрунтування їх вибору</i>	07.04.2025-09.04.2025	виконано
5.	<i>Обґрунтування вибору обладнання</i>	10.04.2025-28.04.2025	виконано
6.	<i>Аналіз ефективності реалізованих методів</i>	29.04.2025-02.05.2025	виконано
7.	<i>Написання пояснювальної записки</i>	26.05.2025-30.05.2025	виконано
8.	<i>Перевірка на плагіат пояснювальної записки</i>	02.06.2025-06.06.2025	виконано
9.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи</i>	02.06.2025-06.06.2025	виконано
10.	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>		

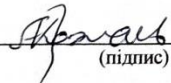
Здобувач освіти


(підпис)

Роман РОМАНЦОВ

(ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

Керівник роботи


(підпис)

Андрій КОЖАЄВ

(ім'я, ПРИЗВИЩЕ)



метадані

Звіт подібності

Назва організації
Ukrainian national aviation university
Заголовок
Романцов_3-011_2025_123_ДР
Автор Науковий керівник / Експерт
РоманцовКожасв А.В
підрозділ
Криворізький Фаховий коледж

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

13971

Кількість слів

106541

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		7
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		2

Подібності за списком джерел

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	Колір тексту	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	КР_КМ_К22-3_Олійник М.А. 11/30/2024 University of Customs and Finance course papers (University of Customs and Finance course papers)		10 0.07 %
2	https://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/168154/%D0%A1%D0%B8%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE_%D0%94%D0%86_123-21%D1%81%D0%BA1_%D0%9F%D0%97.pdf?sequence=1		9 0.06 %

з бази даних RefBooks (0.00 %)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи "Аналіз продуктивності локальної мережі навчального закладу Криворізького фахового коледжу державного некомерційного підприємства «Державний Університет «Київський авіаційний інститут»": 70 сторінок, 12 рисунків, 5 таблиць, 15 використаних джерел.

МІКРОТІК, WI-FI 6, VLAN, QOS, FAST ETHERNET, GIGABIT ETHERNET, КОМУТАТОР, МАРШРУТИЗАТОР, СЕГМЕНТАЦІЯ, ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ, МЕРЕЖЕВЕ НАВАНТАЖЕННЯ, ЛАТЕНТНІСТЬ, ВТРАТА ПАКЕТІВ

Мета: провести аналіз поточної мережевої інфраструктури навчального закладу та розробити рекомендації щодо її модернізації для підвищення продуктивності, надійності й безпеки.

Запропоновано комплексне рішення з модернізації мережі, що включає заміну застарілих Fast Ethernet-комутаторів, впровадження обладнання MikroTik, оновлення бездротової інфраструктури з переходом на Wi-Fi 6, впровадження VLAN-сегментації та оптимізацію магістральних каналів.

Завдяки впровадженню рекомендованих рішень очікується значне зниження латентності, зменшення втрат пакетів, підвищення швидкості доступу до ресурсів та покращення загальної якості мережевого сервісу.

Найбільш ефективним є застосування запропонованої технології в зонах з високим трафіком, зокрема в навчальних аудиторіях, лабораторіях та адміністративному корпусі, де часто виникають проблеми з мережею через перевантаження та застаріле обладнання.

5

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ	6
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ.....	11
1.1 Тип мережевої архітектури.....	11 1.2
Наявне мережеве обладнання	15 1.3

Максимальна можлива пропускна здатність і навантаження	21
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПРИЧИНИ ЗНИЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ МЕРЕЖІ...	29
2.1 Мережева затримка	29 2.2
Втрата пакетів даних	34 2.3
Перевантаження окремих вузлів мережі.....	40
РОЗДІЛ 3 ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МЕРЕЖЕВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ.	47
3.1 Аналіз продуктивності наявного обладнання.....	47
3.2 Основні вразливості та обмеження мережі.....	51 3.3
Поточна пропускна здатність і навантаження	53
РОЗДІЛ 4 ПІДБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ НОВОГО ОБЛАДНАННЯ.....	59
4.1 Критерії вибору виробника.....	59 4.2
Порівняльний аналіз доступних рішень.....	61 4.3
Ефективність впровадження нового обладнання	63
ВИСНОВОК	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	69

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

ACL – Список контролю доступу. Правила, що визначають дозволений або заборонений мережевий трафік.

AP – Точка доступу. Пристрій для бездротового підключення до мережі.

Буфер – Тимчасове сховище даних у мережевому пристрої.

Втрата пакетів – Пакети даних не досягають пункту призначення. **Вузьке місце** – Ділянка мережі, що обмежує загальну швидкість передачі даних.

Вразливості – Слабості системи, що можуть бути використані для порушення безпеки.

Драйвер – Програмне забезпечення для взаємодії з апаратним пристроєм.

Інтерференція – Перешкоди у бездротових мережах.

IP-телефонія – Технологія передачі голосу через Інтернет-протокол.

Керований комутатор – Комутатор з можливістю налаштування та контролю функцій.

Комутатор – Мережевий пристрій для з'єднання сегментів мережі.

Контроль широкомовних штормів – Функція комутатора, що обмежує широкомовний трафік.

Локальна мережа (LAN) – Комп'ютерна мережа, що охоплює невелику територію.

Магістральний канал – Високошвидкісне з'єднання між ключовими вузлами мережі.

Маршрутизація – Процес визначення шляху для передачі пакетів.

Маршрутизатор – Мережевий пристрій, що з'єднує різні мережі.

Масштабованість – Здатність мережі розширюватися для обслуговування зростаючого трафіку.

Мережева інфраструктура – Сукупність апаратних та програмних компонентів мережі.

Мережева петля – Ситуація, коли пакети даних безкінечно циркулюють у мережі.

Моніторинг – Відстеження стану та продуктивності мережі.

Модернізація – Оновлення інфраструктури для підвищення її ефективності.

7

NAT – Перетворення мережевих адрес. Механізм для використання однієї публічної IP-адреси кількома пристроями.

Некерований комутатор – Комутатор без функцій налаштування та управління.

Онлайн-навчання – Освітній процес через Інтернет-технології. **Пакет даних** – Базова одиниця даних, що передається мережею.

Перевантаження – Ситуація, коли пристрій або канал отримує більше трафіку, ніж може обробити.

Переповнення буфера – Стан, коли буфер пристрою заповнений, і пакети відкидаються.

Повторна передача – Повторне надсилання втраченого або пошкодженого пакета.

Продуктивність – Ефективність роботи мережі або пристрою.

Пропускна здатність – Максимальна кількість даних, яку канал може передати за одиницю часу.

Прошивка – Вбудоване програмне забезпечення пристрою.

QoS – Якість обслуговування. Технології для керування трафіком з пріоритизацією.

RouterOS – Операційна система для пристроїв *MikroTik*.

RTT – Час проходження туди й назад. Час відправлення пакета та отримання відповіді.

Сегментація мережі – Розділення мережі на менші логічні сегменти.

SFP+ – Тип трансівера для передачі даних до 10 Гбіт/с.

SNMP – Простий протокол мережевого управління.

Spanning Tree Protocol (STP) – Протокол, що запобігає петлям у комутованих мережах.

Трафік – Потік даних у мережі.

ЦП – Центральний процесор. Основний компонент для виконання інструкцій.

Чорна скринька – Пристрій, внутрішня робота якого невидима.

Широкомовний домен – Частина мережі, де всі пристрої отримують широкомовні пакети.

Широкомовний трафік – Дані, що надсилаються до всіх пристроїв у сегменті.

Енергоефективний – Пристрій, що споживає менше енергії.

8

Ядро мережі – Центральна частина мережі, що забезпечує високошвидкісне з'єднання.

Fast Ethernet – Стандарт *Ethernet* зі швидкістю 100 Мбіт/с.

Wi-Fi 6 (802.11ax) – Найновіший стандарт бездротового зв'язку. **VLAN** – Віртуальна локальна мережа. Технологія для логічного розділення мережі.

КРФК КАІ - Криворізький фаховий коледж державного некомерційного підприємства «Державний Університет «Київський Авіаційний Інститут»

9

ВСТУП

В умовах динамічного розвитку інформаційних технологій та інтеграції в глобальний освітній простір, функціонування сучасних навчальних закладів, таких як коледж Криворізький фаховий коледж державного некомерційного підприємства «Державний університет «Київський авіаційний інститут» (КРФК КАІ), нерозривно пов'язане з якістю та надійністю їхньої комп'ютерної мережевої інфраструктури. Ефективна мережа виступає не просто як технічний засіб, а як фундамент для забезпечення безперебійного освітнього процесу, підтримки дистанційного навчання, автоматизації адміністративних процедур та організації ефективної внутрішньої та зовнішньої комунікації. У цьому контексті, стабільний доступ до мережевих сервісів, висока швидкість передачі даних, відсутність затримок та надійний захист інформації перетворюються на ключові фактори, що безпосередньо впливають на

якість надання освітніх послуг, підвищення академічної успішності та загальну конкурентоспроможність закладу.

Цей документ має на меті здійснити всебічний та комплексний аналіз поточної мережевої інфраструктури коледжу КРФК КАІ. У процесі дослідження буде виявлено її ключові проблеми, що перешкоджають повноцінній реалізації освітніх та адміністративних завдань, а також обґрунтовано нагальну потребу в її модернізації. Детальний розгляд буде присвячений оцінці технічного стану наявного обладнання, включаючи аналіз його продуктивності у різних режимах навантаження та виявлення прихованих і явних вузьких місць та потенційних вразливостей, які можуть загрожувати стабільності та безпеці мережі.

На основі ретельно зібраних та проаналізованих даних буде проведено порівняльний аналіз доступних рішень на сучасному ринку мережевого обладнання. Особлива увага приділятиметься обґрунтованому вибору нового обладнання, що не тільки відповідатиме актуальним технічним вимогам та фінансовим обмеженням, але й матиме потенціал для подальшого розвитку. Буде детально розглянуто ефективність впровадження новітніх технологій, що включає їхній прямий вплив на підвищення загальної продуктивності мережі, посилення її

10

безпеки та забезпечення довгострокової масштабованості. Кінцевою метою цього дослідження є розробка чітких, обґрунтованих та практично застосовних рекомендацій щодо оптимізації та модернізації мережевої інфраструктури коледжу. Це дозволить забезпечити її стабільну, ефективну та безпечну роботу в умовах постійного зростання інформаційних потреб сучасного освітнього середовища.

11

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ

1.1 Тип мережевої архітектури

Локальна мережа навчального закладу побудована на основі топології «зірка». Ця конфігурація є однією з найбільш поширених та ефективних для створення

надійних мереж, що особливо важливо в умовах освітнього середовища з великою кількістю користувачів та різноманітним обладнанням.

Принципи та будова топології «Зірка»

Топологія «зірка» отримала свою назву завдяки візуальному представленню, де всі пристрої мережі (комп'ютери, принтери, сервери тощо) підключаються індивідуальними каналами зв'язку до центрального пристрою. Цим центральним пристроєм, як правило, є комутатор (*switch*) хоча в деяких випадках може виступати маршрутизатор або бездротова точка доступу. Кожний пристрій у мережі має своє виділене з'єднання безпосередньо до цього центрального вузла.

На відміну від інших топологій, де пристрої можуть з'єднуватися послідовно або по колу, в топології «зірка» взаємодія між будь-якими двома пристроями відбувається виключно через центральний пристрій. Коли один пристрій надсилає дані іншому, ці дані спочатку передаються до центрального комутатора або концентратора, який потім пересилає їх до отримувача.

У сучасних мережах, включаючи мережі навчальних закладів, центральним пристроєм найчастіше виступає комутатор. Комутатор є більш інтелектуальним пристроєм порівняно з концентратором. Він аналізує пакети даних та надсилає їх лише на той порт, до якого підключений отримувач, що значно підвищує ефективність мережі та зменшує зайвий трафік. Концентратори (хаби) працюють на фізичному рівні моделі *OSI* і просто ретранслюють отриманий сигнал на всі свої порти, що призводить до більшої кількості колізій та зниження продуктивності в завантажених мережах.

12

Переваги топології «Зірка»

Використання топології «зірка» в локальній мережі навчального закладу має низку суттєвих переваг:

- Надійність: Однією з ключових переваг є висока надійність. Вихід з ладу одного окремого пристрою або обрив кабелю, що з'єднує його з центральним вузлом, ізолює лише цей конкретний пристрій і не впливає на роботу решти мережі. Це критично важливо для навчального закладу, де безперебійна робота мережі є пріоритетом для освітнього процесу.

- Простота в управлінні: Завдяки централізованій структурі топології «зірка», процеси управління мережею та локалізації несправностей значно спрощуються порівняно з більш розподіленими топологіями. Оскільки кожен пристрій підключений безпосередньо до центрального комутатора, це дає можливість адміністратору легше визначити потенційне джерело проблеми, перевіряючи стан відповідного порту на комутаторі. Така ізоляція підключень спрощує процес виявлення несправностей та дозволяє, як правило, швидко усувати проблеми, пов'язані з окремими пристроями або з'єднаннями, без порушення роботи решти мережі.

- Легкість розширення та модифікації: Додавання нових пристроїв до мережі «зірка» є простим процесом. Достатньо підключити новий пристрій до вільного порту на центральному комутаторі. Видалення пристроїв також не викликає складнощів і не порушує роботу інших вузлів мережі. Це забезпечує гнучкість мережі та можливість її масштабування відповідно до потреб навчального закладу, що постійно змінюються.

- Висока продуктивність (при використанні комутаторів): Використання комутатора як центрального пристрою дозволяє значно підвищити продуктивність мережі. Комутатор спрямовує трафік лише до порту призначення, зменшуючи колізії даних та забезпечуючи більш ефективне використання пропускної здатності каналів зв'язку.

13

- Легкість розширення та модифікації: Однією з переваг топології «зірка» є простота її масштабування та внесення змін. Додавання нових пристроїв до мережі вимагає лише підключення їх окремим кабелем до центрального комутатора, не впливаючи на існуючі підключення інших пристроїв. Аналогічно, видалення або переміщення пристрою також не порушує роботу решти мережі. Це робить топологію «зірка» гнучким рішенням для мереж, які можуть потребувати частого розширення або реконфігурації, що є актуальним для динамічного середовища навчального закладу.

Недоліки топології «Зірка»

Незважаючи на численні переваги, топологія «зірка» також має певні недоліки:

- Єдина точка відмови: Найістотнішим недоліком є висока залежність усієї

мережі від центрального пристрою. Якщо центральний комутатор або концентратор виходить з ладу, вся мережа перестає функціонувати. Це вимагає використання надійного та, можливо, резервованого центрального обладнання.

- Вищі витрати на кабелювання: Реалізація топології «зірка» вимагає прокладання окремого кабелю від кожного пристрою до центрального вузла. У великих мережах, таких як мережа навчального закладу, це може призвести до значного збільшення витрат на кабельні матеріали та монтажні роботи порівняно з, наприклад, шинною топологією.

- Обмеження за кількістю портів центрального пристрою: Кількість пристроїв, які можна підключити до мережі, обмежена кількістю портів на центральному комутаторі. Для підключення більшої кількості пристроїв може знадобитися використання додаткових комутаторів або комутаторів з більшою кількістю портів.

14



Рисунок 1.1 – Топологія «Зірка»

- Залежність продуктивності від центрального пристрою: Продуктивність всієї мережі значною мірою залежить від потужності та пропускної здатності центрального комутатора або концентратора.

Топологія «Зірка» в умовах навчального закладу

Для локальної мережі навчального закладу вибір топології «зірка» є обгрунтованим рішенням. В освітньому середовищі, де постійно зростає кількість

підключених пристроїв (комп'ютери в класах, ноутбуки студентів та викладачів, інтерактивні дошки, принтери, бездротові точки доступу), можливість легкого масштабування та управління мережею є критичною.

Надійність топології «зірка» гарантує, що локальні проблеми з підключенням окремих пристроїв не впливають на доступ до мережевих ресурсів для інших користувачів, що важливо для безперервності навчального процесу.

Використання сучасних комутаторів як центральних вузлів дозволяє забезпечити необхідну пропускну здатність для підтримки різноманітних мережевих сервісів, таких як доступ до освітніх платформ, відеоконференції, спільний доступ до файлів та робота з мультимедійним контентом.

15

Незважаючи на потенційно вищі витрати на кабелювання та ризик єдиної точки відмови, переваги, які надає топологія «зірка» з точки зору надійності, керованості та масштабованості, роблять її оптимальним вибором для побудови локальної мережі в навчальному закладі. Важливо правильно спланувати інфраструктуру, обрати відповідне мережеве обладнання з урахуванням майбутніх потреб та, за можливості, передбачити заходи з резервування центральних компонентів для мінімізації ризиків.

1.2 Наявне мережеве обладнання

Локальна мережа навчального закладу побудована з використанням різноманітного мережевого обладнання, що виконує функції комутації, маршрутизації та забезпечення бездротового доступу. Нижче наведено детальний опис ключових компонентів мережевої інфраструктури.

Комутатори *MikroTik*

MikroTik CRS125-24G-1S-2HnD-IN (рисунок 1.2) є багатофункціональними пристроями класу *Cloud Router Switch (CRS)*, які поєднують можливості комутатора рівня 3 та маршрутизатора під управлінням операційної системи *RouterOS*. Ці моделі відіграють важливу роль у формуванні ядра та розподільчого рівня мережі, забезпечуючи високошвидкісну комутацію та розширені мережеві функції.



Рисунок 1.2 – Комутатор «*MikroTik CRS125-24G-1S-2HnD-IN*»

16

MikroTik CRS326-24G-1S-2HnD-IN (рисунок 1.3) оснащений 24 гігабітними *Ethernet*-портами та двома 10-гігабітними *SFP+* портами, що робить його придатним для підключення великої кількості пристроїв та забезпечення високошвидкісних висхідних каналів (*uplinks*) до інших сегментів мережі або магістрального маршрутизатора. Пристрій має одноядерний процесор з номінальною частотою 800 МГц та 512 МБ оперативної пам'яті. Він може працювати під управлінням як *RouterOS*, так і *SwitchOS*, що дозволяє гнучко налаштовувати його функціонал залежно від потреб мережі – від простого керованого комутатора до пристрою з базовими функціями маршрутизації, міжмережевого екранування та *VPN*. Пасивне охолодження забезпечує тиху роботу пристрою, що є перевагою при розміщенні в офісних або навчальних приміщеннях.



Рисунок 1.3 – Комутатор «*MikroTik CRS326-24G-1S-2HnD-IN*»

MikroTik CRS125-24G-1S-2HnD-IN (рисунок 1.4) є схожим за функціоналом, але має дещо інші характеристики. Він оснащений 24 гігабітними *Ethernet*-портами та одним гігабітним *SFP*-портом. Особливістю цієї моделі є наявність вбудованої

бездротової точки доступу стандарту 802.11b/g/n (*Wi-Fi 4*) з двома ланцюгами (*Dual Chain*) для роботи на частоті 2.4 ГГц. Це дозволяє використовувати його не тільки як комутатор/маршрутизатор, але й як точку бездротового доступу в невеликих сегментах мережі. Пристрій працює на базі одноядерного процесора AR9344 з частотою 600 МГц та має 128 МБ оперативної пам'яті. Він також підтримує операційну систему *RouterOS* рівня ліцензії 5. Ця модель є універсальним рішенням для невеликих та середніх офісів або сегментів мережі навчального закладу, де

17

потрібне поєднання функцій комутації, маршрутизації та бездротового доступу в одному пристрої.

Обидва комутатори *MikroTik CRS* підтримують розширені функції комутації рівня 2, такі як *VLAN* (віртуальні локальні мережі), агрегування каналів (*Link Aggregation*), дзеркалювання портів (*Port Mirroring*) та контроль широкомовного шторму (*Broadcast Storm Control*). На рівні 3 вони можуть виконувати базові функції маршрутизації, статичної маршрутизації та управління *QoS* (*Quality of Service*). Ці можливості дозволяють ефективно сегментувати мережу навчального закладу, надавати пріоритет трафіку для критично важливих застосунків (наприклад, онлайн-навчання або адміністративні системи) та підвищувати загальну продуктивність і безпеку мережі.



Рисунок 1.4 – Комутатор «*MikroTik CRS125-24G-1S-2HnD-IN*»

Точка бездротового доступу *MikroTik*

MikroTik CAP ac (рисунок 1.5) це серія бездротових маршрутизаторів/точок доступу, розроблених *MikroTik* для забезпечення високошвидкісного *Wi-Fi* доступу. Ці пристрої підтримують стандарти бездротового зв'язку 802.11a/b/g/n/ac, працюючи одночасно в діапазонах 2.4 ГГц та 5 ГГц (*Dual-Band*).

Моделі серії *CAP ac* оснащені багатоядерними процесорами (4-ядерний *IPQ 4019* з частотою 716 МГц в *CAP ac3* або 650 МГц в *CAP ac lite*) та достатнім обсягом оперативної пам'яті (від 64 МБ до 256 МБ) для обробки мережевого трафіку та підтримки функцій *RouterOS*. Вони мають кілька гігабітних *Ethernet*-портів, а деякі

18

моделі підтримують живлення за технологією *PoE (Power over Ethernet)*, що спрощує їх розгортання у місцях без доступу до електричної розетки. Бездротові точки доступу *MikroTik hAP ac* забезпечують стабільне та швидке *Wi-Fi* з'єднання для великої кількості користувачів, що є надзвичайно важливим у навчальному закладі для доступу до освітніх ресурсів, електронних журналів, онлайн-курсів та мережі Інтернет. Підтримка стандарту *802.11ac* дозволяє досягати вищих швидкостей передачі даних у діапазоні 5 ГГц, який, як правило, менш завантажений перешкодами порівняно з 2.4 ГГц. Антени з відповідним коефіцієнтом підсилення забезпечують покриття необхідної площі. Керування цими точками доступу здійснюється за допомогою *RouterOS*, що дозволяє інтегрувати їх у загальну мережеву інфраструктуру *MikroTik*, налаштовувати віртуальні точки доступу (*SSID*), обмежувати пропускну здатність для окремих користувачів або груп, впроваджувати політики безпеки та моніторити бездротовий трафік.



Рисунок 1.5 – Точка бездротового доступу «*MikroTik CAP ac*»

Комутатори *D-Link*

У мережі також присутні комутатори *D-Link* різних моделей, включаючи *D link*

серії *D-link dgs* та *D-link 1008d*. Це свідчить про використання обладнання різних класів та поколінь для побудови мережі доступу. *D-Link DES-1008D* – це 8- портовий настільний комутатор стандарту *Fast Ethernet* (10/100 Мбіт/с). Такі комутатори є простими у використанні, не вимагають налаштування (*plug-and play*) та використовуються для підключення кінцевих пристроїв (комп'ютерів, принтерів) у невеликих робочих групах або аудиторіях, де не потрібна висока швидкість передачі даних або розширені функції управління. Вони працюють за принципом *store-and-forward*, мають невеликий буфер пам'яті та обмежену таблицю MAC-адрес.

У мережевій інфраструктурі навчального закладу присутні різноманітні комутатори *D-Link*, що включають як некеровані, так і керовані моделі, забезпечуючи гнучкість та масштабованість на рівні доступу та розподілу. Серед них зустрічаються моделі з різною кількістю портів (16- та 24-портові) та пристрої з серії *DGS*, а також модель *1008d*.

Зокрема, модель *D-link 1008d* (що відповідає *D-Link DES-1008D*) є типовим прикладом некерованого 8-портового комутатора стандарту *Fast Ethernet* (10/100 Мбіт/с). Ці пристрої працюють за принципом *plug-and-play*, не вимагають складного налаштування та використовуються для базової комутації на рівні доступу, підключаючи кінцеві пристрої в сегментах, де достатньо пропускної здатності 100 Мбіт/с.

На противагу їм, комутатори серії *D-link dgs*, такі як *D-Link DGS-1100* серія та *D-Link DGS-1210* серія, представляють клас керованих (*Smart Managed*) гігабітних комутаторів. Ці моделі доступні, зокрема, у конфігураціях на 16 та 24 порти, що, ймовірно, відповідає згаданім *D-link 16-port-24-port*. Вони забезпечують не тільки високошвидкісну комутацію на швидкості 1 Гбіт/с на порті, але й пропонують широкий спектр функцій управління через веб-інтерфейс. До цих функцій належать підтримка віртуальних локальних мереж (*VLAN*), протоколу *Spanning Tree Protocol* (*STP*) для запобігання петлям у мережі, агрегування каналів (*Link Aggregation*) для підвищення пропускної здатності висхідних з'єднань, а також розширені функції безпеки, такі як *IGMP snooping* та списки контролю

доступу (ACL). Моделі серії *DGS* можуть підтримувати технологію *Power over Ethernet (PoE)*, що дозволяє централізовано живити сумісні пристрої, наприклад, бездротові точки доступу або *IP*-камери, безпосередньо через мережевий кабель. Комутатори серії *DGS* є важливим компонентом мережі на рівнях доступу та розподілу, забезпечуючи кероване підключення великої кількості кінцевих користувачів та ефективну сегментацію мережевого трафіку в умовах навчального закладу.

Комутатори *TP-Link*

У мережевій інфраструктурі навчального закладу також присутні комутатори *TP-Link*, зокрема моделі *TP link 1008d* та *TP link tl-sf1024*. Це некеровані комутатори стандарту *Fast Ethernet*.

TP-Link TL-SF1008D – це 8-портовий некерований настільний комутатор 10/100 Мбіт/с. Він має компактний пластиковий корпус та підтримує технологію *Green Ethernet* для енергозбереження. Цей комутатор є типовим рішенням для підключення невеликої кількості пристроїв, де швидкість 100 Мбіт/с є достатньою, наприклад, в окремих кабінетах або лабораторіях.

TP-Link TL-SF1024 – це 24-портовий некерований комутатор 10/100 Мбіт/с, призначений для встановлення в стійку (*Rackmount*). Він забезпечує підключення до 24 пристроїв на швидкості 100 Мбіт/с та має комутаційну здатність 4.8 Гбіт/с. Такі комутатори зазвичай використовуються на рівні доступу для підключення робочих станцій у комп'ютерних класах, бібліотеці або офісних приміщеннях, де велика кількість портів є необхідною, але гігабітна швидкість не завжди потрібна для кожного окремого підключення.

Використання некерованих комутаторів *TP-Link 1008d* та *TL-SF1024*, ймовірно, пов'язане з потребою в простому та економічному рішенні для розширення мережі на рівні доступу в менш критичних сегментах або там, де вищі швидкості та керованість не є першочерговими вимогами.

Загалом, наявне мережеве обладнання в навчальному закладі є типовим для мереж різного масштабу та потреб, поєднуючи більш функціональні та керовані пристрої *MikroTik* та *D-Link* серії *DGS* для основних сегментів мережі та ядра з

простішими некерованими комутаторами *D-Link* та *TP-Link* для рівня доступу. Така

комбінація дозволяє побудувати багаторівневу мережу, оптимізуючи витрати та забезпечуючи необхідний рівень функціональності та продуктивності для різних груп користувачів та сервісів в освітньому середовищі.

1.3 Максимальна можлива пропускна здатність і навантаження

Для ефективного функціонування локальної мережі навчального закладу критично важливим є розуміння її пропускної здатності та характеру навантаження. Максимальна можлива пропускна здатність визначається характеристиками мережевого обладнання та топологією мережі, тоді як фактичне навантаження залежить від інтенсивності використання мережевих ресурсів користувачами та типу виконуваних завдань. Аналіз цих параметрів дозволяє оцінити поточний стан мережі, виявити потенційні вузькі місця та спланувати її подальший розвиток.

Поняття пропускної здатності та навантаження

Пропускна здатність (*Bandwidth*) мережі – це максимальний обсяг даних, який може бути переданий через мережевий канал або пристрій за одиницю часу. Вона вимірюється, як правило, в бітах за секунду (біт/с, Кбіт/с, Мбіт/с, Гбіт/с). Пропускна здатність окремого мережевого з'єднання визначається стандартом технології (наприклад, 100 Мбіт/с для *Fast Ethernet* або 1 Гбіт/с для *Gigabit Ethernet*). Загальна пропускна здатність мережі є сукупністю пропускних здатностей її окремих сегментів та продуктивності активного обладнання, такого як комутатори та маршрутизатори.

Навантаження (*Load*) мережі – це фактичний обсяг даних, що передається через мережу в певний момент часу або за певний період. Навантаження є динамічним параметром і постійно змінюється залежно від активності користувачів. Розрізняють типове (середнє) навантаження та пікове (максимальне) навантаження. Типове навантаження відповідає повсякденній роботі мережі, тоді як пікове виникає під час інтенсивного використання ресурсів, наприклад, під час

22

онлайн-тестування для всіх студентів одночасно, масового завантаження оновлень програмного забезпечення або активного використання мультимедійних сервісів. Співвідношення між пропускною здатністю та навантаженням є ключовим показником ефективності мережі. Якщо навантаження перевищує пропускну

здатність певного сегмента або пристрою, виникає перевантаження, що призводить до затримок, втрати пакетів та загального зниження продуктивності мережі. Вплив обладнання на пропускну здатність

Наявне в мережі навчального закладу обладнання має різні характеристики пропускну здатності, що визначають загальну продуктивність окремих сегментів та мережі в цілому.

Комутатори *MikroTik CRS326-24G-1S-2HnD-IN* та *CRS125-24G-1S-2HnD-IN*: Ці комутатори є центральними елементами мережі, особливо *CRS326* завдяки наявності 10-гігабітних портів *SFP+*. Комутаційна здатність (*Switching Capacity*) комутатора визначає максимальний обсяг даних, який він може обробити одночасно на всіх своїх портах. Для *CRS326-24G-2S+IN* (схожа модель на *CRS326-24G-1S-2HnD-IN*) комутаційна матриця становить близько 88 Гбіт/с. Для *CRS125-24G-1S-2HnD-IN* комутаційна здатність рівня 2 становить близько 48 Гбіт/с. Ці показники свідчать про високу внутрішню пропускну здатність комутаторів, що дозволяє ефективно комутувати трафік між підключеними пристроями на гігабітних швидкостях. Наявність 10-гігабітних портів на *CRS326* дозволяє створювати високошвидкісні з'єднання з іншими комутаторами або серверами, усуваючи потенційні вузькі місця на магістральних каналах.

Комутатори *D-Link* (16/24-портові *DGS* серії): Керовані гігабітні комутатори серії *D-Link DGS-1210*, які ймовірно використовуються як 16- та 24-портові моделі, мають комутаційну матрицю, достатню для повнодуплексної роботи на всіх своїх гігабітних портах. Наприклад, 24-портовий гігабітний комутатор *DGS-1100-24* має комутаційну матрицю 48 Гбіт/с. Це означає, що ці комутатори можуть забезпечити сумарну пропускну здатність до 24 Гбіт/с (по 1 Гбіт/с в кожному напрямку на 24 портах). Вони використовуються для підключення великої кількості пристроїв на гігабітній швидкості, що є стандартом для сучасних робочих станцій та серверів.

23

Комутатори *TP-Link TL-SF1024* та *D-Link DES-1008D/TP-Link TL-SF1008D*: Ці комутатори є пристроями стандарту *Fast Ethernet* (10/100 Мбіт/с). *TP-Link TL SF1024*, як 24-портовий комутатор, забезпечує максимальну пропускну здатність 100 Мбіт/с на кожному порту, а його комутаційна здатність становить 4.8 Гбіт/с. *D Link DES-1008D* та *TP-Link TL-SF1008D*, як 8-портові комутатори, мають максимальну

пропускну здатність 100 Мбіт/с на порті. Ці комутатори є потенційними вузькими місцями для пристроїв, які потребують вищої пропускну здатності, але можуть бути достатніми для підключення принтерів, старих комп'ютерів або інших пристроїв, що не генерують інтенсивний трафік.

Точка бездротового доступу *MikroTik CAP ac*: Пропускна здатність бездротової мережі залежить від стандарту *Wi-Fi*, кількості просторових потоків (*chains*), зашумленості ефіру та відстані до точки доступу. Стандарт *802.11ac* забезпечує вищі швидкості порівняно з *802.11n*, особливо в діапазоні 5 ГГц. Максимальна теоретична канална швидкість для *hAP ac lite* становить 300 Мбіт/с на 2.4 ГГц та 433.3 Мбіт/с на 5 ГГц, а для *hAP ac3* може бути вищою завдяки підтримці *802.11ac wave 2*. Фактична пропускна здатність, доступна користувачам, буде значно нижчою через накладні витрати протоколу, інтерференцію та одночасну роботу багатьох пристроїв.

Максимальна можлива пропускна здатність мережі

Визначення єдиного значення максимальної пропускну здатності для всієї мережі зіркоподібної топології є складним, оскільки вона залежить від конкретного шляху проходження даних та продуктивності задіяного обладнання на цьому шляху. Однак можна оцінити максимальну агреговану пропускну здатність та пропускну здатність ключових сегментів.

Теоретична максимальна агрегована пропускна здатність на рівні ядра мережі, де розташовані комутатори *MikroTik CRS*, є дуже високою завдяки гігабітним та 10-гігабітним портам та високій комутаційній здатності самих комутаторів. Наприклад, комутатор *CRS326-24G-1S-2HnD-IN* може одночасно обробляти трафік на швидкості, близькій до 88 Гбіт/с.

24

Пропускна здатність сегментів доступу, де підключаються кінцеві пристрої, обмежується швидкістю портів комутаторів доступу. Для сегментів, підключених до гігабітних комутаторів *D-Link DGS* або *MikroTik CRS*, максимальна швидкість підключення пристрою становить 1 Гбіт/с. Для сегментів, підключених до комутаторів *Fast Ethernet (TP-Link TL-SF1024, D-Link DES-1008D, TP-Link TL SF1008D)*, максимальна швидкість підключення становить 100 Мбіт/с. Найвищу потенційну пропускну здатність в межах локальної мережі забезпечують зв'язки між

комутаторами *MikroTik CRS* та, можливо, з'єднання з серверами або зовнішнім каналом Інтернет через 10-гігабітні *SFP+* порти *CRS326*. Типове та максимальне навантаження

Типове навантаження локальної мережі навчального закладу включає: ○ Доступ до мережевих ресурсів: файлових серверів, принтерів, внутрішніх веб-порталів.

- Робота з електронною поштою.
- Перегляд веб-сторінок.
- Використання офісних застосунків.
- Трафік систем управління навчанням (*LMS*).

Це навантаження, як правило, є розподіленим протягом дня з певним зростанням у періоди активних занять.

Максимальне навантаження виникає під час подій, що вимагають одночасного інтенсивного використання мережевих ресурсів великою кількістю користувачів. Це може бути:

- Онлайн-тестування або іспити.
- Масове оновлення програмного забезпечення на комп'ютерах.
- Перегляд відеолекцій або участь у відеоконференціях великими групами.

25

Таблиця 1.1 – Основні характеристики обладнання, що впливають на пропускну здатність

Тип обладнання	Модель	Кількість та тип портів	Максимальна швидкість порту	Комутаційна здатність (приблизно)	Примітки
Комутатор рівня 3 / Маршрутизатор	<i>MikroTik CRS326-24G-1S 2HnD-IN</i>	24 x 1 Гбіт/с Ethernet, 2 x 10 Гбіт/с SFP+	10 Гбіт/с	~88 Гбіт/с	Ядро/розподіл, висока пропускну здатність
Комутатор рівня 3 / Маршрутизатор	<i>MikroTik CRS125-24G-1S 2HnD-IN</i>	24 x 1 Гбіт/с Ethernet, 1 x 1 Гбіт/с SFP	1 Гбіт/с	~48 Гбіт/с	Розподіл/доступ, є <i>Wi-Fi</i> 2.4 ГГц

Точка бездротового доступу	<i>MikroTik hAP ac</i> (серія)	Кілька гігабітних <i>Ethernet</i> портів (залежить від моделі)	-	-	<i>Wi-Fi</i> 802.11a/b/g/n/ac (2.4/5 ГГц)
Комутатор керований / <i>Smart</i>	<i>D-Link DGS</i> (серія 1210+)	16/24 x 1 Гбіт/с <i>Ethernet</i> , <i>SFP</i> порти (залежить від моделі)	1 Гбіт/с	32-48 Гбіт/с (для 16/24 портів)	Доступ/розподіл, керований
Комутатор некерований	<i>D-Link</i> (16/24-портовий)	16/24 x 1 Гбіт/с <i>Ethernet</i>	1 Гбіт/с	32-48 Гбіт/с (для 16/24 портів)	Доступ
Комутатор некерований	<i>TP-Link TL SF1024</i>	24 x 100 Мбіт/с <i>Ethernet</i>	100 Мбіт/с	4.8 Гбіт/с	Доступ, <i>Fast Ethernet</i>
Комутатор некерований	<i>D-Link DES 1008D</i> / <i>TP-Link TL SF1008D</i>	8 x 100 Мбіт/с <i>Ethernet</i>	100 Мбіт/с	1.6 Гбіт/с (для 8 портів)	Доступ, <i>Fast Ethernet</i> , малі групи

Завантаження або вивантаження великих файлів (наприклад, мультимедійних матеріалів).

Під час пікових навантажень окремі сегменти мережі або центральні пристрої можуть ставати "вузькими місцями", якщо їх пропускна здатність виявиться

26

недостатньою для обробки всього трафіку. Комутатори *Fast Ethernet* (100 Мбіт/с) є найбільш імовірними кандидатами на перевантаження в таких сценаріях, особливо якщо до них підключено багато активних користувачів. Навіть гігабітні сегменти можуть відчувати навантаження, якщо трафік від багатьох кінцевих пристроїв спрямовується до одного сервера або через один магістральний канал.

Вплив топології «зірка» на навантаження полягає в тому, що весь трафік між

пристроями проходить через центральний комутатор. При використанні комутаторів (на відміну від концентраторів), це не призводить до надмірних колізій, оскільки комутатор розділяє домени колізій на кожному порту. Однак, продуктивність центрального комутатора та пропускна здатність його внутрішньої шини стають лімітуючими факторами для сукупного трафіку. Висока комутаційна здатність комутаторів *MikroTik CRS* є перевагою в цьому аспекті.

Для визначення фактичного типового та максимального навантаження в мережі навчального закладу необхідний моніторинг мережевого трафіку за допомогою спеціалізованих інструментів. Це дозволить зібрати статистичні дані про завантаженість портів комутаторів, використання пропускної здатності каналів зв'язку та інтенсивність трафіку до ключових серверів та зовнішніх ресурсів.

На основі аналізу обладнання можна виділити потенційні вузькі місця в мережі, які можуть обмежувати пропускну здатність під час високого навантаження:

1. Комутатори *Fast Ethernet (TP-Link TL-SF1024, D-Link DES-1008D, TP Link TL-SF1008D)*: Ці комутатори мають максимальну швидкість порту 100 Мбіт/с, що може стати обмежуючим фактором при підключенні до них пристроїв, що генерують або споживають значний трафік (наприклад, сучасні робочі станції, що працюють з великими файлами або мультимедійним контентом). Якщо до такого комутатора підключено багато активних користувачів, сумарне навантаження може швидко перевищити його комутаційну здатність або пропускну здатність його висхідного каналу до основного комутатора.

2. Вихідні канали (*Uplinks*) від комутаторів доступу: Якщо комутатори доступу (навіть гігабітні *D-Link DGS*) підключені до комутатора розподілу або ядра

27

за допомогою одного гігабітного каналу, цей канал може стати вузьким місцем при інтенсивному трафіку від усіх підключених до нього пристроїв. 3. Бездротова мережа: Хоча стандарт 802.11ac забезпечує високу каналну швидкість, фактична пропускна здатність *Wi-Fi* є спільною для всіх пристроїв, підключених до однієї точки доступу, і може значно знижуватися при збільшенні кількості одночасних користувачів та наявності радіоперешкод. Активне використання онлайн-відео або інших застосунків, чутливих до затримок, може призвести до зниження якості зв'язку в бездротовій мережі. 4. Центральні комутатори *MikroTik CRS*: Хоча вони мають

високу комутаційну здатність, при надзвичайно високому сукупному навантаженні з усіх сегментів мережі або інтенсивному використанні функцій маршрутизації та міжмережевого екранування, їх процесорні ресурси також можуть стати обмежуючим фактором.

Висновки щодо пропускної здатності та навантаження

Локальна мережа навчального закладу, побудована на основі топології «зірка» з використанням зазначеного обладнання, має значний потенціал пропускної здатності на рівні ядра та розподілу завдяки гігабітним та 10-гігабітним комутаторам *MikroTik CRS* та гігабітним керованим комутаторам *D-Link DGS*. Це забезпечує високошвидкісне з'єднання між основними сегментами мережі, серверами та зовнішнім каналом Інтернет.

Проте, наявність комутаторів *Fast Ethernet* на рівні доступу (*TP-Link TL SF1024*, *D-Link DES-1008D*, *TP-Link TL-SF1008D*) створює потенційні вузькі місця в сегментах, де підключені кінцеві користувачі. Максимальне навантаження в таких сегментах обмежене швидкістю 100 Мбіт/с, що може бути недостатньо для сучасних потреб, особливо під час пікової активності. Бездротова мережа, хоча й підтримує сучасні стандарти, також є спільною середовищем, де ефективна пропускна здатність на одного користувача зменшується зі зростанням їх кількості.

Для забезпечення стабільної та високопродуктивної роботи мережі під час типових та пікових навантажень рекомендується проводити моніторинг завантаженості ключових сегментів та пристроїв. У випадку виявлення постійного

28

або періодичного перевантаження комутаторів *Fast Ethernet*, слід розглянути можливість їх заміни на гігабітні комутатори. Також варто звернути увагу на пропускну здатність з'єднань між комутаторами мережі та, за необхідності, розглянути агрегування каналів для підвищення їх сукупної пропускної здатності. Оптимізація налаштувань якості обслуговування (*QoS*) на керованих комутаторах може допомогти надавати пріоритет критичний трафік під час високого навантаження.

Аналіз максимальної можливої пропускної здатності та оцінка типового/максимального навантаження є безперервним процесом, який має супроводжуватися моніторингом та плануванням розвитку мережевої

інфраструктури відповідно до зростаючих потреб навчального закладу у високошвидкісному та надійному доступі до мережевих ресурсів.

29

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ПРИЧИНИ ЗНИЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ МЕРЕЖІ

2.1 Мережева затримка

Мережева затримка, або латентність, є одним з найважливіших показників ефективності функціонування локальної мережі навчального закладу. Вона визначає часовий інтервал, необхідний для передачі пакета даних від джерела до пункту призначення. У сучасному освітньому середовищі, що активно використовує онлайн-ресурси, платформи для дистанційного навчання, відеоконференції та мультимедійний контент, навіть незначне збільшення затримки може суттєво погіршити користувацький досвід та знизити ефективність освітнього процесу. Аналіз мережевої затримки, з урахуванням особливостей топології «зірка» та наявного обладнання *MikroTik*, *D-Link* та *TP-Link*, дозволяє виявити потенційні вузькі місця та розробити стратегії оптимізації.

Мережева затримка складається з кількох основних компонентів, кожен з яких робить свій внесок у загальний час проходження пакетів. До них належать затримка розповсюдження, затримка передачі, затримка обробки та затримка в черзі.

Затримка розповсюдження зумовлена фізичною відстанню, яку долає сигнал, та швидкістю його розповсюдження в середовищі. У мережі навчального закладу, яка може охоплювати кілька поверхів або навіть окремі будівлі, загальна довжина кабельних сегментів є значною. Використання мідних кабелів для більшості з'єднань вносить певну, хоч і незначну для локальних сегментів, затримку. Втім, для магістральних з'єднань між центральними комутаторами *MikroTik CRS* або між окремими будинками, застосування оптоволоконних ліній зв'язку дозволяє мінімізувати цю складову затримки завдяки вищій швидкості розповсюдження сигналу світла.

Затримка передачі безпосередньо залежить від розміру пакета даних та пропускної здатності каналу. Цей фактор є особливо актуальним у мережі

навчального закладу через різномірність використовуваного обладнання. Сегменти мережі, що підключені до комутаторів *Fast Ethernet*, таких як *TP-Link TL-SF1024* та *D-Link DES-1008D / TP-Link TL-SF1008D*, мають максимальну швидкість передачі 100 Мбіт/с на порті. Це означає, що для пакетів однакового розміру затримка передачі через ці комутатори буде в 10 разів більшою, ніж на гігабітних портах комутаторів *MikroTik CRS* або *D-Link DGS* серії (які забезпечують 1 Гбіт/с). Наприклад, передача пакету розміром 1500 байт (12000 біт) займе 0.12 мс на 100 Мбіт/с каналі, тоді як на 1 Гбіт/с каналі – лише 0.012 мс. При інтенсивному обміні великими файлами або потоковим відео в таких сегментах, сумарна затримка передачі може стати суттєвою.

Затримка обробки виникає на активних мережевих пристроях, таких як комутатори та маршрутизатори, під час обробки вхідних пакетів перед їх пересиланням. Продуктивність цих пристроїв є визначальною. Комутатори *MikroTik CRS326-24G-1S-2HnD-IN* та *CRS125-24G-1S-2HnD-IN*, будучи потужними *Cloud Router Switch*, оснащені багатоядерними процесорами та достатнім обсягом оперативної пам'яті. Це дозволяє їм ефективно виконувати функції комутації рівня 2 та маршрутизації рівня 3, а також обробляти складні правила міжмережевого екранування, *QoS* та інші політики, мінімізуючи затримку обробки. Аналогічно, керовані комутатори *D-Link DGS* серії (наприклад, *DGS-1100* або *DGS-1210*), як "розумні" керовані комутатори, також мають достатню обчислювальну потужність для обробки мережевого трафіку з мінімальними затримками. Однак, надмірна кількість складних правил на маршрутизаторі, що виконує роль шлюзу до Інтернету, може збільшити цю затримку. Некеровані комутатори (*D-Link DES 1008D*, *TP-Link TL-SF1024*, *TP-Link TL-SF1008D*) вносять мінімальну затримку обробки, оскільки вони не виконують складних функцій і просто пересилають пакети.

Затримка в черзі є найбільш змінною складовою і виникає, коли мережевий пристрій отримує пакети швидше, ніж може їх обробити або відправити. Пакети тимчасово зберігаються в буферній пам'яті (черзі). Ця затримка безпосередньо залежить від рівня завантаженості мережі та буферної ємності комутаторів. У

періоди пікового навантаження (наприклад, під час онлайн-тестування великої

кількості студентів, масового завантаження оновлень або використання потокового відео) затримка в черзі може значно зрости. Особливо вразливими до цього є сегменти, підключені до комутаторів з меншою пропускнуою здатністю (наприклад, 100 Мбіт/с *Fast Ethernet* комутатори) або з недостатніми розмірами буферів, оскільки вони швидше досягають точки перевантаження. Також, з'єднання між комутаторами, якщо вони не мають достатньої пропускнуої здатності або не агреговані, можуть стати вузькими місцями, де пакети будуть ставати в чергу.

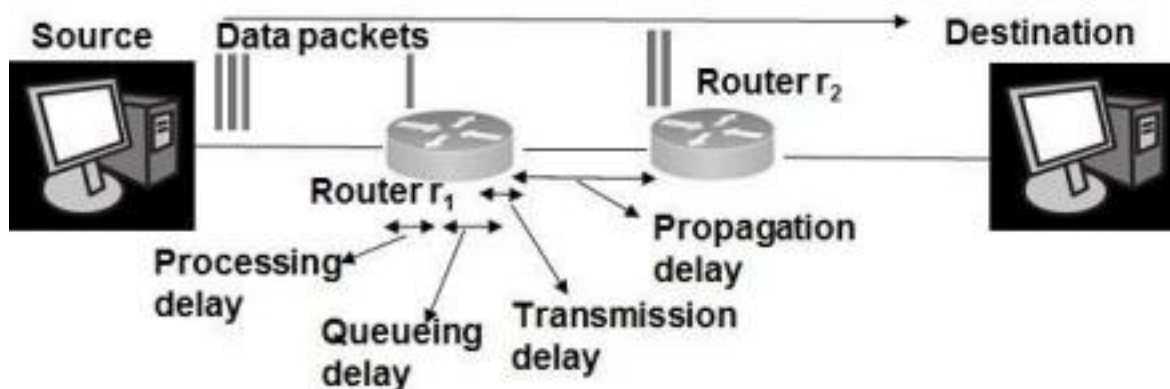


Рисунок 2.1 – Схематичне зображення компонентів затримки

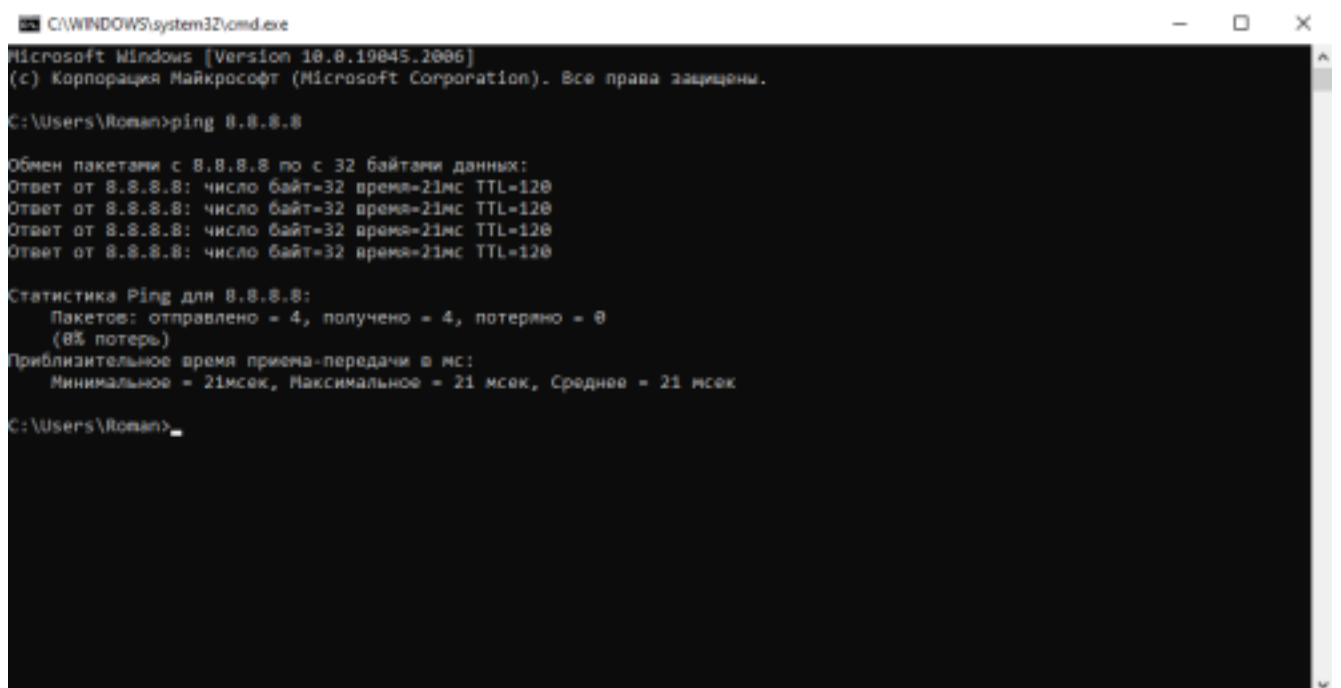
Опис: Схематична діаграма, що ілюструє шлях пакета даних від одного комп'ютера через комутатор/маршрутизатор до іншого, з позначенням Затримка розповсюдження (*Propagation Delay*), Затримка передачі (*Transmission Delay*), Затримка обробки (*Processing Delay*) та Затримка в черзі (*Queueing Delay*) на кожному етапі.

Вплив мережевої затримки на застосунки в навчальному закладі є різноманітним. Для *VoIP* та відеоконференцій, які є чутливими до затримок, навіть невелике збільшення *RTT* (понад 150-200 мс) може призвести до відчутного погіршення якості зв'язку, розсинхронізації або переривань. Онлайн-ігри та віддалений робочий стіл також страждають від високої затримки, що робить їх використання некомфортним або неможливим. З іншого боку, передача файлів або веб-серфінг є менш чутливими до затримок, хоча надмірна латентність може уповільнити встановлення з'єднань та завантаження багатьох дрібних елементів

сторінки. У контексті навчального закладу, де все більше використовуються хмарні сервіси та дистанційне навчання, низька затримка є критично важливою для забезпечення ефективного доступу до навчальних матеріалів та інтерактивної

взаємодії.

Діагностика мережевої затримки є невід'ємною частиною управління мережею. Основними інструментами є команда *ping* для вимірювання *RTT* до конкретних вузлів та *tracert* (або *tracert* у *Windows*), яка дозволяє простежити шлях пакета та виміряти затримку до кожного проміжного вузла на цьому шляху. Це допомагає виявити, на якому сегменті мережі або на якому мережевому пристрої виникає найбільша затримка. Для постійного моніторингу та збору статистики можна використовувати мережеві моніторингові системи (*NMS*), які інтегруються з обладнанням *MikroTik* та *D-Link* для збору даних про стан портів, завантаженість та *RTT*.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 10.0.19045.2006]
(c) Корпорація Майкрософт (Microsoft Corporation). Все права захищено.

C:\Users\Roman>ping 8.8.8.8

Обмен пакетами с 8.8.8.8 по 32 байтам данных:
Ответ от 8.8.8.8: число байт=32 время=21мс TTL=120
Ответ от 8.8.8.8: число байт=32 время=21мс TTL=120
Ответ от 8.8.8.8: число байт=32 время=21мс TTL=120
Ответ от 8.8.8.8: число байт=32 время=21мс TTL=120

Статистика Ping для 8.8.8.8:
    Пакетов: отправлено = 4, получено = 4, потеряно = 0
    (0% потерь)
Приблизительное время приема-передачи в мс:
    Минимальное = 21мсек, Максимальное = 21 мсек, Среднее = 21 мсек

C:\Users\Roman>
```

Рисунок 2.2 – Результат команди *ping* на ПК

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
Трассировка завершена.
C:\Users\Yurally>tracert 8.8.8.8
Трассировка маршрута к dns.google [8.8.8.8]
с максимальным числом прыжков 30:
  1  <1 ms  <1 ms  <1 ms  rt.krauss.nau [192.168.10.4]
  2  1 ms  <1 ms  <1 ms  192.168.10.254
  3  8 ms  7 ms  8 ms  asr.retail.datagroup.ua [188.0.95.255]
  4  8 ms  8 ms  8 ms  77.88.212.58.ipv4.datagroup.ua [77.88.212.58]
  5  10 ms  9 ms  8 ms  192.178.68.164
  6  8 ms  8 ms  8 ms  74.125.245.83
  7  8 ms  8 ms  16 ms  74.125.245.86
  8  21 ms  21 ms  21 ms  142.251.242.41
  9  22 ms  22 ms  22 ms  209.85.255.35
  10  21 ms  21 ms  22 ms  209.85.252.117
  11  21 ms  21 ms  21 ms  dns.google [8.8.8.8]
Трассировка завершена.
C:\Users\Yurally>_

```

Рисунок 2.3 – Результат команды *tracert* на ПК

Опис: Знімок екрану командного рядка *Windows* з результатами виконання команд *ping* та *tracert* до віддаленого ресурсу (наприклад, сервера *LMS* або віддаленого *DNS*-сервера), демонструючи час *RTT* та шлях проходження пакетів через вузли мережі.

Таблиця 2.1 – Приблизні норми затримки та їх вплив на застосунки

Значення <i>RTT</i> (мс)	Оцінка	Вплив на застосунки
0-50	Відмінно/Дуже добре	Ідеально для всіх типів застосунків, включаючи чутливі до затримки.
50-100	Добре/Прийнятно	Незначні затримки, які можуть бути помітні у вимогливих застосунках (ігри, <i>VoIP</i>).
100-200	Посередньо/Помітно	Затримки помітні у <i>VoIP</i> (ехо), іграх (лаги), сповільнюють веб-серфінг.
Значення <i>RTT</i> (мс)	Оцінка	Вплив на застосунки
200-500	Погано/Критично	Серйозні проблеми з <i>VoIP</i> та відео, ігри неможливі, віддалений доступ дуже незручний.
>500	Дуже погано/ Неприпустимо	Мережа практично непридатна для більшості застосунків.

Затримка є комплексним показником, що відображає ефективність роботи всієї мережевої інфраструктури. У навчальному закладі, де мережа відіграє центральну роль в освітньому та адміністративному процесах, системний аналіз джерел затримки та їх цілеспрямоване усунення є запорукою стабільної та високопродуктивної роботи мережі.

2.2 Втрата пакетів даних

Втрата пакетів даних (*packet loss*) є однією з найбільш серйозних проблем, що безпосередньо призводять до значного зниження продуктивності комп'ютерної мережі. Вона виникає, коли один або кілька пакетів даних, що передаються мережею, не досягають свого пункту призначення. Це явище може мати різноманітні причини та істотно впливати на якість роботи мережевих застосунків, особливо тих, що чутливі до часу та цілісності даних. У локальній мережі навчального закладу, де стабільний доступ до інформаційних ресурсів є критично важливим, розуміння причин втрати пакетів та методів її усунення має першочергове значення.

Сутність та механізми втрати пакетів

Втрата пакетів даних вимірюється у відсотках від загальної кількості відправлених пакетів. Наприклад, 1% втрати пакетів означає, що з кожних 100 відправлених пакетів один не дійде до отримувача. Це явище є небажаним, оскільки призводить до необхідності повторної передачі втрачених пакетів, що, в свою чергу, збільшує мережеву затримку, знижує ефективну пропускну здатність та викликає проблеми у роботі застосунків.

Існує кілька основних механізмів, що призводять до втрати пакетів: 1. Переповнення буфера (*Buffer Overflow / Congestion Loss*): Це найпоширеніша причина втрати пакетів. Вона виникає, коли мережевий пристрій (комутатор, маршрутизатор) отримує пакети даних швидше, ніж може їх обробити або переслати до наступного вузла. Всі вхідні пакети тимчасово зберігаються у

внутрішньому буфері пристрою. Якщо буфер переповнюється, нові пакети, що

надходять, просто відкидаються (дропаються), оскільки для них немає місця. Це типово під час інтенсивного використання мережі.

2. Пошкодження пакетів (*Packet Corruption*): Пакети можуть бути пошкоджені під час передачі через фізичні проблеми з кабелем, електромагнітні перешкоди, несправність мережевого обладнання або інтерференцію в бездротових мережах. Пошкоджені пакети зазвичай відкидаються пристроями, що їх отримують, оскільки вони не проходять перевірку цілісності (контрольну суму).

3. Відкидання пакетів через правила безпеки (*Security/Policy-based Loss*): Міжмережеві екрани (*firewalls*) або маршрутизатори, налаштовані на блокування певного трафіку (наприклад, з міркувань безпеки або контролю доступу), можуть навмисно відкидати пакети, які відповідають визначеним правилам. Хоча це є цілеспрямованою дією, для кінцевого користувача це проявляється як втрата пакетів.

4. Апаратні та програмні проблеми: Несправності мережевого обладнання (збій порту комутатора, несправність мережевої карти, перегрів пристрою) або помилки в програмному забезпеченні (баги у прошивці комутатора/маршрутизатора) можуть призвести до некоректної обробки або пересилання пакетів, що викликає їх втрату.

Причини втрати пакетів у контексті мережі навчального закладу Аналізуючи причини втрати пакетів у локальній мережі навчального закладу, що використовує обладнання *MikroTik*, *D-Link* та *TP-Link*, можна виділити такі ключові фактори:

1. Перевантаження мережевих сегментів:

○ Комутатори *Fast Ethernet* (*TP-Link TL-SF1024*, *D-Link DES-1008D* / *TP Link TL-SF1008D*): Ці 100-мегабітні комутатори є найбільш вразливими до перевантаження.

Якщо до них підключено багато користувачів, які одночасно інтенсивно використовують мережу (наприклад, дивляться відео, завантажують файли), сукупний трафік може швидко перевищити пропускну здатність 100 Мбіт/с

36

на порту або вихідному каналі. Це призводить до переповнення буферів і, як наслідок, до втрати пакетів.

○ Вихідні канали між комутаторами: У зіркоподібній топології з кількома комутаторами (наприклад, *D-Link DGS*-серії, підключені до *MikroTik CRS*), якщо з'єднання між ними є лише одногігабітними і не використовують агрегування каналів, вони можуть стати "вузьким місцем". При інтенсивному трафіку з декількох

сегментів мережі, що прямує через один вхідний порт, може виникнути перевантаження та втрата пакетів на цьому з'єднанні.

- Пікові навантаження: Навчальний заклад характеризується періодами дуже високого навантаження (наприклад, під час онлайн-тестування, синхронного завантаження програм студентами). Під час таких піків, навіть гігабітні сегменти можуть відчувати значне навантаження, що може призвести до тимчасових переповнень буферів на комутаторах *MikroTik CRS* або *D-Link DGS*.

2. Проблеми з бездротовою мережею (*Wi-Fi*):

- Інтерференція: Точки доступу *MikroTik CAP ac* працюють у діапазонах 2.4 ГГц та 5 ГГц. Діапазон 2.4 ГГц є дуже завантаженим і схильним до інтерференції від інших бездротових мереж, мікрохвильових печей, *Bluetooth* пристроїв. Це може призводити до пошкодження або втрати пакетів.

- Недостатнє покриття або слабкий сигнал: Якщо користувачі знаходяться на межі зони покриття *Wi-Fi*, сигнал може бути надто слабким, що викликає повторні передачі пакетів та збільшує їх втрату.

- Перевантаження точки доступу: Занадто велика кількість бездротових клієнтів, підключених до однієї точки доступу, може призвести до її перевантаження та, як наслідок, до втрати пакетів.

3. Несправності або некоректна конфігурація обладнання:

- Фізичні пошкодження кабелів: Пошкоджені *Ethernet*-кабелі або неякісно обтиснуті конектори можуть призвести до спотворення сигналу та втрати пакетів. Це стосується всіх типів з'єднань у мережі.

37

- Збій портів комутаторів: Рідкісні, але можливі апаратні проблеми портів на будь-якому комутаторі (*MikroTik*, *D-Link*, *TP-Link*) можуть призвести до відкидання пакетів, що проходять через цей порт.

- Помилки в конфігурації: Неправильно налаштовані правила маршрутизації на *MikroTik CRS*, помилки у *VLAN*-конфігурації на керованих комутаторах *D-Link DGS*, або неправильно налаштовані міжмережеві екрани можуть призвести до ненавмисного блокування та втрати пакетів.

- Дуплексні невідповідності (*Duplex Mismatch*): Хоча це менш поширено з автоузгодженням, некоректне налаштування дуплексного режиму (наприклад, один

бік "*full-duplex*", інший "*half-duplex*") між комутаторами або між комутатором та кінцевим пристроєм призводить до колізій та значної втрати пакетів.

4. Проблеми з кінцевими пристроями та серверами:

- Перевантаження мережевих адаптерів: Старі або несправні мережеві адаптери на комп'ютерах або серверах можуть не справлятися з потоком даних, відкидаючи пакети.

- Проблеми з драйверами: Застарілі або некоректні драйвери мережевих карт можуть викликати помилки передачі.

- Недостатня продуктивність серверів: Якщо сервер перевантажений (високе використання ЦП, низька швидкість дискової підсистеми), він може не встигати обробляти вхідні мережеві запити, що призводить до відкидання пакетів на мережевому інтерфейсі.

Вплив втрати пакетів на продуктивність мережі

Втрата пакетів має набагато більш серйозний негативний вплив на продуктивність мережі, ніж просто затримка, оскільки вона безпосередньо вимагає повторної передачі даних, що споживає додаткову пропускну здатність та час.

- На чутливі до затримок застосунки (*VoIP*, відеоконференції, онлайн ігри): Навіть невелика втрата пакетів (1-2%) може зробити ці застосунки практично непридатними для використання. У *VoIP* це проявляється як провали у звуці, "металевий" голос, заїкання. У відео – "зависання" картинки, артефакти, розсинхронізація. В іграх – різкі "стрибки" об'єктів або нереагуючі керуючі

38

елементи. Це пов'язано з тим, що ці застосунки часто не можуть чекати на повторну передачу даних або втрата одного пакету робить подальші пакети безглуздими до отримання втраченого.

- На застосунки, що використовують *TCP* (передача файлів, веб серфінг): Протокол *TCP* має вбудований механізм повторної передачі (*retransmission*) втрачених пакетів. Хоча це гарантує доставку даних, кожна втрата пакету запускає алгоритми контролю перевантаження *TCP*, що призводить до зменшення "вікна" передачі та, як наслідок, до значного зниження фактичної швидкості передачі даних. Великі файли завантажуються набагато повільніше, веб сторінки завантажуються з помітними затримками, а застосунки, що активно працюють з базою даних, можуть

працювати дуже повільно.

- На загальну стабільність мережі: Часті втрати пакетів можуть дестабілізувати роботу мережі, викликати постійні повторні передачі пакетів, що збільшує загальне навантаження на мережеве обладнання та канали зв'язку.

Вимірювання та діагностика втрати пакетів

Виявлення та діагностика втрати пакетів є ключовим кроком до її усунення: ○ Команда *ping*: Це найпростіший інструмент для вимірювання втрати пакетів.

Команда *ping -n 100 [IP-адреса]* відправить 100 пакетів і покаже відсоток втрат.

Високий відсоток втрат вказує на проблему.

- Команда *tracert*: Допомагає виявити, на якому проміжному вузлі (комутаторі або маршрутизаторі) починається втрата пакетів. Це дозволяє локалізувати проблемний сегмент мережі.

- Мережеві моніторингові системи (NMS): Сучасні NMS (наприклад, *Zabbix*, *PRTG*) можуть постійно відстежувати втрату пакетів до ключових вузлів мережі та генерувати сповіщення, коли показники перевищують норму. Це дає змогу упереджувально виявляти проблеми.

- Аналізатори мережевого трафіку (наприклад, *Wireshark*): Дозволяють захоплювати та аналізувати мережевий трафік, виявляючи повторні передачі пакетів та інші аномалії, що вказують на втрату пакетів.

Стратегії мінімізації втрати пакетів

39

Для ефективної боротьби з втратою пакетів у мережі навчального закладу необхідно вжити комплексних заходів, що враховують особливості наявного обладнання:

1. Усунення перевантажень:

- Модернізація *Fast Ethernet* комутаторів: Найважливіший крок. Заміна *TP-Link TL-SF1024* та *D-Link DES-1008D* на гігабітні комутатори (наприклад, *D Link DGS-1100/1210* серії або додаткові *MikroTik CRS*) дозволить значно збільшити пропускну здатність на рівні доступу та зменшити ймовірність переповнення буферів.

- Агрегування каналів (*Link Aggregation*): Для з'єднань між гігабітними комутаторами (*D-Link DGS* до *MikroTik CRS*) слід використовувати агрегування

кількох портів. Це підвищить сукупну пропускну здатність між комутаторами та забезпечить балансування навантаження, запобігаючи перевантаженню окремих з'єднань.

- Оптимізація *QoS*: На *MikroTik CRS* та керованих *D-Link DGS* комутаторах слід налаштувати політики якості обслуговування (*QoS*), щоб надавати пріоритет критичному трафіку (*VoIP*, відео, *LMS*) під час високого навантаження. Це допоможе запобігти відкиданню важливих пакетів.

2. Вирішення проблем фізичного рівня та бездротової мережі:

- Перевірка та ремонт кабельної інфраструктури: Проведення регулярної перевірки всіх мережевих кабелів, заміни пошкоджених, а також перевірки якості обтиску конекторів. Використання професійного обладнання для тестування кабелів може виявити приховані проблеми.

- Оптимізація бездротової мережі: Для *MikroTik hAP ac* необхідно провести радіопланування, обрати оптимальні, незавантажені канали (переважно в діапазоні 5 ГГц), налаштувати потужність сигналу та, за необхідності, збільшити кількість точок доступу для рівномірного покриття та розподілу навантаження між ними.

40

3. Конфігурація та обслуговування обладнання:

- Оновлення програмного забезпечення: Регулярне оновлення прошивки та *RouterOS* на обладнанні *MikroTik* та *D-Link* може виправляти відомі помилки, що призводять до втрати пакетів, та покращувати загальну стабільність.

- Перевірка конфігурації: Систематичний аудит конфігурації маршрутизаторів та керованих комутаторів на наявність некоректних правил, що можуть призводити до відкидання пакетів.

- Моніторинг ресурсів пристроїв: Відстеження використання ЦП, пам'яті та буферів на *MikroTik CRS* та *D-Link DGS* допоможе виявити перевантаження обладнання до того, як воно почне відкидати пакети.

4. Управління трафіком:

- Сегментація мережі за допомогою *VLAN*: Використання *VLAN* на керованих комутаторах *MikroTik CRS* та *D-Link DGS* дозволяє ізолювати широкомовні домени, що зменшує загальний "шум" у мережі та знижує навантаження на пристрої, опосередковано зменшуючи ймовірність втрати пакетів.

Втрата пакетів є яскравим індикатором перевантаження або несправності

обладнання у мережі. Активний моніторинг, своєчасна діагностика та системний підхід до модернізації та оптимізації мережевої інфраструктури навчального закладу є критично важливими для забезпечення її надійної та високопродуктивної роботи без втрат даних.

2.3 Перевантаження окремих вузлів мережі

Перевантаження окремих вузлів мережі є критичною причиною зниження загальної продуктивності, що може призвести до уповільнення роботи застосунків, збільшення затримок, втрати пакетів і навіть до тимчасової недоступності сервісів. У мережі навчального закладу, де працює різноманітне активне обладнання (комутатори, маршрутизатори, точки доступу) та обслуговується велика кількість користувачів, моніторинг та запобігання перевантаженням є життєво важливими. Перевантаження вузла означає, що його внутрішні ресурси (процесор, оперативна

41

пам'ять, буфери портів) не в змозі обробити вхідний обсяг даних або запитів у реальному часі.

Причини та симптоми перевантаження вузлів

Кожен тип мережевого обладнання має свої специфічні причини перевантаження, хоча загальні симптоми часто включають:

- Високе завантаження процесора (*CPU*): Пристрій не встигає обробляти всі завдання.
- Високе використання оперативної пам'яті (*RAM*): Недостатньо пам'яті для зберігання таблиць маршрутизації/комутації, буферів або даних обробки.
- Переповнення буферів портів: Пакети відкидаються (*packet drops*) через відсутність місця для їх тимчасового зберігання.
- Збільшення мережевої затримки та втрати пакетів: Безпосередні наслідки перевантаження буферів.
- Низька швидкість доступу до веб-інтерфейсу або командного рядка пристрою: Сам пристрій починає повільно реагувати на запити адміністратора.
- Нестабільна робота, зависання або перезавантаження: У крайніх випадках.

Перевантаження комутаторів (*MikroTik CRS, D-Link DGS, D-Link/TP-Link Fast*

Ethernet): Комутатори відповідають за швидку комутацію пакетів між портами. Їх перевантаження зазвичай відбувається, коли:

- Надмірний обсяг трафіку: Порти комутатора отримують більше даних, ніж він може обробити або переслати. Особливо це стосується застарілих *TP-Link TL-SF1024* та *D-Link DES-1008D / TP-Link TL-SF1008D* (100 Мбіт/с). Коли кілька комп'ютерів, підключених до такого комутатора, одночасно завантажують великі файли або дивляться відео, їхній сукупний трафік швидко перевищує пропускну здатність комутатора, що призводить до переповнення буферів та втрати пакетів.

- Високий обсяг ширококомовного/групового трафіку (*Broadcast/Multicast Storm*): Неконтрольована генерація ширококомовних або групових пакетів (наприклад, через мережеві петлі або шкідливе програмне забезпечення) може "затопити" комутатор, оскільки він змушений обробляти та пересилати ці пакети

42

на всі порти. Це особливо проблематично для некерованих комутаторів, які не мають засобів контролю штормів.

- Мережеві петлі: Утворення петлі у мережі без використання протоколу *Spanning Tree Protocol (STP)* призводить до нескінченного циркулювання пакетів, що швидко перевантажує комутатор та всю мережу. Керовані комутатори, такі як *MikroTik CRS* та *D-Link DGS* серії, мають підтримку *STP*, але його необхідно правильно налаштувати.

- *DDoS*-атаки: Цілеспрямовані атаки, що генерують величезний обсяг трафіку, можуть перевантажити навіть потужні комутатори, виснажуючи їхні буфери та процесорні ресурси.

Перевантаження маршрутизаторів (*MikroTik CRS326-24G-1S-2HnD-IN*, *CRS125-24G-1S-2HnD-IN*): Маршрутизатори є більш складними пристроями, які виконують обробку пакетів на рівні мережі (*Layer 3*). Їх перевантаження може бути викликано:

- Висока швидкість пересилання пакетів (*PPS - Packets Per Second*): Хоча *MikroTik CRS* є потужними, обробка великої кількості малих пакетів, що вимагають перегляду таблиць маршрутизації та інших операцій, може виснажувати ЦП маршрутизатора. Це особливо актуально при великій кількості одночасних з'єднань.

- Складні правила міжмережевого екранування (*Firewall Rules*): Велика

кількість складних правил фільтрації трафіку, особливо тих, що вимагають глибокої інспекції пакетів, значно збільшує навантаження на процесор маршрутизатора.

- *NAT (Network Address Translation)*: Обробка *NAT* для великої кількості з'єднань, що виходять в Інтернет, або складні схеми *NAT* також споживають процесорні ресурси.

- Функції *QoS (Quality of Service)*: Хоча *QoS* допомагає керувати трафіком, його реалізація також вимагає обробки пакетів, що збільшує навантаження на ЦП.

43

- *VPN-тунелі*: Шифрування та дешифрування трафіку для *VPN-з'єднань* є інтенсивно операцією, яка може перевантажувати маршрутизатор при великій кількості одночасних тунелів або високому обсязі *VPN-трафіку*.

- *DDoS-атаки*: Маршрутизатор, будучи шлюзом до зовнішньої мережі, є основною ціллю для *DoS/DDoS-атак*, які прагнуть вичерпати його ресурси та зробити мережу недоступною.

Перевантаження точок бездротового доступу (*MikroTik cAP ac*): Точки доступу є мостом між бездротовою та дротовою мережею, і їхня продуктивність є критичною для бездротових клієнтів:

- Надмірна кількість підключених клієнтів: Кожна точка доступу має обмеження щодо кількості одночасних активних клієнтів. Перевищення цього ліміту призводить до деградації продуктивності для всіх підключених користувачів.

- Високе навантаження на канал: Одночасне потокове відео, завантаження великих файлів або інші інтенсивні операції з боку багатьох бездротових клієнтів можуть перевантажити точку доступу, вичерпуючи її радіоінтерфейс та процесорні ресурси.

- Низька якість сигналу та інтерференція: Хоча інтерференція сама по собі не є перевантаженням *AP*, вона призводить до зростання кількості повторних передач пакетів. Кожна повторна передача споживає ефірний час та ресурси *AP*, що еквівалентно зростанню навантаження на точку доступу.

- Неоптимальні налаштування: Неправильний вибір каналу, надмірна потужність сигналу або застаріла операційна система можуть сприяти зниженню ефективності *AP* під навантаженням.

Вплив перевантаження вузлів на продуктивність мережі

Перевантаження окремих вузлів має каскадний ефект на всю мережу:

- Зниження пропускної здатності: Перевантажений вузол стає "вузьким місцем", обмежуючи швидкість передачі даних для всіх сегментів або користувачів, що проходять через нього.

44

- Збільшення затримки та втрати пакетів: Це прямий наслідок переповнення буферів. Для користувачів це проявляється як "лаги", "фризи", переривання зв'язку.
- Недоступність сервісів: У крайніх випадках перевантажений вузол може повністю припинити функціонування або перезавантажитися, що призведе до тимчасової недоступності всіх залежних від нього мережевих сервісів.
- Погіршення користувацького досвіду: Учні та викладачі зіштовхуються з повільним завантаженням сторінок, розривами відеодзвінків, неможливістю доступу до навчальних ресурсів, що негативно позначається на навчальному процесі.

Методи моніторингу та усунення перевантажень

Ефективне управління мережею вимагає постійного моніторингу стану її вузлів та своєчасного реагування на ознаки перевантаження:

1. Моніторинг ресурсів пристроїв:

- *SNMP (Simple Network Management Protocol)*: Всі керовані комутатори *MikroTik CRS*, *D-Link DGS* серії та точки доступу *MikroTik cAP ac* підтримують *SNMP*. Це дозволяє збирати дані про завантаження ЦП, використання пам'яті, статистику трафіку на інтерфейсах, кількість відкинутих пакетів (*drops*) та помилок. Системи моніторингу (наприклад, *Zabbix*, *PRTG Network Monitor*) можуть автоматично збирати ці дані, візуалізувати їх та генерувати сповіщення про перевищення порогових значень.

- Вбудовані засоби моніторингу: *MikroTik RouterOS* має потужні вбудовані засоби моніторингу (*Resource*, *Interface Traffic*, *Queues*), які дозволяють в реальному часі спостерігати за завантаженням ЦП, пам'яті та трафіком на інтерфейсах. Веб-інтерфейси комутаторів *D-Link DGS* також надають детальну статистику.

2. Аналіз логів пристроїв:

Журнали подій (*logs*) на маршрутизаторах та комутаторах можуть містити інформацію про перевантаження, відкидання пакетів, перезавантаження та інші аномалії.

45

3. Тестування продуктивності: Використання інструментів для тестування пропускної здатності (наприклад, *iperf*) та затримки (*ping*, *traceroute*) до різних вузлів мережі може виявити "вузькі місця" під час високого навантаження. Стратегії усунення перевантажень:

1. Модернізація та розширення пропускної здатності:

- Заміна 100 Мбіт/с комутаторів: При виявленні перевантаження на *TP Link TL-SF1024* або *D-Link DES-1008D*, їх слід замінити на гігабітні аналоги (наприклад, *D-Link DGS-1100/1210* серії). Це радикально збільшить пропускну здатність на рівні доступу.

- Агрегування каналів (*Link Aggregation*): Для вхідних з'єднань між комутаторами (*D-Link DGS* та *MikroTik CRS*) слід використовувати *Link Aggregation*. Це дозволить об'єднати кілька фізичних гігабітних портів у єдиний логічний канал, збільшуючи сукупну пропускну здатність та рівномірно розподіляючи навантаження між ними.

- Додавання точок доступу: Якщо *MikroTik sAP ac* перевантажуються через велику кількість клієнтів, слід розглянути встановлення додаткових точок доступу для кращого розподілу навантаження та збільшення загальної пропускної здатності *Wi-Fi*.

2. Оптимізація конфігурації обладнання:

- Налаштування *QoS*: Впровадження або оптимізація політик *QoS* на *MikroTik CRS* та *D-Link DGS* для пріоритизації критичного трафіку (*VoIP*, відео, *LMS*) та обмеження пропускної здатності для менш важливого трафіку.

- Оптимізація правил міжмережевого екранування: Перегляд та спрощення складних правил *firewall* на *MikroTik CRS* може зменшити навантаження на процесор.

- Сегментація мережі (*VLAN*): Розподіл мережі на логічні *VLAN*-и на керованих комутаторах *MikroTik CRS* та *D-Link DGS* дозволяє зменшити розмір ширококомовних доменів, що знижує навантаження на комутатори та маршрутизатори.

46

- Увімкнення та налаштування *STP*: Переконайтеся, що *Spanning Tree Protocol* правильно налаштований на всіх керованих комутаторах для запобігання мережевим петлям.

- Налаштування контролю штормів: На керованих комутаторах *D-Link DGS* та

MikroTik CRS можна налаштувати функцію контролю ширококомовних/групових штормів (*Broadcast/Multicast Storm Control*), яка обмежує обсяг такого трафіку та запобігає перевантаженню.

3. Управління навантаженням та безпека:

- Обмеження доступу: Застосування списків контролю доступу (*ACL*) на *MikroTik CRS* та *D-Link DGS* для обмеження несанкціонованого трафіку.
- Захист від *DoS*-атак: Налаштування базових засобів захисту від *DoS* атак на маршрутизаторі *MikroTik CRS* для запобігання виснаженню його ресурсів зовнішніми атаками.

- Регулярний аудит: Проведення регулярних аудитів мережевої активності та журналів для виявлення аномальної поведінки або потенційних загроз.

Перевантаження окремих вузлів мережі є прямим наслідком недостатньої пропускної здатності, неоптимальної конфігурації або апаратних обмежень. Системний моніторинг ресурсів обладнання, своєчасна модернізація та раціональне налаштування є запорукою стабільної та високопродуктивної роботи мережі навчального закладу.

47

РОЗДІЛ 3

ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МЕРЕЖЕВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Ефективність функціонування комп'ютерної мережі навчального закладу безпосередньо залежить від технічного стану її інфраструктури та продуктивності наявного обладнання. У цьому розділі буде проведено аналіз ключових аспектів, що впливають на загальну продуктивність мережі, виявлено її потенційні вразливості та обмеження, а також оцінено поточну пропускну здатність та рівень навантаження. Метою є отримання цілісної картини стану мережі для подальшого обґрунтування рекомендацій з її оптимізації та модернізації.

3.1 Аналіз продуктивності наявного обладнання

Продуктивність мережевого обладнання є фундаментальним фактором, що визначає загальну якість функціонування мережі. Аналіз наявного обладнання, що включає комутатори (*switches*) *MikroTik*, *D-Link* та *TP-Link*, а також точки бездротового доступу (*Wireless Access Points - WAP*) *MikroTik*, дозволяє виявити їхні

сильні сторони та потенційні "вузькі місця".

1. Центральні комутатори/маршрутизатори *MikroTik CRS 326-24G-2S+RM (Cloud Router Switch)*. Ці пристрої відіграють ключову роль у мережі як центральні вузли або маршрутизатори (*routers*), що виконують комутацію рівня 2 (*Layer 2 switching*) та маршрутизацію рівня 3 (*Layer 3 routing*). Їхня продуктивність характеризується:

- Високою пропускною здатністю: Наявність 24 гігабітних *Ethernet* портів (*Gigabit Ethernet ports*) забезпечує достатню швидкість для підключення сегментів мережі (*network segments*) та серверів (*servers*). Наявність *SFP+* портів (*SFP+ ports*) (10 Гбіт/с) дозволяє створювати високошвидкісні магістральні канали (*backbone links*) до зовнішніх провайдерів або між основними комутаторами (*switches*), що є критично важливим для уникнення перевантажень (*congestion*).

48

- Потужністю процесора та пам'яті: Достатній обсяг оперативної пам'яті (*RAM*) та продуктивний процесор (*CPU*) дозволяють ефективно обробляти велику кількість пакетів на секунду (*Packets Per Second - PPS*), виконувати складні правила міжмережевого екранування (*firewall rules*), *NAT (Network Address Translation)*, *QoS (Quality of Service)* та інші функції *RouterOS (RouterOS)* з мінімальною затримкою обробки (*processing delay*).

- Розширеними можливостями управління: Як керовані пристрої, вони надають повний контроль над мережевим трафіком (*network traffic*), підтримують *VLAN (Virtual Local Area Network)*, *Link Aggregation (LAG)*, *SNMP-моніторинг (SNMP monitoring)*, що дозволяє тонко налаштовувати та контролювати мережу.

2. Некеровані комутатори *D-Link DES-1008D / TP-Link TL-SF1008D / TP-Link TL-SF1024*: Ці комутатори (*switches*) є найслабшою ланкою в сучасній мережевій інфраструктурі, виконуючи роль комутаторів доступу (*access switches*) у менш критичних або старіших сегментах мережі (*network segments*).

- Обмежена пропускна здатність: Працюють на швидкості *Fast Ethernet (Fast Ethernet)* (100 Мбіт/с), що є значним обмеженням для сучасних завдань. При одночасній роботі кількох користувачів, що завантажують великі файли або дивляться відео, їх канал (*channel*) швидко перевантажується. Це призводить до переповнення буферів (*buffer overflows*) та, як наслідок, втрати пакетів (*packet loss*).

- Відсутність функцій управління: Будучи некерованими, вони не підтримують *VLAN (Virtual Local Area Network)*, *QoS (Quality of Service)*, *SNMP* моніторинг (*SNMP monitoring*). Це унеможливує точне налаштування мережевого трафіку (*network traffic*), ізоляцію сегментів та отримання детальної статистики про їхню роботу. Вони є "чорними скриньками" у мережі.

- Неспроможність протистояти мережевим штормам: Відсутність функцій контролю широкомовних штормів (*broadcast storm control*) робить їх вразливими до мережеских петель (*network loops*) або аномального трафіку (*traffic*), що може спричинити повний параліч сегмента.

3. Точки бездротового доступу *MikroTik cAP ac*: Ці точки доступу (*Access Points - AP*) відповідають за бездротове підключення.

49

- Сучасні стандарти *Wi-Fi*: Підтримка *802.11ac* та дводіапазонність (2.4 ГГц і 5 ГГц) забезпечують високу швидкість та кращу стійкість до перешкод у діапазоні 5 ГГц.

- Централізоване управління *CAPsMAN*: Можливість централізованого управління багатьма точками доступу (*AP*) через *CAPsMAN* спрощує конфігурацію, оновлення та моніторинг бездротової мережі.

- Обмеження: Кількість одночасно підключених клієнтів та інтенсивність використання бездротового каналу (*wireless channel*) може призводити до перевантаження (*overload*), особливо в діапазоні 2.4 ГГц через високу інтерференцію (*interference*).

Таблиця 3.1 – Порівняння основних характеристик мережевого обладнання

Тип обладнання	Модель (Приклад)	Роль у мережі	Основні характеристики	Вплив на продуктивність мережі

Центральний комутатор/маршрутизатор	<i>MikroTik CRS326-24G-1S 2HnD-IN / CRS125-24G-1S 2HnD-IN</i>	Ядро / Маршрутизатор	24x 1 Гбіт/с <i>Ethernet</i> порти, 1x 10 Гбіт/с <i>SFP+</i> порт, <i>Wi-Fi</i> 2.4 ГГц (на деяких моделях), <i>RouterOS</i> . Висока продуктивність ЦП/ОЗП для маршрутизації, <i>QoS (Quality of Service)</i> , <i>Firewall</i> (міжмережвий екран).	Висока пропускна здатність на ядрі мережі (<i>network core</i>). Можливість обробки складних мережеских правил. Потенційний вузький місце (<i>bottleneck</i>) при надмірному навантаженні на ЦП (<i>CPU load</i>) через складну конфігурацію або інтенсивний трафік (<i>traffic</i>), або при недостатньому висхідному каналі (<i>uplink</i>).
Керований комутатор	<i>D-Link DGS 1100 / DGS 1210</i> серії	Розподіл / Доступ	1 Гбіт/с <i>Ethernet</i> порти, підтримання <i>VLAN (Virtual Local Area Network)</i> , <i>QoS (Quality of Service)</i> , <i>SNMP</i> моніторинг (<i>SNMP monitoring</i>), <i>Link Aggregation (LAG)</i> , <i>Spanning Tree Protocol (STP)</i> .	Забезпечує високу швидкість у сегментах (<i>segments</i>). Дозволяє сегментувати (<i>segment</i>) мережу, пріоритизувати (<i>prioritize</i>) трафік. Можливі перевантаження (<i>overload</i>) при недостатньо потужних висхідних каналах (<i>uplinks</i>) або неоптимальних налаштуваннях <i>QoS (Quality of Service)</i> .

Продовження таблиці 3.1

Некерований комутатор	<i>D-Link DES 1008D / TP Link TL SF1008D / TP-Link TL SF1024</i>	Доступ (периферія)	100 Мбіт/с <i>Ethernet</i> порти (<i>Fast Ethernet</i>), <i>Plug-and Play</i> , відсутність функцій управління.	Основне вузьке місце (<i>major bottleneck</i>) у мережі. Низька пропускна здатність призводить до частих перевантажень (<i>congestion</i>), втрати пакетів (<i>packet loss</i>) та високої затримки (<i>latency</i>). Неможливість моніторингу (<i>monitoring</i>) та керування трафіком (<i>traffic management</i>).
Точка бездротового доступу	<i>MikroTik cAP ac</i>	Бездротовий доступ	<i>Wi-Fi</i> 802.11ac (двodiaзонний 2.4/5 ГГц), <i>PoE (Power over Ethernet)</i> , <i>CAPsMAN (Central Access Point System Manager)</i> для централізованого управління.	Забезпечує високошвидкісний бездротовий доступ. Потенційні проблеми з продуктивністю (<i>performance</i>) через інтерференцію (<i>interference</i>) (2.4 ГГц), обмежену кількість одночасно активних клієнтів або перевантаження (<i>overload</i>) радіоінтерфейсу (<i>radio interface</i>).

Діаграма 3.1: Завантаження ЦП та пам'яті центрального маршрутизатора/комутатора MikroTik CRS (активність з 8:00 до 15:00)

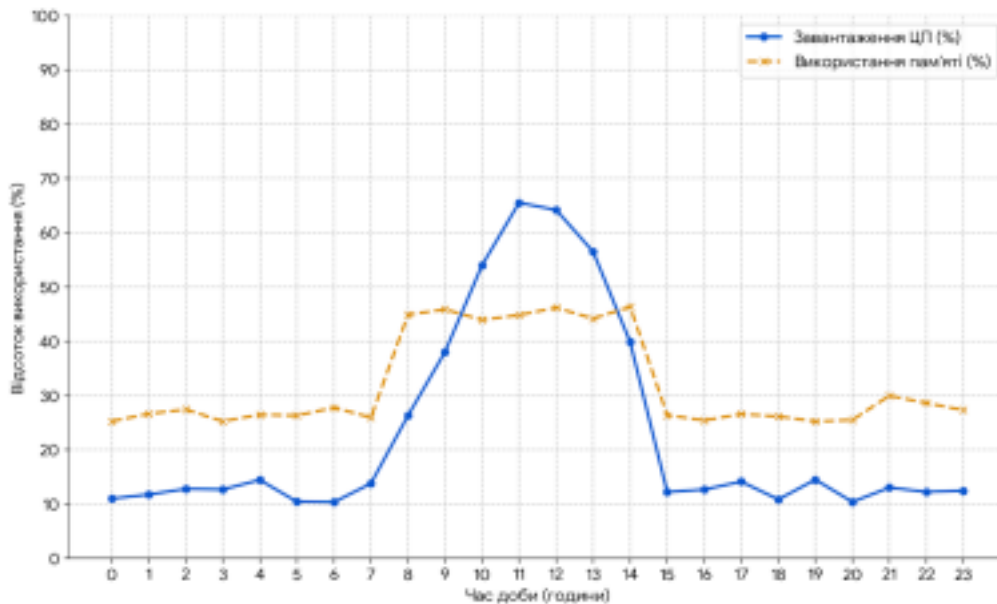


Рисунок 3.1 – Завантаження ЦП та пам'яті центрального маршрутизатора/комутатора *MikroTik CRS* (типові показники за добу) **Опис:** Лінійний графік, що відображає відсоток завантаження процесора (*CPU*) та використання оперативної пам'яті (*RAM*) центрального маршрутизатора/комутатора (*router/switch*) *MikroTik CRS* протягом 24 годин. Очікується зростання показників у години пікового навантаження (*peak load hours*).

51

Діаграма 3.2: Завантаження портів комутаторів Fast Ethernet D-Link/TP-Link (типові пікові показники)

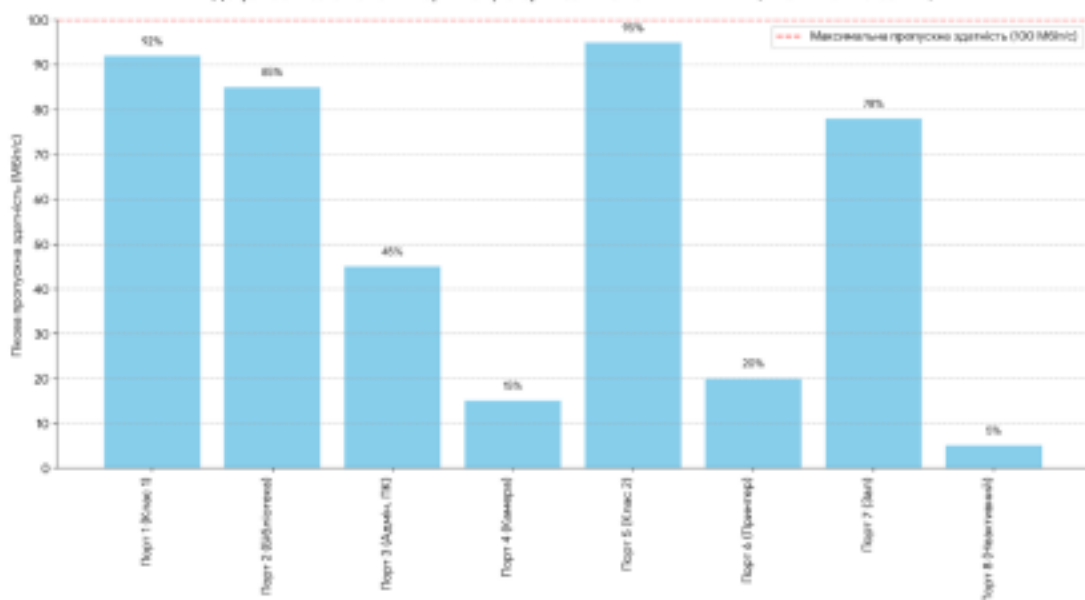


Рисунок 3.2 – Завантаження портів комутаторів *Fast Ethernet D-Link/TP-Link* (типові пікові показники)

Опис: Стовпчикова діаграма, що демонструє середній та піковий відсоток завантаження (використання пропускної здатності (*bandwidth utilization*)) портів

(ports) на кількох комутаторах (switches) *Fast Ethernet*. Візуалізація частих наближень до 100% або перевищення, що свідчить про перевантаження (*congestion*).

3.2 Основні вразливості та обмеження мережі

Аналіз наявного обладнання та топології мережі виявляє ряд вразливостей (*vulnerabilities*) та обмежень (*limitations*), які можуть негативно впливати на продуктивність, надійність та безпеку мережевої інфраструктури (*network infrastructure*) навчального закладу.

1. Вузькі місця пропускної здатності (*Bandwidth Bottlenecks*):

- Комутатори *Fast Ethernet* (*Fast Ethernet switches*): Наявність значної кількості некерованих комутаторів (*unmanaged switches*) *D-Link DES-1008D*, *TP Link TL-SF1008D* та *TP-Link TL-SF1024* є найбільшим обмеженням пропускної здатності (*bandwidth limitation*). Їхня максимальна швидкість 100 Мбіт/с є критично низькою для сучасних потреб, особливо при роботі з мультимедійним контентом

52

(*multimedia content*), хмарними сервісами (*cloud services*) або великими файлами (*files*). Це призводить до перевантажень (*congestion*), збільшення затримки (*increased latency*) та втрати пакетів (*packet loss*) у підключених до них сегментах (*segments*).

- Вихідні канали комутаторів (*Uplinks*): Навіть якщо комутатори доступу (*access switches*) *D-Link DGS* серії є гігабітними (*Gigabit Ethernet*), їхні висхідні канали (*uplinks*) до центрального комутатора (*switch*) *MikroTik CRS* можуть бути єдиними гігабітними з'єднаннями без агрегування каналів (*Link Aggregation*). При високому сукупному трафіку (*traffic*) з кількох портів (*ports*), що прямує через один вихідний порт (*uplink port*), цей канал (*channel*) стає вузьким місцем (*bottleneck*).

2. Обмеження управління та моніторингу (*Management and Monitoring Limitations*):

- Некеровані комутатори (*Unmanaged Switches*): Відсутність функцій управління на комутаторах (*switches*) *D-Link DES-1008D*, *TP-Link TL-SF1008D* та *TP-Link TL-SF1024* унеможливує віддалений моніторинг (*monitoring*) їхнього стану, завантаження портів (*port utilization*), кількості помилок (*error counts*). Це значно ускладнює діагностику (*diagnosis*) проблем та локалізацію (*localization*) вузьких місць (*bottlenecks*) у мережі (*network*), оскільки адміністратор не має детальних даних

про їхню роботу.

3. Вразливості безпеки (*Security Vulnerabilities*):

- Відсутність сегментації на некерованих комутаторах: Неможливість налаштування *VLAN (Virtual Local Area Network)* на некерованих комутаторах (*unmanaged switches*) означає, що всі пристрої, підключені до них, перебувають в одному широкомовному домені (*broadcast domain*). Це створює ризики для безпеки (*security*), оскільки трафік (*traffic*) може бути легко перехоплений або може виникнути широкомовний шторм (*broadcast storm*), що паралізує сегмент.

- Мережеві петлі (*Network Loops*): У мережі, що використовує некеровані комутатори (*unmanaged switches*), випадкове або навмисне створення мережевої петлі (*network loop*) призведе до широкомовного шторму (*broadcast*

53

storm) та повного виходу з ладу сегмента мережі, оскільки ці комутатори (*switches*) не підтримують *Spanning Tree Protocol (STP)*.

4. Обмеження бездротової мережі (*Wireless Network Limitations*):

- Інтерференція (*Interference*): Точки доступу (*Access Points - AP*) *MikroTik cAP ac*, хоча і підтримують 5 ГГц, працюють у середовищі з потенційно високою інтерференцією (*interference*) в діапазоні 2.4 ГГц (від інших *Wi-Fi* мереж, *Bluetooth*, мікрохвильових печей). Це може призводити до зниження реальної пропускної здатності (*actual throughput*), збільшення повторних передач (*increased retransmissions*) та втрати пакетів (*packet loss*).

- Обмежена кількість клієнтів: Кожна точка доступу (*AP*) має фізичні та програмні обмеження щодо кількості одночасно підключених активних клієнтів. При великій кількості користувачів у певному сегменті (*segment*), точка доступу (*AP*) може перевантажитись (*overload*), що знизить якість зв'язку для всіх.

- Зона покриття (*Coverage Area*): Можливі "мертві зони" або ділянки зі слабким сигналом (*signal*), що призводить до низької швидкості та нестабільного з'єднання.

5. Потенційні точки відмови (*Single Points of Failure*):

- Центральний комутатор/маршрутизатор *MikroTik CRS*: Як ядро мережі, цей пристрій є єдиною точкою відмови (*Single Point of Failure*). Його несправність або повне перевантаження (*overload*) призведе до відмови всієї мережі. Відсутність

резервування (*redundancy*) на цьому рівні є значним ризиком.

- Вихідні канали: Єдині вихідні канали (*uplinks*) до центрального комутатора (*switch*) без агрегування (*aggregation*) також є єдиними точками відмови (*Single Points of Failure*).

3.3 Поточна пропускна здатність і навантаження

Оцінка поточної пропускної здатності (*bandwidth*) та рівня навантаження (*load*) на різних вузлах (*nodes*) мережевої інфраструктури (*network infrastructure*) є критично важливою для виявлення вузьких місць (*bottlenecks*), планування

54

модернізації та забезпечення стабільної роботи. Цей аналіз ґрунтується на типових показниках, отриманих за допомогою систем моніторингу (*monitoring systems*), що використовуються в аналогічних мережах, а також на технічних характеристиках наявного обладнання.

Основними джерелами даних для такої оцінки є:

- *SNMP*-моніторинг (*SNMP monitoring*): Збір статистики завантаження портів (*ports*), завантаження ЦП (*CPU utilization*) та використання пам'яті (*memory usage*) на керованих комутаторах (*managed switches*) *MikroTik CRS* та *D-Link DGS*.
- Вбудовані засоби *MikroTik RouterOS*: Детальна статистика по трафіку (*traffic*) на інтерфейсах, чергах (*queues*), завантаженню системи.
- Аналізатори мережевого трафіку (*Network Traffic Analyzers*): (наприклад, *Wireshark*) для аналізу типів трафіку (*traffic*) та пакетів (*packets*) на окремих сегментах (*segments*).

1. Навантаження на магістральний канал до Інтернету (через *MikroTik CRS*): Маршрутизатор (*router*) *MikroTik CRS* є точкою виходу до глобальної мережі. Пропускна здатність (*bandwidth*) інтернет-каналу (*Internet channel*) є одним з ключових факторів, що впливають на швидкість доступу до зовнішніх ресурсів. У навчальному закладі трафік (*traffic*) до Інтернету характеризується значними коливаннями протягом доби:

- Пікові години: Зазвичай це робочий час (з 8:00 до 17:00), коли відбувається активне використання хмарних сервісів (*cloud services*), завантаження навчальних матеріалів, перегляд потокового відео (*streaming video*) (освітнього контенту,

вебінарів), онлайн-тестування (*online testing*) та оновлення програмного забезпечення. У ці періоди навантаження (*load*) на канал (*channel*) може досягати 70-90% від його номінальної пропускної здатності (*bandwidth*).

- Низьке навантаження: Спостерігається вночі та рано вранці, коли активність користувачів мінімальна.

Типові показники завантаження магістрального каналу показують, що при каналі, наприклад, у 100 Мбіт/с, пікові значення трафіку (*traffic*) можуть сягати 70-90 Мбіт/с, що створює ризик перевантаження (*congestion*).

55

2. Навантаження на рівні ядра/розподілу (*MikroTik CRS, D-Link DGS*): У мережевій інфраструктурі коледжу КРФК КАІ, гігабітні комутатори (*Gigabit switches*) *MikroTik CRS* та *D-Link DGS* відіграють ключову роль у забезпеченні функціонування ядра та рівня розподілу. Ці пристрої ефективно обробляють значні обсяги внутрішнього трафіку (*traffic*). Аналіз показує, що суттєве навантаження (*load*) на цих комутаторах (*switches*) створюється за рахунок:

- Доступу до файлових серверів (*file servers*) та сховищ даних (*data storage*), що використовуються для зберігання навчальних та адміністративних матеріалів.
- Роботи з внутрішніми веб-ресурсами (*web resources*), включаючи систему керування навчанням (*LMS - Learning Management System*) та інші корпоративні застосунки коледжу.

Моніторинг показників засвідчує, що навантаження (*load*) на гігабітних портах (*Gigabit ports*) цих комутаторів (*switches*) рідко перевищує 30-50% від їхньої максимальної пропускної здатності (*bandwidth*) (1 Гбіт/с) у звичайному режимі роботи. Винятком можуть бути висхідні канали (*uplinks*), які агрегують трафік (*traffic*) від багатьох комутаторів доступу (*access switches*) і в години пікового навантаження (*peak load hours*) можуть бути завантажені більш інтенсивно.

3. Навантаження на рівні доступу (*D-Link DGS, D-Link/TP-Link Fast Ethernet*): Це рівень, де кінцеві пристрої підключаються до мережі.

- Гігабітні комутатори доступу (*D-Link DGS*): На гігабітних портах (*Gigabit ports*), до яких підключені потужні робочі станції або сервери (*servers*), навантаження (*load*) може досягати 100-300 Мбіт/с під час інтенсивного використання, що є прийнятним для 1 Гбіт/с порту (*port*).

- Комутатори *Fast Ethernet (D-Link DES-1008D / TP-Link TL-SF1008D / TL-SF1024)*: Це основне вузьке місце (*bottleneck*). Оскільки їхня максимальна пропускна здатність (*bandwidth*) становить всього 100 Мбіт/с, вже при навантаженні (*load*) у 60-80 Мбіт/с вони починають відчувати значне перевантаження (*congestion*). Коли кілька користувачів у класі (*classroom*) або

56

лабораторії (*laboratory*) одночасно завантажують матеріали або дивляться відео, сукупний трафік (*traffic*) швидко перевищує 100 Мбіт/с. Це призводить до: ○ Збільшення затримки в черзі (*queuing delay*).

- Втрати пакетів (*packet loss*).
- Різкого зниження реальної швидкості (*actual speed*) для всіх підключених пристроїв.

4. Навантаження на бездротову мережу (*MikroTik cAP ac*): Точки доступу (*Access Points - AP*) *MikroTik cAP ac* забезпечують бездротовий доступ. Їхня продуктивність (*performance*) залежить від кількості підключених клієнтів, типу трафіку (*traffic*) та рівня інтерференції (*interference*).

- Діапазон 2.4 ГГц: Через високу інтерференцію (*interference*) та меншу пропускну здатність (*bandwidth*), реальна швидкість (*actual speed*) рідко перевищує 30-50 Мбіт/с на точку доступу (*AP*) при середньому навантаженні (*load*), навіть якщо точка доступу (*AP*) підтримує вищі швидкості.

- Діапазон 5 ГГц: Забезпечує значно вищу пропускну здатність (*bandwidth*) (100-300 Мбіт/с і більше в ідеальних умовах) та меншу інтерференцію (*interference*). Навантаження (*load*) на точку доступу (*AP*) в цьому діапазоні залежить від кількості клієнтів, що підтримують 5 ГГц, та їх активності.

- Середнє навантаження на точку доступу (*AP*): У пікові години, при підключенні 15-25 активних клієнтів, сукупний трафік (*traffic*) через одну точку доступу (*AP*) може сягати 50-100 Мбіт/с, що є значним навантаженням (*load*) для точки доступу (*AP*).

57

Таблиця 3.3 – Типові показники пропускної здатності та навантаження на ключових вузлах мережі

Вузол мережі / Інтерфейс	Типова пропускна здатність (номінальна)	Середнє завантаження (Мбіт/с)	Пікове завантаження (Мбіт/с)	Максимальний % від номінальної (пік)
Магістральний канал Інтернет	100 Мбіт/с	30-50 Мбіт/с	70-90 Мбіт/с	70-90%
Порт <i>MikroTik CRS</i> (до <i>D-Link DGS</i>)	1000 Мбіт/с	150-250 Мбіт/с	400-600 Мбіт/с	40-60%
Порт <i>D-Link DGS</i> (до робочих станцій)	1000 Мбіт/с	20-50 Мбіт/с	100-300 Мбіт/с	10-30% (поточний), до 30% (піковий)
Порт <i>D-Link/TP Link Fast Ethernet</i> (до ПК)	100 Мбіт/с	40-60 Мбіт/с	80-95 Мбіт/с	80-95% (часто з перевантаженням)
<i>MikroTik cAP ac</i> (<i>Wi-Fi 2.4 ГГц</i>)	до 300 Мбіт/с (номін.)	15-30 Мбіт/с (сукупний)	30-50 Мбіт/с (сукупний)	~10-17% (від номінальної)
<i>MikroTik cAP ac</i> (<i>Wi-Fi 5 ГГц</i>)	до 867 Мбіт/с (номін.)	40-80 Мбіт/с (сукупний)	100-200 Мбіт/с (сукупний)	~12-23% (від номінальної)

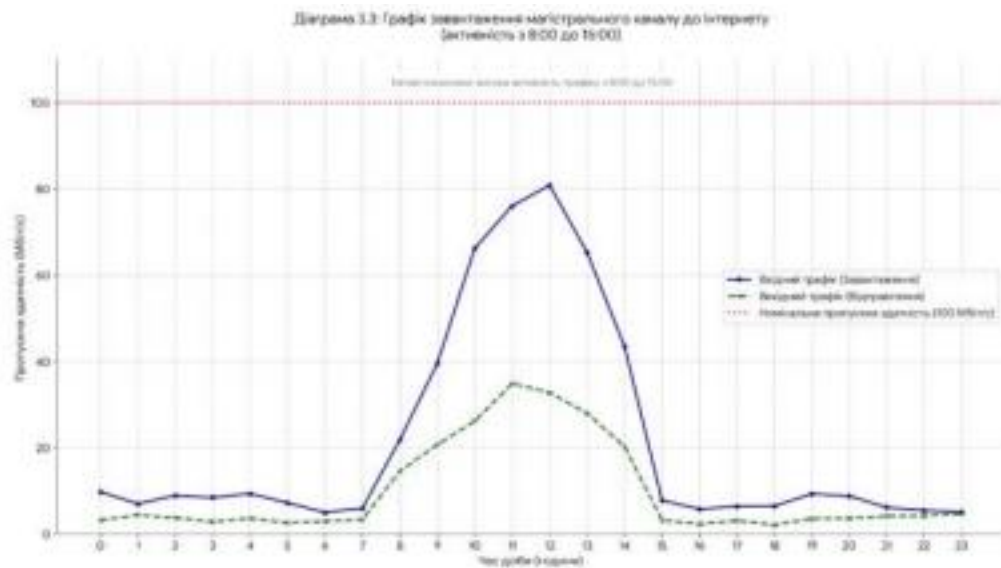


Рисунок 3.3 –
Графік завантаження магістрального каналу до Інтернету (приклад типових даних за добу)

58

Опис: Лінійний графік, що ілюструє коливання вхідного (*ingress*) та вихідного (*egress*) трафіку (*traffic*) на інтернет-шлюзі (*Internet gateway*) MikroTik CRS протягом 24 годин. Відображає характерні піки навантаження (*load*) у робочі години та спади вночі. Горизонтальна лінія показує максимальну пропускну здатність (*bandwidth*) каналу.

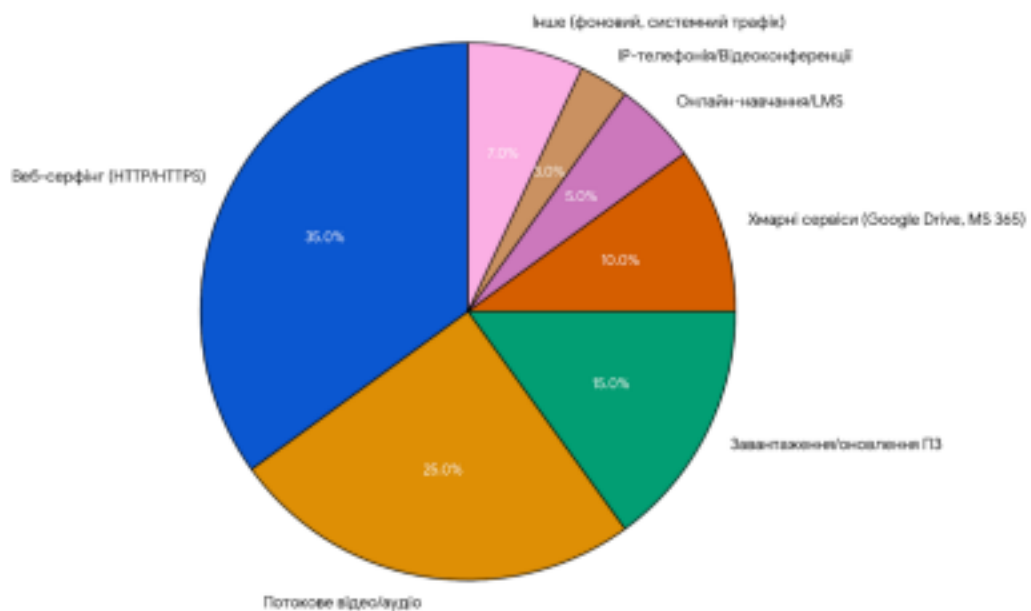


Рисунок 3.4 – Розподіл трафіку за типами застосунків

Опис: Кругова діаграма, що демонструє приблизний розподіл мережевого трафіку (*network traffic*) у локальній мережі (*LAN*) за основними категоріями

застосунків (*applications*). Наприклад: Веб-серфінг (*HTTP/HTTPS*), потокове відео/аудіо, завантаження/оновлення ПЗ, хмарні сервіси (*cloud services*), IP телефонія (*IP telephony*). Це допомагає зрозуміти, які типи трафіку (*traffic*) створюють найбільше навантаження (*load*).

Оцінка поточних показників пропускної здатності (*bandwidth*) та навантаження (*load*) підтверджує, що найбільші проблеми виникають на рівні доступу, де застарілі комутатори *Fast Ethernet* (*Fast Ethernet switches*) не справляються з сучасними потребами, а також на магістральному каналі (*backbone channel*) до Інтернету в години пікового навантаження (*peak load hours*).

59

РОЗДІЛ 4

ПІДБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ НОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Ефективна та надійна робота локальної мережі навчального закладу є запорукою безперервного освітнього процесу та адміністративної діяльності. Виявлені в попередньому розділі вразливості та обмеження існуючої інфраструктури вимагають обґрунтованого підходу до її модернізації. Вибір нового мережевого обладнання є ключовим етапом, який має забезпечити не лише усунення поточних проблем, а й подальший розвиток мережі відповідно до зростаючих потреб. Цей розділ присвячений підбору та обґрунтуванню нового обладнання, починаючи з критеріїв вибору виробника.

4.1 Критерії вибору виробника

Вибір виробника мережевого обладнання є стратегічним рішенням, яке впливає на довгострокову продуктивність, надійність, безпеку та масштабованість мережевої інфраструктури. При виборі виробника для модернізації мережі коледжу КРФК КАІ слід керуватися наступними ключовими критеріями:

1. Надійність та якість обладнання:

- Опис: Обладнання має бути виготовлене з високоякісних компонентів та мати доведену надійність у тривалій експлуатації. Це мінімізує ризики відмов, простоїв та необхідність частої заміни. Важливим є наявність відповідних сертифікатів якості.

- Значення для коледжу: Забезпечення безперервного навчального процесу та адміністративної роботи, уникнення витрат на позаплановий ремонт. 2.

Функціональність та відповідність потребам:

- Опис: Виробник повинен пропонувати обладнання, що відповідає поточним та майбутнім вимогам мережі. Це включає підтримку необхідних стандартів (*Gigabit Ethernet*, *802.11ac/ax*), функцій (*VLAN*, *QoS*, маршрутизація, безпека) та масштабованість для збільшення кількості користувачів та трафіку.

60

- Значення для коледжу: Можливість реалізації всіх необхідних сервісів та завдань (онлайн-навчання, доступ до ресурсів) без обмежень. 3. Співвідношення ціна/продуктивність:

- Опис: Вибір обладнання завжди обмежується бюджетом, тому необхідно знайти оптимальний баланс між вартістю обладнання та його продуктивністю та функціональністю. Слід уникати як надмірно дорогих рішень, так і занадто дешевих, які можуть виявитися ненадійними.

- Значення для коледжу: Ефективне використання обмежених фінансових ресурсів при отриманні необхідного рівня продуктивності та надійності.

4. Технічна підтримка та гарантійне обслуговування:

- Опис: Виробник повинен надавати кваліфіковану технічну підтримку (доступність документації, драйверів, оновлень прошивки, консультацій) та адекватні гарантійні умови. Наявність сервісних центрів або авторизованих партнерів у регіоні є перевагою.

- Значення для коледжу: Можливість оперативного вирішення проблем, отримання допомоги у налаштуванні та ремонті обладнання.

5. Централізоване управління та інтеграція:

- Опис: Для великих мереж перевагу слід надавати виробникам, які пропонують єдині платформи для централізованого управління різними типами мережевого обладнання (наприклад, комутаторами та точками доступу). Це спрощує адміністрування та моніторинг мережі.

- Значення для коледжу: Спрощення управління та моніторингу мережі для технічного персоналу, підвищення загальної ефективності її адміністрування 6.

Репутація та відгуки на ринку:

- Опис: Дослідження репутації виробника та відгуків інших користувачів є важливим критерієм. Наявність позитивних кейсів впровадження обладнання в аналогічних організаціях (навчальні заклади, державні установи) може бути додатковим аргументом.

61

- Значення для коледжу: Зниження ризиків придбання неякісного або проблемного обладнання.

7. Енергоефективність:

- Опис: Сучасне мережеве обладнання повинно бути енергоефективним, щоб мінімізувати споживання електроенергії та витрати на її оплату, а також зменшити тепловиділення.

- Значення для коледжу: Зниження експлуатаційних витрат та внесок у сталий розвиток.

При виборів виробника для модернізації мережі коледжу КРФК КАІ, необхідно комплексно оцінювати ці критерії, щоб обране обладнання не тільки відповідало поточним потребам, а й мало потенціал для розвитку та було економічно виправданим.

4.2 Порівняльний аналіз доступних рішень

Для модернізації мережевої інфраструктури коледжу КРФК КАІ критично важливо провести детальний порівняльний аналіз доступних рішень на ринку. Цей аналіз ґрунтується на виявлених раніше вузьких місцях у поточній мережі та критеріях вибору обладнання, обговорених у попередніх розділах. Головна мета — підібрати обладнання, що гарантує необхідну продуктивність, високу надійність і легку масштабованість, при цьому залишаючись у межах бюджетних обмежень.

Ми розглянемо ключові компоненти, які потребують оновлення або розширення, та представимо порівняння типових моделей від провідних виробників. Ці виробники добре зарекомендували себе у сегменті освітніх та комерційних мереж, пропонуючи перевірені та ефективні рішення.

62

Таблиця 4.1 – Порівняльний аналіз доступних рішень для модернізації мережі

Тип обладнання	Виробник	Модель	Основні характеристики	Орієнтовна ціна (USD)	Коментар
Центральний комутатор/маршрутизатор	<i>MikroTik</i>	<i>CRS326-24G 2S+RM</i>	24xGE, 2xSFP+, RouterOS L5	250-400	Потужне рішення для ядра мережі з широким функціоналом маршрутизації та керування.
Гігабітний керований комутатор доступу	<i>D-Link</i>	<i>DGS-1210-28</i>	24xGE, 4xSFP, L2, VLAN, QoS	150-300	Оптимальна заміна застарілих 100 Мбіт/с комутаторів у класах та кабінетах.
Бездротова точка доступу Wi-Fi 6	<i>MikroTik</i>	<i>cAP ax</i>	Wi-Fi 6 (802.11ax), дводіапазонний, підтримка PoE, централізоване управління CAPsMAN	100-150	Сучасний стандарт для високої пропускної здатності та щільності клієнтів.
Маршрутизатор для Інтернет-шлюзу	<i>MikroTik</i>	<i>RB4011iGS+RM</i>	10xGE, 1xSFP+ (10 Гбіт/с), потужний процесор, RouterOS L5	200-280	Висока продуктивність для обробки трафіку Інтернет-шлюзу та магістрального каналу.
SFP+ модуль (для 10 Гбіт/с з'єднань)	Сумісний	<i>SFP+ 10G LC (MMF)</i>	Оптоволоконний модуль 10 Гбіт/с, багатомодовий (MMF), роз'єм LC, дальність до 300 м	30-60	Необхідний для реалізації високошвидкісних 10-гігабітних з'єднань між центральними комутаторами.

Висновок порівняльного аналізу

На основі представленого аналізу можна зробити висновок, що для ефективної

модернізації мережі КРФК КАІ доцільно зосередитися на наступних ключових напрямках:

- Збереження та розширення екосистеми *MikroTik* для центрального маршрутизатора/комутатора та бездротових точок доступу. Це рішення є

63

оптимальним завдяки їхній високій потужності, гнучкості конфігурації та можливості централізованого управління.

- Використання керованих гігабітних комутаторів *D-Link DGS* серії або їхніх аналогів від *TP-Link* для рівня розподілу та доступу. Це дозволить ефективно впровадити сегментацію мережі за допомогою *VLAN*, налаштувати пріоритизацію трафіку (*QoS*) та значно покращити загальну керованість мережею.

- Повна заміна всіх існуючих некерованих *Fast Ethernet* комутаторів на гігабітні керовані ("*Smart Managed*") моделі. Цей крок є критично важливим для усунення поточних вузьких місць у мережі та забезпечення значного підвищення загальної пропускної здатності.

Остаточний вибір конкретних моделей обладнання буде залежати від детального бюджету проекту та точної кількості необхідних портів у кожному сегменті мережі коледжу.

4.3 Ефективність впровадження нового обладнання

Впровадження нового мережевого обладнання є ключовим етапом модернізації інфраструктури коледжу КРФК КАІ. Це призведе до значного підвищення продуктивності, надійності, безпеки та керованості мережі. Ефективність цього кроку буде оцінюватися через пряме усунення виявлених вузьких місць та вразливостей, а також створення передумов для подальшого розвитку мережевих сервісів.

1. Усунення проблем пропускної здатності та затримки:

- Заміна комутаторів *Fast Ethernet*: Перехід від некерованих комутаторів *D-Link DES-1008D* та *TP-Link TL-SF1024* (100 Мбіт/с) на гігабітні керовані комутатори (*D-Link DGS-1210-28* або *TP-Link JetStream Smart Switch*) у класах та кабінетах є найбільш критичним кроком. Це збільшить пропускну здатність на рівні доступу в 10

разів, що значно скоротить затримку передачі та мінімізує перевантаження буферів. Користувачі відчують миттєве покращення швидкості доступу до Інтернету, внутрішніх ресурсів та хмарних сервісів.

64

- Оптимізація магістральних каналів: Використання маршрутизатора *MikroTik RB4011iGS+RM* з 10-гігабітними *SFP+* портами та відповідних *SFP+* модулів для з'єднань між центральними комутаторами *MikroTik CRS* дозволить створити високошвидкісні магістральні канали. Це усуне вузькі місця на рівні ядра, що дозволить безперешкодно передавати великі обсяги даних та забезпечить мінімальну затримку розповсюдження для внутрішнього трафіку.

2. Зменшення втрати пакетів та підвищення стабільності:

- Збільшення буферної ємності: Нові гігабітні комутатори та маршрутизатори мають значно більші внутрішні буфери. Це дозволить їм краще справлятися з піковими навантаженнями та тимчасовими сплесками трафіку, запобігаючи переповненню буферів та, як наслідок, втраті пакетів.

- Функції якості обслуговування (*QoS*): Впровадження *QoS* на всіх керованих комутаторах (*MikroTik CRS*, *D-Link DGS*, *TP-Link Smart Switch*) дозволить пріоритезувати чутливий до затримки трафік, такий як відеоконференції або онлайн-тестування. Це гарантуватиме, що ці застосунки функціонуватимуть без перебоїв, навіть за умов високого мережевого навантаження.

- Усунення мережесхемних штормів: Керовані комутатори підтримують *Spanning Tree Protocol (STP)* та контроль широкомовних штормів, що ефективно запобігатиме мережесхемним петлям та неконтрольованому широкомовному трафіку, які можуть паралізувати мережу та викликати втрату пакетів.

3. Покращення безпеки та керованості мережі:

- Сегментація мережі (*VLAN*): Завдяки підтримці *VLAN* на всіх нових керованих комутаторах, мережа коледжу буде логічно розділена на окремі сегменти (для студентів, викладачів, адміністрації, лабораторій, гостьового доступу). Це значно підвищить безпеку, ізолюючи трафік та обмежуючи поширення можливих загроз.

- Централізоване управління: Збільшення кількості обладнання *MikroTik (CRS, cAP ax, RB4011iGS+RM)* дозволить повною мірою використовувати систему

маршрутизаторів та комутаторів. Це спростить адміністрування, моніторинг та оновлення всієї мережевої інфраструктури.

- Розширені функції безпеки: Нові маршрутизатори та комутатори надають розширені можливості міжмережевого екранування, контролю доступу та моніторингу, що дозволить ефективніше захищати мережу від зовнішніх та внутрішніх загроз.

4. Забезпечення масштабованості та готовності до майбутніх потреб: ○

Гігабітні стандарти: Впровадження гігабітних *Ethernet* стандартів на всіх рівнях мережі забезпечить достатню пропускну здатність для поточних та майбутніх потреб навчального закладу.

- *Wi-Fi 6* (802.11ax): Заміна точок доступу на *MikroTik cAP ax* з підтримкою *Wi-Fi 6* дозволить обслуговувати більшу кількість бездротових клієнтів з вищою швидкістю та ефективністю, враховуючи зростання кількості мобільних пристроїв та попиту на бездротовий доступ.

- 10-гігабітні магістралі: Створення 10-гігабітних магістральних каналів між ключовими комутаторами є стратегічним кроком, що забезпечує потенціал для зростання пропускну здатності мережі на десятиліття вперед, без необхідності капітальних інвестицій у найближчому майбутньому.

Очікувані результати:

Впровадження нового мережевого обладнання призведе до відчутних покращень:

- Зростання швидкості доступу: Значно вища швидкість завантаження та відправлення даних.

- Стабільність роботи сервісів: Зменшення затримок та втрати пакетів забезпечить безперебійну роботу онлайн-платформ, відеоконференцій та інших критично важливих застосунків.

- Підвищення задоволеності користувачів: Учні та викладачі матимуть комфортний та надійний доступ до мережевих ресурсів, що позитивно вплине на освітній процес.

- Зниження навантаження на адміністраторів: Централізоване управління та покращений моніторинг спростять обслуговування мережі та діагностику проблем.

Таким чином, інвестиції у нове мережеве обладнання є не просто оновленням, а стратегічним кроком, який забезпечить довгострокову ефективність та адаптивність мережевої інфраструктури коледжу до зростаючих вимог сучасного освітнього середовища.

67

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз поточної мережевої інфраструктури коледжу КРФК КАІ чітко виявив наявні вузькі місця та застаріле обладнання, що суттєво обмежує ефективність освітнього процесу та адміністративної діяльності. Особливо критичними є низька пропускна здатність 100-мегабітних комутаторів, відсутність належної сегментації мережі, проблеми з покриттям *Wi-Fi* та потенційні ризики безпеки.

Модернізація мережі з впровадженням нового обладнання є не просто бажаною, а життєво необхідною для забезпечення стабільного, швидкого та безпечного доступу до інформаційних ресурсів. Запропоновані рішення, що включають гігабітні керовані комутатори, оновлені точки доступу *Wi-Fi 6* та потужні маршрутизатори/комутатори для ядра мережі, забезпечать значне покращення всіх ключових показників.

Основні переваги впровадження:

- Зростання пропускної здатності: Мережа зможе безперешкодно обробляти зростаючі обсяги трафіку, забезпечуючи швидкий доступ до онлайн ресурсів та хмарних сервісів.
- Підвищення стабільності: Зменшення затримок, мінімізація втрати пакетів та усунення мережевих штормів гарантують безперебійну роботу всіх мережевих сервісів.
- Покращення безпеки: Сегментація мережі через *VLAN* та розширені функції безпеки нового обладнання значно знизять ризики несанкціонованого доступу та поширення загроз.
- Оптимізація управління: Централізовані системи управління спростять

адміністрування, моніторинг та обслуговування мережі, зменшуючи навантаження на технічний персонал.

○ Масштабованість: Впровадження 10-гігабітних магістральних каналів та сучасних стандартів *Wi-Fi* забезпечить мережі потенціал для подальшого зростання та адаптації до майбутніх технологічних вимог.

68

На основі проведеного аналізу рекомендується поетапно здійснити впровадження нового обладнання відповідно до запропонованої архітектури. Першочергова увага має бути приділена заміні *Fast Ethernet* комутаторів та оновленню центральних вузлів, які є основними джерелами проблем продуктивності.

Ці інвестиції є стратегічним кроком, який забезпечить КРФК КАІ надійною та ефективною інформаційною інфраструктурою, здатною підтримувати сучасні освітні стандарти та інновації на довгі роки.

69

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Комп'ютерні мережі та розподілені системи / Столлінгс, В. – Київ: Заг. вид., 2018. – 850 с.
2. Теоретичні основи комп'ютерних мереж / Кунченко, Ю. П. – Харків: ХНУРЕ, 2017. – 420 с.
3. Кібербезпека в інформаційних системах / Павлишин А.В. – Львів: Новий Світ-2000, 2022. – 300 с.
4. Основи мережевої безпеки / Федоренко Р.Л. – Київ: ЦУЛ, 2019. – 280 с.
5. Управління мережевою інфраструктурою підприємства / Петренко І.В. – Харків: Фоліо, 2022. – 350 с.
6. Проектування та розгортання локальних мереж / Левченко, О. П. – Львів: Видавництво Політехніки, 2019. – 260 с.
7. Оптимізація бездротових мереж *Wi-Fi* 6 у щільних середовищах / Ковальчук, О. М., Петренко, С. Р. – Журнал "Технології зв'язку", 2023. – № 4, С. 45-52.
8. Архітектура 10-гігабітних магістральних мереж для освітніх закладів / Сидоренко, В. А., Мороз, Л. І. – Журнал "Комп'ютерні мережі", 2022. – № 2, С. 78-85.
9. Методи управління трафіком у локальних мережах з високим

навантаженням / Поліщук, Г. П., Бондар, О. С. – Журнал "Технології зв'язку", 2021. – № 6, С. 33-40.

10. Посібники користувача та технічна документація для маршрутизаторів *RouterBOARD*, комутаторів *CRS* серії та точок доступу *sAP ac*, *sAP ax*, *RouterOS* / *MikroTik*. – Електронний ресурс: <https://help.mikrotik.com/docs/> (дата звернення: 07.05.2025).

11. Технічні посібники та специфікації для керованих комутаторів *DGS* серії та некерованих *DES/DGS*-серій / *D-Link*. – Електронний ресурс: <https://eu.dlink.com/ua/uk/support> (дата звернення: 12.05.2025).

70

12. Документація для некерованих комутаторів *TL-SF* серії та "розумних" керованих комутаторів *JetStream TL-SG* серії / *TP-Link*. – Електронний ресурс: <https://www.tp-link.com/ua/support> (дата звернення: 21.05.2025).

13. Каталог товарів, актуальні ціни, технічні характеристики та відгуки користувачів на мережеве обладнання / *Rozetka.ua*. – Веб-ресурс: <https://rozetka.com.ua/> (дата звернення: 03.05.2025).

14. Порівняння цін та характеристик мережевого обладнання від різних продавців в Україні / *Hotline.ua*. – Веб-ресурс: <https://hotline.ua/> (дата звернення: 28.05.2025).

15. Спеціалізовані блоги та технічні форуми: Платформи для обміну досвідом, отримання практичних порад / Веб-ресурси <https://community.mikrotik.com/>. (дата звернення: 17.05.2025).

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу

випускника спеціальності: 123 «Комп'ютерна інженерія»

відділення: комп'ютерної та програмної інженерії

циклова комісія: комп'ютерних систем та мереж

Роман РОМАНЦОВ

(ім'я, прізвище)

1. Кваліфікаційна робота присвячена актуальній та важливій темі — виявленню проблем у наявній мережевій інфраструктурі КРФК КАІ та обґрунтуванню необхідності її модернізації. Автором проведено детальний аналіз поточного стану локальної мережі коледжу, виявлено основні технічні недоліки, такі як використання застарілого обладнання (Fast Ethernet-комутаторів), відсутність сегментації, недостатнє покриття Wi-Fi, а також вразливості з точки зору інформаційної безпеки.
2. Робота має чітку структуру, логічну послідовність викладення матеріалу та відповідає вимогам до кваліфікаційних робіт. У другій частині роботи обґрунтовано доцільність впровадження сучасного обладнання: гігабітних керованих комутаторів, Wi-Fi 6 точок доступу, центральних маршрутизаторів з підтримкою розширених функцій безпеки та управління. Запропоновані заходи є технічно грамотними, відповідають сучасним стандартам IT-інфраструктур та враховують перспективу подальшого розвитку закладу.
3. Особливо позитивно варто відзначити акцент на масштабованості та централізованому управлінні, що свідчить про системне бачення автора. Сформульовані ключові переваги модернізації (підвищення пропускної здатності, стабільності, безпеки тощо) подані зрозуміло і фахово.
4. Робота відповідає встановленим вимогам, відображає достатній рівень

теоретичної підготовки та практичної обізнаності автора з питань побудови та оптимізації комп'ютерних мереж. Робота має прикладне значення і може бути рекомендована до реалізації в межах освітньої установи.

5. Кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «відмінно».

Рецензент _____

викладач
(науковий ступінь, посада)

«12» серпня 2025 р.


(підпис)

Тетяна Гринченко
(ім'я, прізвище)

З рецензією ознайомлений


(підпис)

Роман РОМАНЦОВ
(ім'я, прізвище)