

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

Кафедра телекомунікацій

До захисту допущено:

В. о. завідувача кафедри

_____ Сергій КРАВЧУК

«___» _____ 2026 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Інженерія та програмування
інфокомунікацій»**

спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**на тему: «Розроблення макету безпроводової інфокомунікаційної мережі
PtP/PtMP на базі обладнання Mikrotik Groove A-52HPn»**

Виконавля:

студентка IV курсу, групи ТЗ-22

Савчук Вікторія Олегівна _____

Керівник:

Доцент кафедри ТК НН ІТС, к.т.н,

Авдеєнко Гліб Леонідович _____

Рецензент:

Доцент кафедри ІТТ НН ІТС, к.т.н, доцент,

Новогрудська Ріна Леонідівна _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студентка _____

Київ – 2026 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем
Кафедра телекомунікацій

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітньо-професійна програма «Інженерія та програмування інфокомунікацій»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

_____ Сергій КРАВЧУК

« ____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студенту
Савчук Вікторії Олегівни

1. Тема роботи «Розроблення макету безпроводової інфокомунікаційної мережі PtP/PtMP на базі обладнання Mikrotik Groove A-52HPn», керівник роботи Авдєєнко Гліб Леонідович к.т.н. затверджені наказом по університету від «26» травня 2026 р. № 1912-с.

2. Термін подання студентом роботи 12 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи

- обладнання MikroTik Groove A-52HPn;
- стандарти безпроводового зв'язку IEEE 802.11a/n;
- діапазони частот 2,4 ГГц та 5 ГГц;
- топології мереж Point-to-Point та Point-to-Multipoint;
- програмне забезпечення WinBox для налаштування обладнання;
- параметри безпроводового каналу зв'язку: RSSI, SNR, пропускна здатність, затримка, рівень втрат пакетів;
- методи захисту мережі WPA/WPA2;
- інструменти моніторингу та тестування мережі (Bandwidth Test, Torch, Ping, iPerf).

4. Зміст роботи:

1. Аналіз технологій та засобів побудови безпроводових інфокомунікаційних мереж
2. Проєктування макету безпроводової мережі PtP/PtMP
3. Налаштування та дослідження роботи бездротової мережі на базі обладнання MIKROTIK GROOVE A-52HPN
5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо)
6. Дата видачі завдання 15 квітня 2026 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз отриманого завдання	15.04.2026-24.04.2026	виконано
2	Визначення мети дипломної роботи. Розробка змісту	25.04.2026-01.05.2026	виконано
3	Написання вступної частини, та першого розділу	02.05.2026-14.05.2026	виконано
4	Написання другого розділу	17.05.2026-20.05.2026	виконано
5	Збір інформації для третього розділу	21.05.2026-22.05.2026	виконано
6	Написання третього розділу	23.05.2026-26.05.2026	виконано
7	Написання висновків, та загального висновку дипломної роботи	28.05.2026-30.05.2026	виконано
8	Оформлення дипломного проекту	01.06.2026-04.06.2026	виконано
9	Підготовка презентації для захисту	05.06.2026-11.06.2026	виконано

Студент

Вікторія САВЧУК

Керівник

Гліб АВДЄЄНКО

РЕФЕРАТ

Текстова частина дипломної роботи: 72 сторінок, 35 рисунки, 2 таблиці, 1 схема, 17 джерел, 1 додаток.

Метою дипломної роботи є розроблення макету безпроводової інфокомунікаційної мережі Point-to-Point (PtP) та Point-to-Multipoint (PtMP) на базі обладнання MikroTik Groove A-52HPn, дослідження особливостей її функціонування та оцінювання основних характеристик роботи.

Об'єктом дослідження є безпроводова інфокомунікаційна мережа, побудована на основі технологій PtP та PtMP. Предметом дослідження є процес проектування, налаштування та оцінювання параметрів функціонування бездротових мереж на базі обладнання MikroTik.

У роботі використано методи аналізу науково-технічної літератури, порівняльного аналізу мережевих технологій, експериментальних досліджень та вимірювання параметрів мережі за допомогою програмного забезпечення RouterOS, WinBox та утиліти iPerf3.

У результаті виконання роботи проведено аналіз сучасних технологій побудови безпроводових інфокомунікаційних мереж, досліджено принципи функціонування мереж Point-to-Point і Point-to-Multipoint, розглянуто стандарти IEEE 802.11 та обґрунтовано вибір обладнання MikroTik Groove A-52HPn. Розроблено структурні схеми мережі, виконано налаштування обладнання в режимах PtP та PtMP, реалізовано механізми захисту бездротової мережі на основі WPA2-PSK та досліджено процес отримання мережевих параметрів за допомогою DHCP і DHCP Relay.

Експериментальні дослідження показали працездатність розробленого макету та підтвердили можливість організації стабільного бездротового зв'язку між вузлами мережі. За допомогою утиліти iPerf3 проведено вимірювання швидкісних характеристик мережі між абонентськими пристроями та сервером, а також між вузлами локальної мережі. Отримані результати підтвердили вплив відстані та умов поширення радіосигналу на пропускну здатність бездротового каналу.

Результати роботи можуть бути використані під час навчального процесу для вивчення принципів побудови бездротових мереж, а також під час проектування та налаштування невеликих безпроводових мереж на базі обладнання MikroTik.

БЕЗПРОВОДОВА МЕРЕЖА, POINT-TO-POINT, POINT-TO-MULTIPOINT, MIKROTIK GROOVE A-52HPN, ROUTEROS, WINBOX, IEEE 802.11, DHCP, DHCP RELAY, WPA2-PSK, IPERF3, ТОЧКА ДОСТУПУ, ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ, WIFI, МЕРЕЖЕВІ ТЕХНОЛОГІЇ.

ABSTRACT

Text part of the thesis: 72 pages, 35 figures, 2 tables, 1 diagram, 17 references, 1 appendix.

The purpose of the thesis is to develop a prototype wireless infocommunication network based on Point-to-Point (PtP) and Point-to-Multipoint (PtMP) technologies using MikroTik Groove A-52HPn equipment, to investigate its operating principles, and to evaluate its performance characteristics.

The object of research is a wireless infocommunication network based on PtP and PtMP technologies. The subject of research is the process of designing, configuring, and evaluating wireless networks using MikroTik equipment.

The study employs methods of scientific and technical literature analysis, comparative analysis of networking technologies, experimental research, and network performance measurements using RouterOS, WinBox, and the iPerf3 utility.

The thesis analyzes modern wireless networking technologies, investigates the operating principles of Point-to-Point and Point-to-Multipoint networks, examines IEEE 802.11 standards, and substantiates the choice of MikroTik Groove A-52HPn equipment. Network structural schemes were developed, PtP and PtMP configurations were implemented, WPA2-PSK wireless security mechanisms were configured, and the process of network parameter assignment using DHCP and DHCP Relay was investigated.

Experimental studies confirmed the operability of the developed network prototype and demonstrated the possibility of establishing a stable wireless communication channel between network nodes. Network throughput measurements were performed using the iPerf3 utility between client devices and a server, as well as between local network nodes. The obtained results confirmed the influence of distance and radio signal propagation conditions on wireless channel performance.

The results of the work can be used in the educational process for studying wireless networking technologies and in the design and deployment of small wireless networks based on MikroTik equipment.

WIRELESS NETWORK, POINT-TO-POINT, POINT-TO-MULTIPOINT,
MIKROTIK GROOVE A-52HPN, ROUTEROS, WINBOX, IEEE 802.11, DHCP,
DHCP RELAY, WPA2-PSK, IPERF3, ACCESS POINT, THROUGHPUT, WIFI,
NETWORK TECHNOLOGIES.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЗАСОБІВ ПОБУДОВИ БЕЗПРОВОДОВИХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ	11
1.1. Особливості сучасних безпроводових інфокомунікаційних мереж.....	11
1.2. Принципи роботи мереж Point-to-Point та Point-to-Multipoint.....	13
1.3. Основні стандарти безпроводового зв'язку IEEE 802.11	14
1.4. Аналіз обладнання для побудови PtP/PtMP мереж.....	15
1.5. Характеристики та можливості MikroTik Groove A-52HPn.....	16
Висновки	18
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ МАКЕТУ БЕЗПРОВОДОВОЇ МЕРЕЖІ PtP/PtMP ..	20
2.1. Постановка задачі та вимоги до мережі	20
2.2. Вибір топології мережі.....	22
2.4. Вибір параметрів та режимів роботи обладнання.....	25
Висновки	26
РОЗДІЛ 3 НАЛАШТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ БЕЗДРОТОВОЇ МЕРЕЖІ НА БАЗІ ОБЛАДНАННЯ МІКРОТІК GROOVE A-52HPN.....	28
3.1. Підключення обладнання	28
3.2. Налаштування обладнання MikroTik Groove A-52HPn в режимі bridge.....	29
3.3. Налаштування та дослідження бездротової мережі в режимі PtMP	39
3.4. Вимірювання швидкісних характеристик абонентських пристроїв у мережі PtMP46	
3.5. Налаштування та дослідження бездротової мережі в режимі PtP	49
Висновки	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64
Додаток 1	66

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol (протокол динамічного налаштування вузлів мережі)
DHCP Relay	Механізм пересилання DHCP-запитів між сегментами мережі
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Інститут інженерів з електротехніки та електроніки)
IP	Internet Protocol (міжмережевий протокол)
LAN	Local Area Network (локальна обчислювальна мережа)
MAC	Media Access Control (фізична адреса мережевого пристрою)
MikroTik	Виробник мережевого обладнання та операційної системи RouterOS
PoE	Power over Ethernet (технологія передавання живлення через Ethernet-кабель)
PtP	Point-to-Point (мережа типу «точка-точка»)
PtMP	Point-to-Multipoint (мережа типу «точка-багатоточка»)
RouterOS	Операційна система мережевого обладнання MikroTik
SSID	Service Set Identifier (ідентифікатор бездротової мережі)
WPA2-PSK	Wi-Fi Protected Access 2 Pre-Shared Key (механізм захисту бездротової мережі з використанням спільного ключа)
Wi-Fi	Технологія бездротового доступу до мережі на основі стандартів IEEE 802.11
WinBox	Програмне забезпечення для налаштування обладнання MikroTik
WLAN	Wireless Local Area Network (бездротова локальна мережа)
iPerf3	Програмний засіб для вимірювання пропускної здатності мережі

ВСТУП

Сьогодні розвиток інформаційно-комунікаційних технологій супроводжується постійним збільшенням потреби у швидкісному та надійному обміні даними. У зв'язку з цим все більшого поширення набувають безпроводові інфокомунікаційні мережі, які дозволяють організовувати зв'язок між об'єктами без використання кабельних ліній. Такі рішення є економічно вигідними, зручними в розгортанні та особливо актуальними для місць, де прокладання дротової інфраструктури є складним або недоцільним.

Серед сучасних технологій безпроводового зв'язку важливе місце займають мережі типу Point-to-Point (PtP) та Point-to-Multipoint (PtMP). Технологія PtP використовується для організації прямого каналу зв'язку між двома вузлами, тоді як PtMP забезпечує можливість підключення декількох абонентів до однієї базової точки доступу. Завдяки своїй гнучкості та відносно невисокій вартості такі мережі широко застосовуються для створення локальних систем передачі даних, підключення віддалених об'єктів та забезпечення доступу до мережі Інтернет.

Для реалізації подібних рішень доцільно використовувати обладнання MikroTik Groove A-52HPn, яке характеризується компактними розмірами, підтримкою роботи у діапазонах 2,4 ГГц і 5 ГГц, а також широкими можливостями конфігурації завдяки операційній системі RouterOS. Використання даного пристрою дозволяє створити стабільну та ефективну безпроводову мережу з можливістю гнучкого налаштування параметрів передачі даних і контролю мережевого трафіку.

Метою цієї роботи є створення макету безпроводової інфокомунікаційної мережі типу PtP/PtMP на основі обладнання MikroTik Groove A-52HPn та дослідження особливостей її функціонування. У ході виконання роботи передбачається аналіз принципів побудови безпроводових мереж, налаштування мережевого обладнання, а також оцінка основних характеристик створеної системи зв'язку.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЗАСОБІВ ПОБУДОВИ БЕЗПРОВОДОВИХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

1.1. Особливості сучасних безпроводових інфокомунікаційних мереж

Сучасні безпроводові інфокомунікаційні мережі є важливою складовою телекомунікаційної інфраструктури та забезпечують передавання інформації без використання кабельних ліній зв'язку. Їх активний розвиток обумовлений зростанням потреб у швидкому доступі до мережі Інтернет, мобільності користувачів та можливості оперативного розгортання мереж у різних умовах експлуатації [1].

Однією з головних особливостей сучасних безпроводових мереж є висока гнучкість та швидкість встановлення. На відміну від дротових систем, безпроводові мережі не потребують прокладання кабелів, що значно зменшує витрати часу та коштів на монтаж. Це особливо важливо для організації зв'язку у важкодоступних місцях, на тимчасових об'єктах або в умовах швидкої зміни структури мережі.

У безпроводових інфокомунікаційних системах використовуються різні варіанти організації обміну даними [2] між мережевими пристроями, серед яких найбільш поширеними є режими Point-to-Point (PtP) та Point-to-Multipoint (PtMP) (Рис. 1.1). Режим PtP передбачає створення окремого безпроводового з'єднання між двома вузлами, завдяки чому забезпечується стабільний канал передачі інформації, висока пропускна здатність та мінімальний рівень затримок. Така схема часто застосовується для з'єднання віддалених об'єктів або передачі даних між окремими сегментами мережі. Технологія PtMP функціонує за принципом взаємодії однієї центральної точки доступу з декількома клієнтськими станціями одночасно. Це дозволяє організувати централізоване підключення користувачів, оптимізувати використання обладнання та ефективно реалізовувати системи безпроводового доступу до мережі Інтернет і локальні телекомунікаційні мережі.

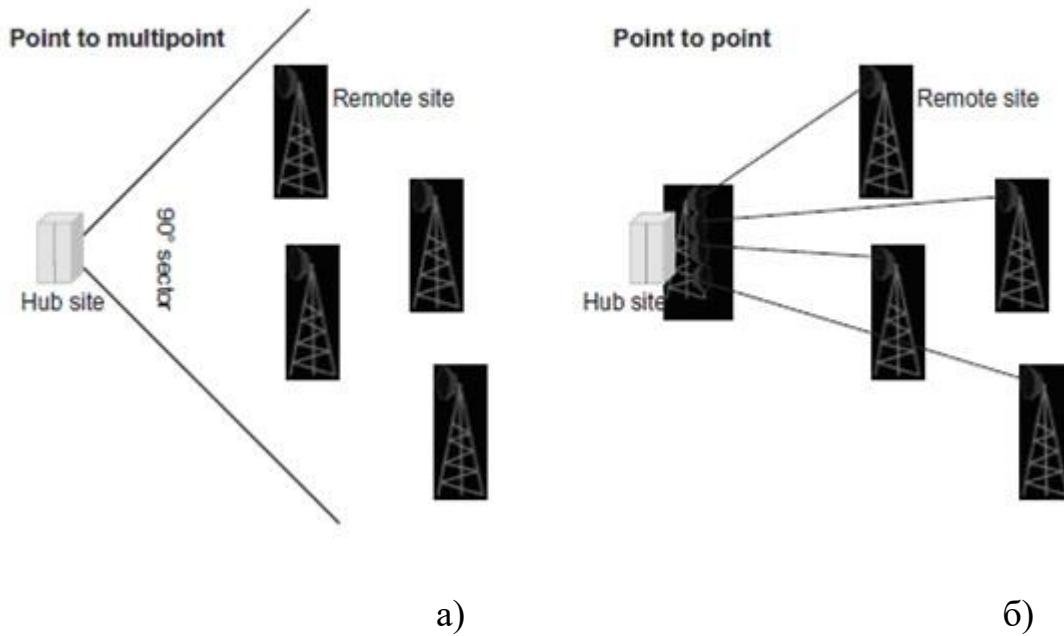


Рис. 1.1 - Структура безпроводної мережі: а) PtP; б) PtMP.

Важливою особливістю сучасних безпроводових мереж є використання цифрових методів модуляції та сучасних протоколів передавання даних, які забезпечують високу пропускну здатність і надійність зв'язку. Значну роль відіграють технології захисту інформації, зокрема використання шифрування, автентифікації користувачів та фільтрації доступу до мережі.

Для побудови безпроводових інфокомунікаційних мереж широко застосовується обладнання компанії MikroTik, яке поєднує функціональність, доступну вартість та широкі можливості налаштування. Зокрема, MikroTik Groove A-52HRn дозволяє реалізовувати мережі типу PtP та PtMP, забезпечуючи стабільне з'єднання, підтримку різних стандартів Wi-Fi та можливість гнучкого конфігурування через операційну систему RouterOS. [16].

Ще однією важливою особливістю сучасних мереж є можливість масштабування. За необхідності до мережі можна додавати нові вузли та абонентські пристрої без значних змін у вже існуючій структурі. Це дозволяє ефективно розширювати покриття та підвищувати продуктивність мережі відповідно до потреб користувачів.

Таким чином, сучасні безпроводові інфокомунікаційні мережі характеризуються мобільністю, економічністю, гнучкістю та високою ефективністю. Використання технологій PtP/PtMP і сучасного обладнання MikroTik дає можливість створювати надійні мережі для передачі даних у різних сферах діяльності.

1.2. Принципи роботи мереж Point-to-Point та Point-to-Multipoint

Безпроводові мережі Point-to-Point (PtP) та Point-to-Multipoint (PtMP) широко використовуються у сучасних інфокомунікаційних системах для організації передавання даних між мережевими пристроями. Дані технології забезпечують стабільний зв'язок, високу швидкість передачі інформації та можливість побудови мереж різного масштабу.

Технологія Point-to-Point передбачає організацію прямого безпроводового каналу зв'язку між двома вузлами мережі. У такій схемі один пристрій працює як передавач, а інший — як приймач. Основною особливістю PtP є те, що весь канал використовується лише між двома точками, що забезпечує високу пропускну здатність та мінімальний рівень перешкод. Такі мережі часто застосовуються для з'єднання віддалених будівель, офісів, систем відеоспостереження та передачі Інтернету на великі відстані [3].

Для стабільної роботи PtP-з'єднання важливе правильне налаштування обладнання, вибір частотного діапазону та забезпечення прямої видимості між антенами. Якість зв'язку залежить від рівня сигналу, відстані між пристроями, погодних умов та наявності сторонніх радіоперешкод.

Технологія Point-to-Multipoint працює за іншим принципом. У такій мережі одна базова станція забезпечує зв'язок одночасно з декількома абонентськими пристроями. Центральний вузол передає інформацію всім підключеним клієнтам, а кожен абонентський пристрій приймає та обробляє лише власні дані [8].

Мережі PtMP використовуються для побудови систем безпроводового доступу до Інтернету, локальних мереж підприємств, систем відеоспостереження та

інших телекомунікаційних рішень. Основною перевагою цієї технології є можливість підключення великої кількості користувачів без необхідності створення окремого каналу для кожного з них. Це дозволяє значно зменшити витрати на обладнання та спростити структуру мережі [9].

Для реалізації мереж PtP та PtMP часто застосовується обладнання MikroTik, зокрема MikroTik Groove A-52HPn. Дане обладнання підтримує роботу в різних режимах, має широкі можливості налаштування та дозволяє забезпечити стабільний безпроводовий зв'язок.

1.3. Основні стандарти безпроводового зв'язку IEEE 802.11

Стандарти IEEE 802.11 визначають технічні параметри роботи безпроводових локальних мереж Wi-Fi, зокрема способи передавання даних, робочі частотні діапазони, швидкість з'єднання та механізми забезпечення сумісності обладнання різних виробників. Вони є базою для побудови сучасних безпроводових інфокомунікаційних систем.

Основними робочими діапазонами стандартів IEEE 802.11 є 2,4 ГГц та 5 ГГц. Діапазон 2,4 ГГц характеризується більшою дальністю покриття, але меншою кількістю вільних каналів і вищим рівнем перешкод. Діапазон 5 ГГц забезпечує більшу пропускну здатність, стабільніше з'єднання та менший вплив зовнішніх завад, проте має меншу дальність поширення сигналу.

Сучасні стандарти IEEE 802.11 передбачають різні швидкості передавання даних залежно від технології модуляції та ширини каналу. Наприклад, IEEE 802.11n підтримує роботу в обох діапазонах (2,4 та 5 ГГц) і використовує технологію МІМО, яка дозволяє застосовувати кілька антен одночасно для збільшення швидкості та стабільності з'єднання.

Більш нові стандарти, такі як IEEE 802.11ac та IEEE 802.11ax, орієнтовані на високошвидкісну передачу даних, підтримку великої кількості підключених пристроїв та підвищену ефективність використання радіочастотного спектра. Вони

застосовують вдосконалені методи модуляції, багатокористувацький доступ та оптимізоване управління трафіком.

Важливим елементом стандартів IEEE 802.11 є механізми безпеки. Для захисту безпроводових мереж використовуються протоколи WPA, WPA2 та WPA3, які забезпечують шифрування даних, автентифікацію користувачів і захист від несанкціонованого доступу [4], [7].

У контексті побудови безпроводових інфокомунікаційних мереж обладнання MikroTik Groove A-52HPn підтримує роботу на основі стандартів IEEE 802.11 та дозволяє реалізовувати мережі PtP і PtMP з високою стабільністю та гнучкими можливостями налаштування.

1.4. Аналіз обладнання для побудови PtP/PtMP мереж

Для побудови безпроводових інфокомунікаційних мереж типу Point-to-Point (PtP) та Point-to-Multipoint (PtMP) використовується спеціалізоване радіомережеве обладнання, яке забезпечує стабільну передачу даних на різних відстанях, високу пропускну здатність та гнучкість конфігурації. Вибір обладнання є ключовим фактором, що впливає на якість та надійність роботи всієї мережі.

Одним із найпоширеніших рішень для таких задач є обладнання компанії MikroTik, яке відрізняється функціональністю, доступною вартістю та широкими можливостями налаштування через операційну систему RouterOS. Пристрої MikroTik активно застосовуються як у навчальних проєктах, так і в комерційних телекомунікаційних мережах.

У контексті даної дипломної роботи використовується пристрій MikroTik Groove A-52HPn, який є компактною зовнішньою точкою доступу, призначеною для роботи в безпроводових мережах стандарту IEEE 802.11. Пристрій підтримує частотні діапазони 2,4 ГГц та 5 ГГц, що дозволяє гнучко адаптуватися до умов радіоефіру та вимог конкретної мережі.

Для PtP-з'єднань даний пристрій використовується як клієнт або точка доступу в режимі мосту (bridge), забезпечуючи прямий канал зв'язку між двома

вузлами мережі. Основними перевагами є висока стабільність з'єднання, мінімальні затримки та можливість роботи на значних відстанях при правильному налаштуванні антен і прямій видимості.

У PtMP-системах MikroTik Groove A-52HPn може використовуватися як абонентський пристрій або елемент базової інфраструктури. У таких мережах важливими параметрами є підтримка одночасного підключення декількох клієнтів, ефективний розподіл пропускної здатності та стійкість до перевантаження радіоканалу.

Також важливими характеристиками обладнання для PtP/PtMP мереж є потужність передавача, чутливість приймача, тип і коефіцієнт підсилення антени, підтримка технологій захисту (WPA/WPA2), а також можливості управління трафіком (QoS). Від цих параметрів безпосередньо залежить якість сигналу, швидкість передачі даних і стабільність роботи мережі.

Таким чином, аналіз показує, що використання обладнання MikroTik, зокрема MikroTik Groove A-52HPn, є доцільним для побудови PtP та PtMP мереж завдяки його універсальності, надійності та широким функціональним можливостям.

1.5. Характеристики та можливості MikroTik Groove A-52HPn

Безпроводовий пристрій MikroTik Groove A-52HPn (рис.1.2) є компактною зовнішньою точкою доступу, яка широко використовується для побудови інфокомунікаційних мереж типу Point-to-Point (PtP) та Point-to-Multipoint (PtMP). Завдяки поєднанню апаратної продуктивності, гнучкого програмного забезпечення та широких функціональних можливостей, даний пристрій є ефективним рішенням для організації безпроводових каналів зв'язку.



Рис.1.2 Безпроводовий пристрій MikroTik Groove A-52HPn

З технічної точки зору пристрій побудований на базі процесора AR9342 з тактовою частотою 600 МГц та має 64 МБ оперативної пам'яті, що забезпечує стабільну роботу мережевих процесів та обробку трафіку. Вбудована flash-пам'ять використовується для зберігання операційної системи MikroTik RouterOS та конфігураційних файлів. Пристрій оснащений одним Fast Ethernet портом 10/100 Мбіт/с з підтримкою PoE-живлення, що дозволяє подавати живлення та дані по одному кабелю, спрощуючи монтаж і обслуговування.

Однією з ключових характеристик є підтримка двох частотних діапазонів — 2,4 ГГц та 5 ГГц, які можуть перемикатися програмно. Це дозволяє адаптувати пристрій до умов радіоефіру, зменшувати вплив перешкод та підвищувати якість зв'язку. Максимальна потужність передавача досягає 27 dBm, що забезпечує стабільну роботу на значних відстанях при правильному виборі антен і умовах прямої видимості.

Пристрій підтримує стандарти IEEE 802.11 a/b/g/n, що дозволяє інтегрувати його в різні типи безпроводових мереж. Завдяки підтримці технології NV2 TDMA реалізується більш ефективний розподіл пропускної здатності між клієнтами, зменшуються затримки та підвищується загальна продуктивність мережі, особливо у PtMP-системах.

Важливою особливістю є підтримка різних режимів роботи: Access Point, Station, Bridge, що дозволяє використовувати пристрій як у ролі базової станції, так і абонентського обладнання. Це робить його універсальним для побудови як PtP-з'єднань (прямий канал між двома точками), так і PtMP-мереж (підключення декількох клієнтів до однієї базової станції).

Також слід відзначити вбудовані засоби моніторингу та діагностики: індикація рівня сигналу, контроль напруги живлення, температурний моніторинг та можливість програмного аналізу якості каналу зв'язку. Це дозволяє оперативно оцінювати стан мережі та виконувати її оптимізацію.

Завдяки компактному корпусу, стійкості до погодних умов (робочий діапазон температур від -30°C до $+70^{\circ}\text{C}$) та простоті монтажу, пристрій підходить для зовнішнього використання в різних кліматичних умовах [5], [6].

Висновки

У результаті проведеного аналізу технологій та засобів побудови безпроводових інфокомунікаційних мереж встановлено, що сучасні мережі є важливою складовою телекомунікаційної інфраструктури та забезпечують ефективну передачу даних без використання кабельних ліній зв'язку. Їх основними перевагами є гнучкість розгортання, мобільність, економічність та можливість масштабування відповідно до потреб користувачів.

Дослідження принципів роботи мереж Point-to-Point та Point-to-Multipoint показало, що технологія PtP забезпечує високошвидкісний і стабільний зв'язок між двома вузлами мережі, тоді як PtMP дозволяє організувати багатокористувацький доступ через одну базову станцію, що робить її ефективною для побудови розподілених мереж і систем доступу до Інтернету.

Аналіз стандартів IEEE 802.11 підтвердив, що вони є основою сучасних безпроводових мереж, забезпечуючи сумісність обладнання, високу швидкість передачі даних, різні робочі діапазони та надійні механізми захисту інформації. Використання сучасних стандартів дозволяє підвищити ефективність і стабільність роботи мереж.

Розгляд обладнання для побудови PtP/PtMP мереж показав, що пристрої компанії MikroTik є доцільним рішенням завдяки їх функціональності, доступності та широким можливостям налаштування. Зокрема, MikroTik Groove A-52HPn

забезпечує стабільну роботу в різних режимах, підтримує необхідні стандарти зв'язку та дозволяє реалізовувати як точкові, так і багатоточкові з'єднання.

Аналіз характеристик MikroTik Groove A-52HPn підтвердив його придатність для використання у безпроводових інфокомунікаційних мережах завдяки підтримці сучасних технологій, достатній продуктивності, гнучким режимам роботи та можливості експлуатації в складних умовах зовнішнього середовища.

Отже, можна зробити висновок, що використання технологій PtP/PtMP у поєднанні з обладнанням MikroTik дозволяє створювати надійні, масштабовані та ефективні безпроводові інфокомунікаційні мережі, які відповідають сучасним вимогам до якості та швидкості передавання даних.

РОЗДІЛ 2

ПРОЄКТУВАННЯ МАКЕТУ БЕЗПРОВОДОВОЇ МЕРЕЖІ PtP/PtMP

2.1. Постановка задачі та вимоги до мережі

Під час проєктування безпроводової інфокомунікаційної мережі PtP/PtMP необхідно забезпечити стабільну передачу даних між вузлами мережі [10], ефективне використання радіочастотного ресурсу та надійну роботу обладнання в різних режимах функціонування. Для досягнення основної цілі необхідно виконати комплекс технічних і програмних рішень, пов'язаних із вибором структури мережі, параметрів безпроводового каналу та налаштуванням мережевого обладнання.

Одним із головних етапів є вибір оптимальної топології мережі, яка повинна забезпечувати можливість роботи як у режимі Point-to-Point, так і у режимі Point-to-Multipoint. Використання PtP-з'єднання дозволяє організувати високошвидкісний канал передачі даних між двома вузлами мережі з мінімальними затримками та високою стабільністю сигналу. У свою чергу, технологія PtMP забезпечує підключення декількох клієнтських станцій до однієї базової точки доступу, що дозволяє ефективно використовувати обладнання та спрощує побудову мережевої інфраструктури.

Для реалізації мережі необхідно правильно визначити склад обладнання та параметри його роботи. У даному проєкті використовується MikroTik Groove A-52HPn, який підтримує роботу у різних режимах безпроводового зв'язку та забезпечує гнучкі можливості конфігурації через операційну систему RouterOS. Для коректного функціонування мережі необхідно виконати налаштування безпроводових інтерфейсів, параметрів радіоканалу, IP-адресації та режимів роботи пристроїв.

Важливим завданням є вибір робочого частотного діапазону та ширини каналу. Для зменшення впливу радіоперешкод і підвищення стабільності передачі даних доцільно використовувати діапазон 5 ГГц, який характеризується меншою завантаженістю ефіру та більшою кількістю доступних каналів. Разом із цим необхідно правильно обрати ширину каналу, потужність передавача та тип

модуляції, оскільки саме ці параметри впливають на пропускну здатність мережі, рівень сигналу та дальність зв'язку.

Для стабільної роботи безпроводового каналу необхідно враховувати умови поширення радіохвиль. Особливе значення має забезпечення прямої видимості між антенами та очищення першої зони Френеля, оскільки наявність перешкод може спричиняти згасання сигналу, збільшення кількості помилок передачі та погіршення якості зв'язку. Також необхідно провести розрахунок втрат сигналу у вільному просторі, оцінити рівень прийнятого сигналу та співвідношення сигнал/шум для визначення ефективності роботи каналу [8].

Однією з вимог до мережі є забезпечення достатньої пропускну здатності для передачі інформації між вузлами без значних втрат пакетів та перевантаження каналу. У режимі Point-to-Multipoint важливо забезпечити рівномірний розподіл пропускну здатності між клієнтськими пристроями, оскільки всі абонентські станції використовують спільний радіоканал. Для цього необхідно використовувати механізми керування трафіком та оптимізації доступу до середовища передавання даних.

Окрему увагу необхідно приділити захисту мережі від несанкціонованого доступу. Оскільки передача інформації здійснюється через відкритий радіоканал, існує ризик перехоплення даних або підключення сторонніх пристроїв. Для забезпечення інформаційної безпеки необхідно використовувати сучасні методи автентифікації та шифрування, зокрема протокол WPA2-PSK із алгоритмом AES. Додатково необхідно налаштувати фільтрацію MAC-адрес, обмеження доступу до адміністративного інтерфейсу та базові правила Firewall у середовищі RouterOS.

Також важливо забезпечити можливість подальшого масштабування мережі. У разі збільшення кількості користувачів або необхідності підключення нових вузлів структура мережі повинна дозволяти швидке розширення без значної зміни вже існуючої конфігурації. Використання обладнання MikroTik та операційної системи RouterOS забезпечує централізоване керування мережею, моніторинг параметрів каналу зв'язку та гнучке налаштування роботи мережевих пристроїв.

Таким чином, для досягнення ефективної роботи безпроводової мережі PtP/PtMP необхідно забезпечити правильний вибір топології, параметрів радіоканалу, режимів роботи обладнання та засобів захисту інформації. Комплексне виконання цих вимог дозволить реалізувати стабільну, масштабовану та надійну безпроводову інфокомунікаційну мережу на базі обладнання MikroTik.

2.2. Вибір топології мережі

Одним із найважливіших етапів проєктування безпроводової інфокомунікаційної мережі є вибір топології, оскільки саме структура взаємодії між вузлами визначає ефективність функціонування системи, рівень продуктивності, стабільність передачі даних, масштабованість та загальну надійність мережі. Топологія безпосередньо впливає на швидкість обміну інформацією, рівень затримок, кількість можливих підключень, а також на складність адміністрування мережі та витрати на її реалізацію.

Для побудови макету безпроводової мережі у даній роботі було обрано комбіновану топологію, яка поєднує режими Point-to-Point (PtP) та Point-to-Multipoint (PtMP). Таке рішення дозволяє реалізувати як магістральний канал зв'язку між окремими вузлами мережі, так і систему підключення декількох абонентських станцій до однієї базової точки доступу. Використання комбінованої структури забезпечує гнучкість побудови мережі та дозволяє ефективно використовувати ресурси безпроводового каналу.

Технологія Point-to-Point передбачає організацію прямого радіоканалу між двома мережевими пристроями. У даній схемі один вузол функціонує як передавальний пристрій, а інший — як приймальний. Передавання інформації здійснюється через виділений безпроводовий канал, який використовується лише двома пристроями, що значно зменшує вплив сторонніх користувачів та радіоперешкод. Завдяки цьому PtP-з'єднання характеризується високою стабільністю роботи, мінімальними затримками та значною пропускну здатністю.

У сучасних телекомунікаційних системах технологія PtP широко використовується для створення магістральних безпроводових каналів, з'єднання локальних мереж між окремими будівлями, організації доступу до віддалених об'єктів, а також для передачі відеотрафіку у системах ІР-відеоспостереження. Особливо ефективним використання PtP є у випадках, коли прокладання волоконно-оптичних або мідних ліній зв'язку є економічно недоцільним або технічно складним.

Ефективність роботи PtP-каналу значною мірою залежить від умов поширення радіосигналу. Однією з головних вимог є забезпечення прямої видимості між антенами. Наявність перешкод у зоні проходження сигналу, таких як будівлі, дерева або елементи рельєфу місцевості, призводить до погіршення параметрів каналу, збільшення втрат сигналу та виникнення багатопроменевого поширення радіохвиль. Для стабільної роботи безпроводового каналу також необхідно враховувати зону Френеля (2.1), очищення якої дозволяє мінімізувати дифракційні втрати сигналу.

Радіус першої зони Френеля визначається за формулою:

$$F_1 = 17.3 \sqrt{\frac{1}{f} * \frac{d_1 d_2}{D}} \quad (2.1)$$

де:

- F_1 — радіус першої зони Френеля, м;
- d_1 — відстань від точки **перешкоди** до антен, км ;
- d_2 — відстані від пристрою до перешкоди, км ;
- D — загальна довжина каналу, км;
- f — робоча частота сигналу, ГГц.

При проектуванні PtP-з'єднання рекомендується забезпечити очищення не менше 60% першої зони Френеля для збереження стабільного рівня сигналу та мінімізації втрат.

Іншою складовою обраної топології є технологія Point-to-Multipoint, яка використовується для організації зв'язку між однією базовою станцією та

декількома клієнтськими пристроями. У такій мережі центральний вузол функціонує у режимі Access Point та забезпечує передавання даних одночасно для групи абонентських станцій, які працюють у режимі Station. Передавання інформації відбувається через спільний радіоканал, що дозволяє значно спростити структуру мережі та зменшити витрати на обладнання.

Технологія PtMP широко застосовується у мережах безпроводового доступу до Інтернету, корпоративних локальних мережах, системах відеоспостереження, телеметричних системах та мережах операторів зв'язку. Основною перевагою PtMP є можливість централізованого керування [15] мережею та підключення великої кількості клієнтів без необхідності створення окремого фізичного каналу для кожного абонента.

Разом із тим використання PtMP має певні особливості. Оскільки всі клієнтські пристрої використовують спільний радіоканал, ефективність роботи мережі залежить від правильного розподілу пропускної здатності та рівня навантаження на базову станцію. При значній кількості підключених клієнтів можливе збільшення затримок та зниження швидкості передачі даних. Для вирішення цієї проблеми у сучасних безпроводових мережах використовуються механізми QoS та технології TDMA, які дозволяють оптимізувати доступ до середовища передавання.

У даній роботі для реалізації мережі використовується обладнання MikroTik Groove A-52HPn, яке підтримує роботу у режимах PtP та PtMP, а також технологію Nv2 TDMA у середовищі RouterOS. Використання Nv2 дозволяє зменшити кількість колізій у радіоканалі, підвищити ефективність використання спектра та забезпечити стабільнішу роботу мережі при великій кількості клієнтських пристроїв.

При виборі топології також враховувалися параметри масштабованості мережі. Комбінована структура PtP/PtMP дозволяє у майбутньому розширювати мережу шляхом підключення нових абонентських вузлів без суттєвої зміни вже

існуючої інфраструктури. Це особливо важливо для сучасних безпроводових систем, де кількість користувачів та обсяг трафіку можуть постійно збільшуватися.

Таким чином, проведений аналіз показує, що використання комбінованої топології PtP/PtMP є доцільним рішенням для побудови безпроводової інфокомунікаційної мережі. Поєднання прямих магістральних каналів Point-to-Point із багатоточковою структурою Point-to-Multipoint дозволяє забезпечити високу ефективність передачі даних, стабільність роботи мережі, гнучкість конфігурації та можливість подальшого масштабування системи відповідно до потреб користувачів [9].

2.4. Вибір параметрів та режимів роботи обладнання

Для забезпечення стабільної роботи мережі необхідно правильно обрати параметри функціонування обладнання.

Основними параметрами є:

- робочий діапазон;
- ширина каналу;
- режим роботи;
- тип модуляції;
- потужність передавача;
- тип шифрування.

Для роботи мережі обрано діапазон 5 ГГц, оскільки він характеризується:

- меншою кількістю радіоперешкод;
- більшою кількістю доступних каналів;
- стабільнішою передачею даних.

Робоча частота:

$$f = 5 \text{ ГГц}$$

Ширина каналу:

$$B = 20 \text{ МГц}$$

Використання каналу 20 МГц дозволяє:

- зменшити вплив сусідніх каналів;
- покращити співвідношення сигнал/шум;
- забезпечити стабільнішу роботу.

Для базової станції використовується режим:

- AP Bridge.

Для клієнтських пристроїв:

- Station Bridge.

Потужність передавача:

$$P(t) = 25 \text{ dBm}$$

Шифрування:

- WPA2-PSK AES.

Такий тип захисту забезпечує:

- конфіденційність даних;
- захист від несанкціонованого доступу;
- безпечний обмін інформацією.

Висновки

У другому розділі було виконано проектування макету безпроводової інфокомунікаційної мережі на базі обладнання MikroTik Groove A-52HPn та визначено основні вимоги до її функціонування. Проведено аналіз особливостей технологій Point-to-Point і Point-to-Multipoint, на основі якого обґрунтовано вибір комбінованої топології PtP/PtMP для побудови мережі.

У ході проектування розглянуто основні фактори, що впливають на якість бездротового зв'язку, зокрема умови поширення радіохвиль, необхідність забезпечення прямої видимості та врахування зони Френеля. Також виконано вибір основних параметрів роботи обладнання, серед яких діапазон 5 ГГц, ширина каналу 20 МГц, режими AP Bridge і Station Bridge та механізм захисту WPA2-PSK.

Таким чином, у результаті проектування було сформовано технічну основу для подальшого налаштування обладнання та проведення експериментальних досліджень роботи мережі в режимах PtP та PtMP.

РОЗДІЛ 3

НАЛАШТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ БЕЗДРОТОВОЇ МЕРЕЖІ НА БАЗІ ОБЛАДНАННЯ MIKROTIK GROOVE A-52HPN

3.1. Підключення обладнання

Для підключення обладнання використовується сам пристрій MikroTik Groove A-52HPn, PoE-інжектор, блок живлення, мережеві кабелі Ethernet та ноутбук (Рис. 3.1)



Рис. 3.1 Комплект обладнання для побудови бездротової мережі на базі MikroTik Groove A-52HPn

Спочатку пристрій підключається до PoE-інжектора за допомогою мережевого кабелю. Порт PoE інжектора з'єднується з Ethernet-портом MikroTik Groove A-52HPn (Рис. 3.2), а порт LAN інжектора підключається до мережевої карти ноутбука. Після цього до інжектора підключається блок живлення, який забезпечує подачу електроживлення до пристрою через Ethernet-кабель. Після подачі живлення пристрій автоматично завантажується та стає доступним для налаштування [6].

Перед початком роботи рекомендується виконати скидання конфігурації до заводських налаштувань. Це дозволяє видалити всі попередні налаштування та уникнути можливих конфліктів під час подальшої конфігурації. Для цього

необхідно відключити живлення пристрою, натиснути та утримувати кнопку Reset (Рис. 3.2), після чого знову подати живлення. Через декілька секунд, коли індикатор почне сигналізувати про процес скидання, кнопку можна відпустити. Після перезавантаження пристрій буде працювати з параметрами за замовчуванням.



Рис. 3.2 Розташування Ethernet-порту та кнопки скидання налаштувань (Reset) на пристрої MikroTik Groove A-52HPn

3.2. Налаштування обладнання MikroTik Groove A-52HPn в режимі bridge

З офіційного сайту MikroTik [17] завантажуюмо програмне забезпечення WinBox (рис. 3.3).



Рис. 3.3 Сторінка завантаження утиліти WinBox з офіційного вебсайту MikroTik.

WinBox, яка використовується для керування пристроями MikroTik. Після

запуску програми у вкладці Neighbors (Рис. 3.4) автоматично відображається список доступних мережевих пристроїв MikroTik, виявлених у локальній мережі. Із цього списку необхідно вибрати пристрій MikroTik Groove A-52HPn та виконати підключення за його MAC-адресою або IP-адресою.

У випадку, якщо пристрій не отримав мережеві параметри автоматично або не відображається у списку доступних вузлів, на мережевому адаптері ноутбука необхідно вручну встановити IP-адресу 192.168.88.2 та маску підмережі 255.255.255.0. Після цього підключення до пристрою здійснюється за стандартною IP-адресою 192.168.88.1, що дозволяє отримати доступ до його налаштувань та розпочати подальшу конфігурацію.

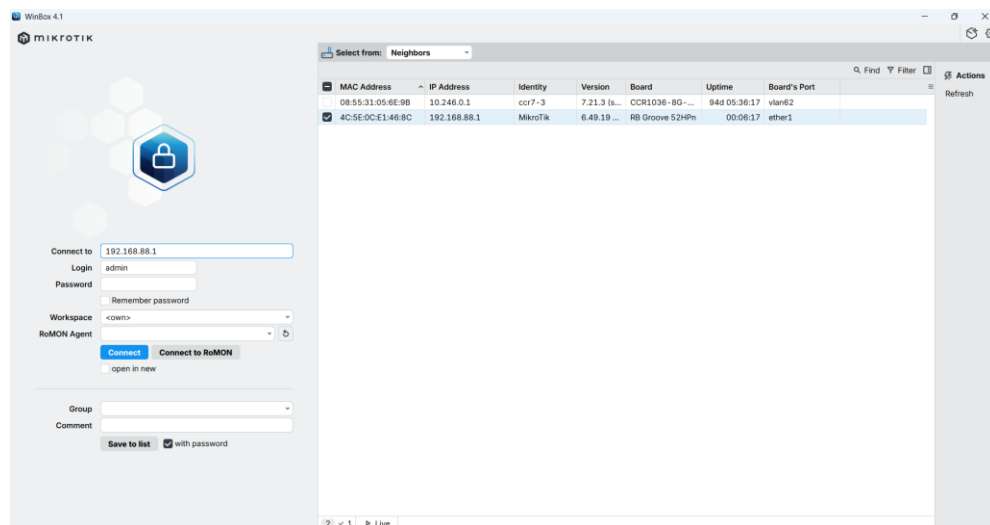
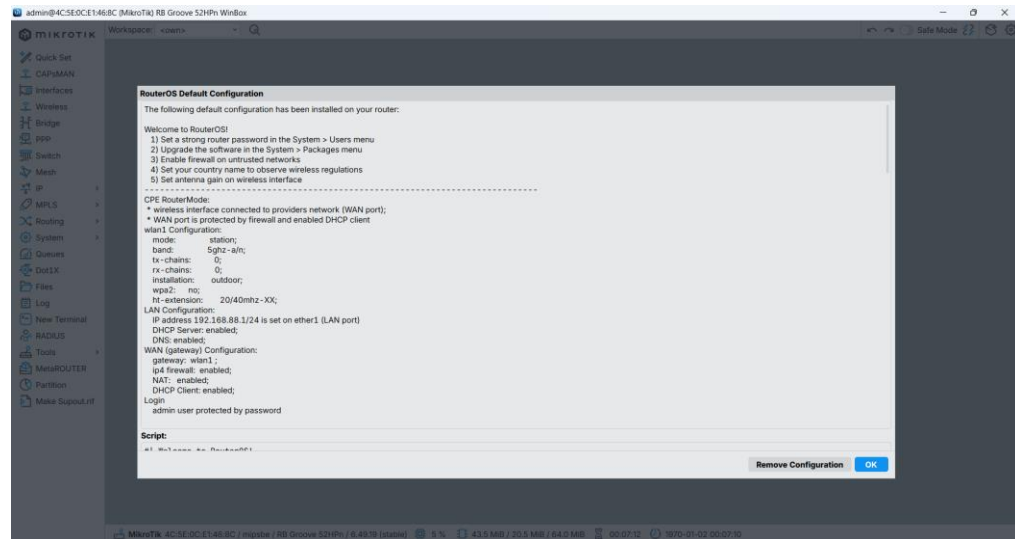


Рис. 3.4 Вікно WinBox із відображенням MikroTik Groove A-52HPn у списку сусідніх пристроїв (Neighbors)

На рисунку 3.5 показано вікно RouterOS Default Configuration, яке з'являється після підключення до пристрою MikroTik Groove A-52HPn через програму WinBox. У цьому вікні відображаються параметри стандартної конфігурації, встановленої виробником, зокрема режим роботи бездротового інтерфейсу, IP-адреса локальної мережі (192.168.88.1/24), налаштування DHCP-сервера, DNS, NAT та міжмережевого екрану. Для подальшого налаштування мережі PnP/PtMP заводська

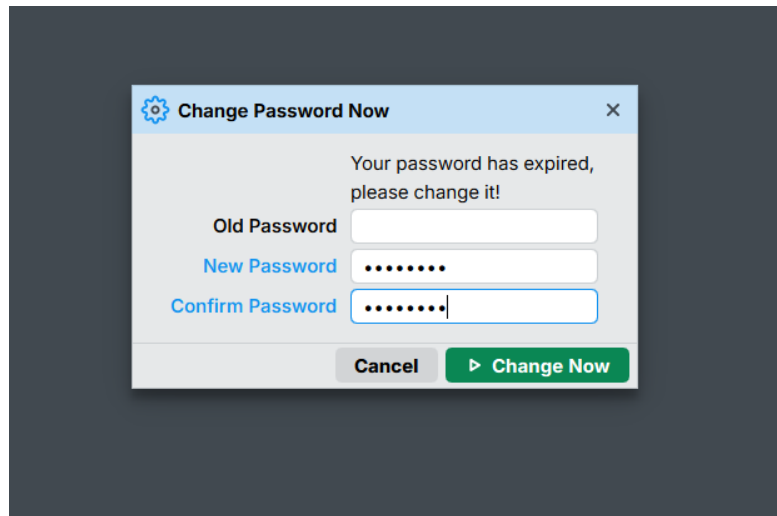
конфігурація може бути залишена без змін або видалена за допомогою кнопки Remove Configuration для створення власних параметрів мережі.



3.5 Вікно RouterOS Default Configuration після першого підключення до MikroTik Groove A-52HPn

На рисунку 3.6 показано діалогове вікно Change Password Now, яке автоматично з'являється після першого входу до пристрою MikroTik із заводськими налаштуваннями. У цьому вікні користувачеві пропонується встановити новий пароль для облікового запису адміністратора з метою підвищення безпеки доступу до пристрою.

Для зміни пароля необхідно ввести новий пароль у поле New Password та повторити його в полі Confirm Password. Після натискання кнопки Change Now пароль буде збережено. Якщо новий пароль не буде встановлено або користувач закриє вікно без підтвердження змін, під час



3.6 Вікно зміни пароля адміністратора в RouterOS

Для створення нового мосту необхідно відкрити меню Bridge (рис.3.7) та натиснути кнопку New. У вікні, що відкриється, задається назва мосту, після чого налаштування зберігаються натисканням кнопки ОК. Створений міст використовується для об'єднання декількох мережевих інтерфейсів в один логічний сегмент мережі, що забезпечує прозоре передавання даних між підключеними інтерфейсами. Після створення мосту до нього можуть бути додані дротові та бездротові інтерфейси, які братимуть участь у роботі мережі PtP/PtMP.

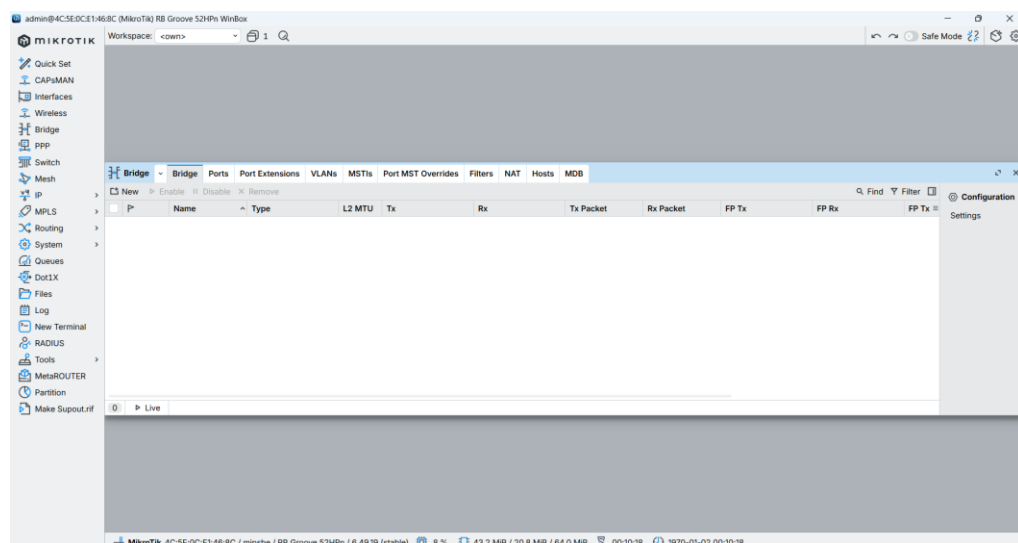


Рис.3.7 Вікно меню Bridge для налаштування мережевих мостів

Після натискання кнопки **New** було відкрито вікно створення нового мосту (Рис. 3.8). У полі **Name** задано назву мосту «**bridge1**», яка буде використовуватися для подальшої ідентифікації інтерфейсу в системі. Тип інтерфейсу автоматично встановлено як **Bridge**. Інші параметри залишено за замовчуванням, оскільки вони відповідають вимогам проєктованої мережі. Після завершення налаштування створення мосту підтверджується натисканням кнопки **Apply**, а потім **OK**.

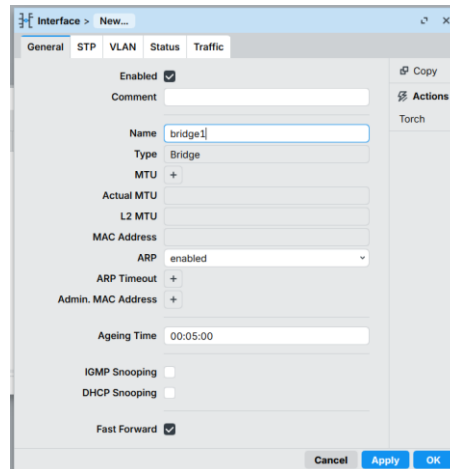


Рисунок 3.8 Налаштування параметрів мосту bridge1

Після створення мосту необхідно переконатися, що він успішно доданий до системи. Для цього виконується перевірка наявності мосту **bridge1** у списку мостів (рис. 3.9).

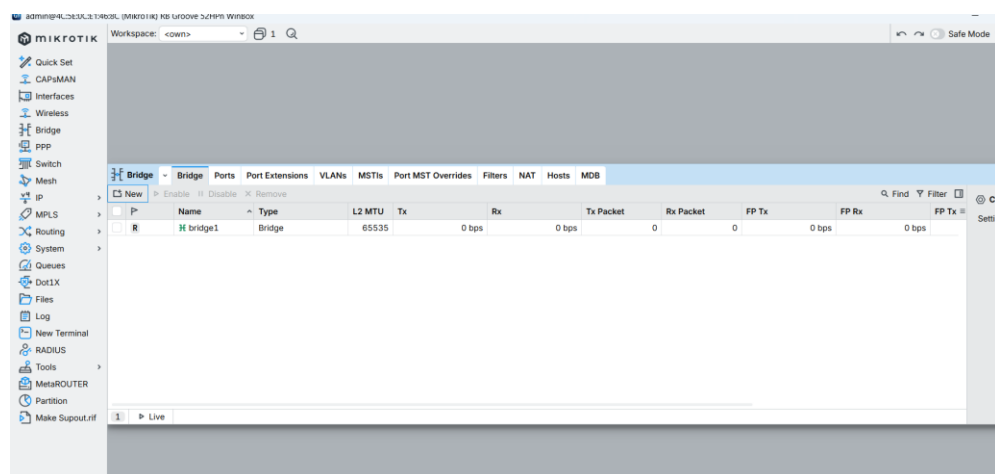
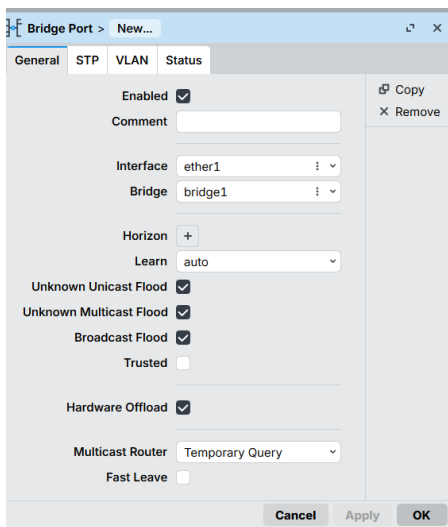
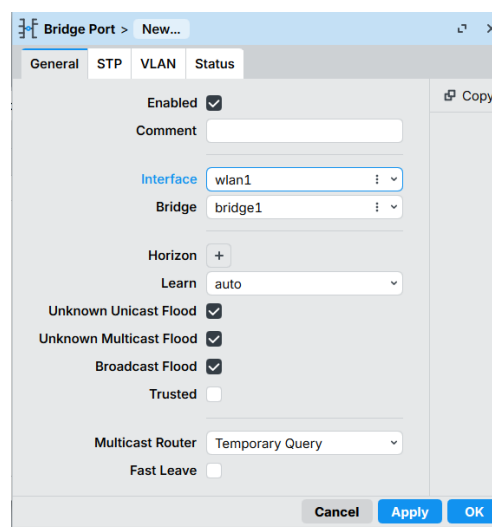


Рис.3.9 Відображення створеного мосту bridge1 у меню Bridge

Після підтвердження його створення до мосту послідовно додаються мережеві інтерфейси, які братимуть участь у передаванні даних. Спочатку у вкладці Ports створюється запис для дротового інтерфейсу ether1 (рис. 3.10; а), після чого аналогічним способом додається бездротовий інтерфейс wlan1 (рис. 3.10; б). Для кожного запису в полі Bridge вказується міст bridge1. Після додавання обидва інтерфейси стають частиною одного логічного сегмента мережі та можуть здійснювати обмін даними через створений міст. Така конфігурація забезпечує об'єднання дротового та бездротового інтерфейсів в єдину мережеву структуру, необхідну для функціонування безпроводової мережі в режимах PtP та PtMP.



а).



б).

Рис.3.10 Додавання інтерфейсу до мосту bridge1: а). ether1; б) wlan1

Після створення мосту та додавання до нього інтерфейсів виконується налаштування параметрів безпеки бездротової мережі. Для цього у меню Wireless створюється новий профіль безпеки (рис. 3.11). У полі Name задається назва профілю, після чого в полі Mode обирається режим Dynamic Keys, який забезпечує використання динамічних ключів шифрування. Як метод автентифікації встановлюється WPA2 PSK, що забезпечує надійний захист мережі від несанкціонованого доступу. Далі у полі WPA2 Pre-Shared Key задається пароль

доступу до бездротової мережі. Після збереження налаштувань створений профіль безпеки може бути застосований до бездротового інтерфейсу для захисту мережевого з'єднання.

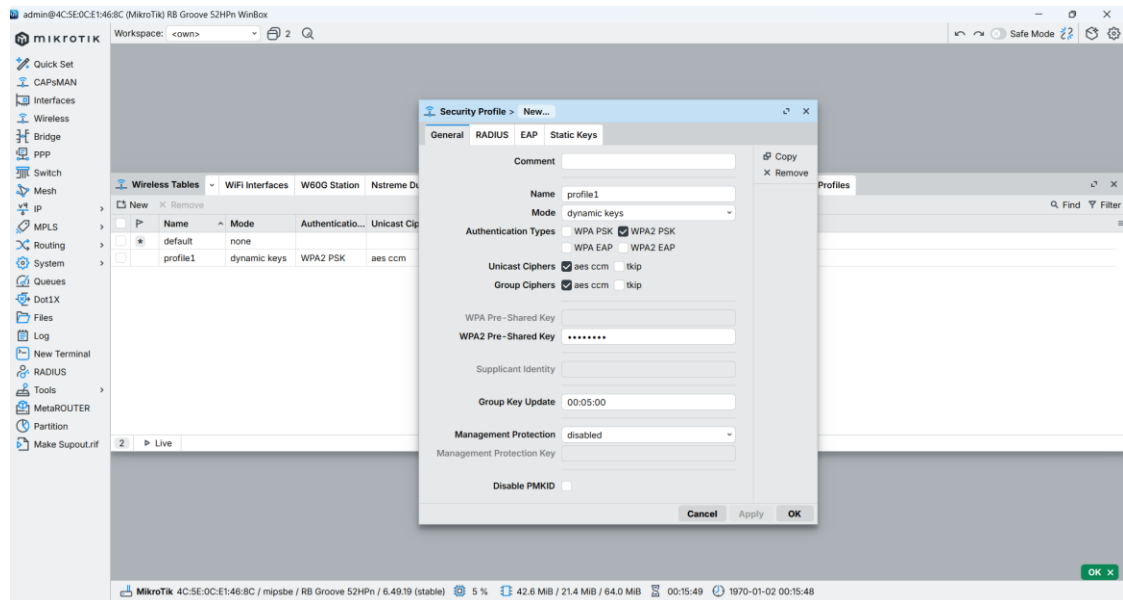


Рис. 3.11 Налаштування параметрів захисту бездротової мережі за допомогою WPA2 PSK.

Після налаштування параметрів бездротової мережі виконується аналіз радіоефіру в діапазоні 5 ГГц. За допомогою інструмента Frequency Usage (рис. 3.12) перевіряється завантаженість частотних каналів, рівень шумів та наявність завад у кожному каналі. Отримані дані дозволяють визначити найменш завантажені частоти та обрати оптимальний канал для роботи бездротової мережі, що сприяє підвищенню якості та стабільності з'єднання.

Наступним етапом є використання інструмента Wireless Snooter (рис. 3.13), який виконує пошук і моніторинг активних бездротових мереж у вибраному діапазоні. Під час сканування відображаються доступні точки доступу, їхні SSID, робочі канали, рівень сигналу та інші параметри. Аналіз цих даних дає змогу оцінити завантаженість радіоефіру, виявити можливі джерела інтерференції та вибрати найбільш придатні параметри для подальшого налаштування мережі.

оптимальні налаштування для побудови бездротової мережі PtP/PtMP.

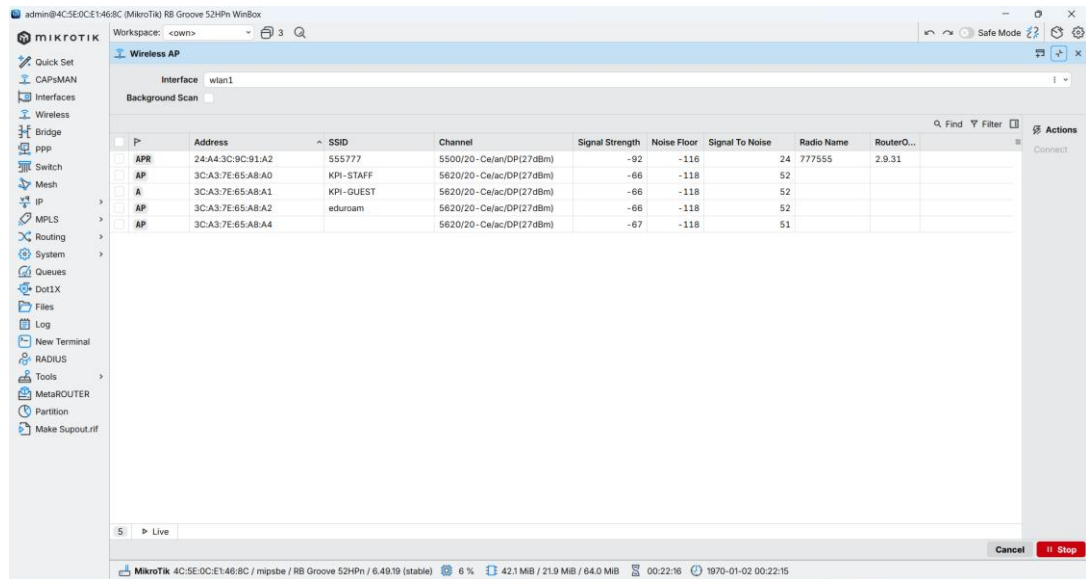


Рис. 3.14 Сканування доступних точок доступу в діапазоні 5 ГГц

Після аналізу радіоефіру та вибору необхідних параметрів виконується налаштування бездротового інтерфейсу wlan1. У полі Mode обирається режим ar bridge, який дозволяє пристрою працювати як точка доступу та обслуговувати підключення клієнтських пристроїв. Далі встановлюється робочий діапазон 5 GHz-A/N, а також ширина каналу 20/40 MHz XX, що забезпечує ефективне використання доступного частотного ресурсу. У полі SSID задається назва бездротової мережі, за якою її буде ідентифіковано під час пошуку та підключення клієнтських пристроїв.

Для забезпечення захисту мережі у полі Security Profile (рис. 3.15) обирається раніше створений профіль безпеки profile1, який містить параметри автентифікації та пароль доступу. Також задається країна експлуатації обладнання (Ukraine) та відповідний регуляторний домен, що забезпечує використання дозволених частот і потужностей передавання відповідно до чинних вимог. Після внесення всіх необхідних параметрів налаштування зберігаються натисканням кнопок Apply та OK. Завершальним етапом є активація бездротового інтерфейсу за допомогою кнопки Enable, після чого інтерфейс переходить у робочий стан і починає

передавання бездротового сигналу відповідно до заданих параметрів.

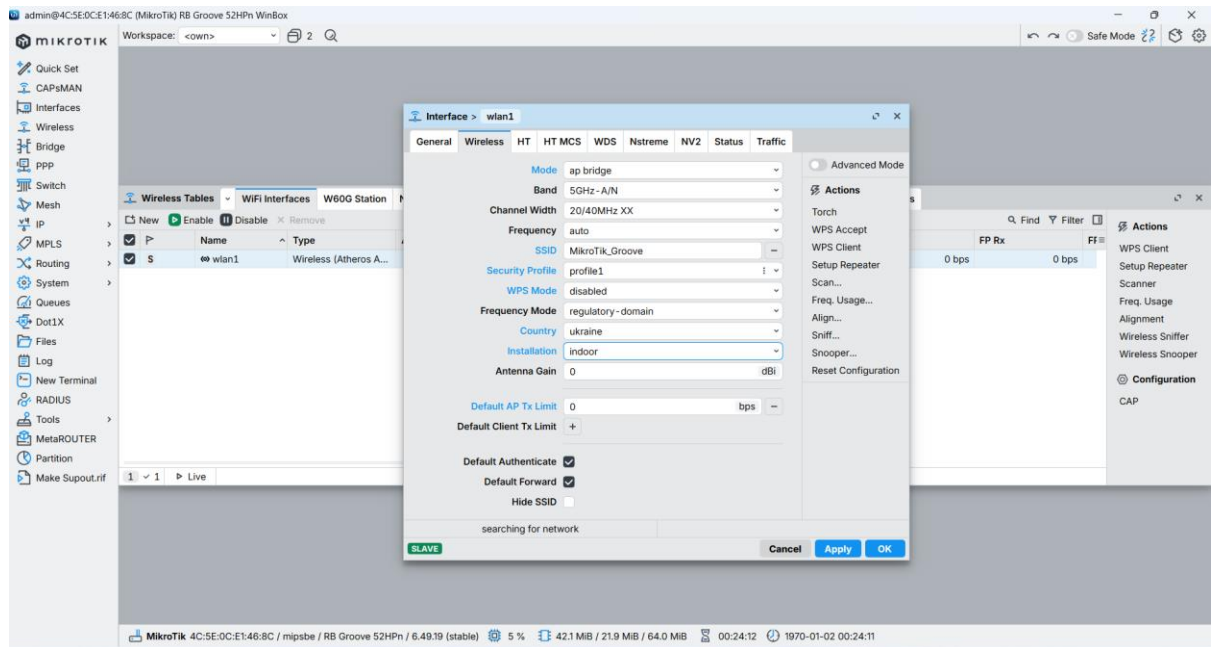


Рис.3.15 Конфігурація точки доступу на базі інтерфейсу wlan1.

Після завершення налаштування пристрою MikroTik Groove A-52HPn у програмі WinBox адаптер PoE від'єднується від персонального комп'ютера та підключається до LAN-порту маршрутизатора. Після виконання такого підключення пристрій MikroTik починає працювати як бездротова точка доступу, забезпечуючи передачу даних між бездротовими клієнтами та локальною мережею.

У даному макеті маршрутизатор TP-Link Archer C54 [13] використовується як центральний мережевий пристрій, що виконує функції маршрутизації трафіку, доступу до мережі Інтернет та автоматичної видачі IP-адрес за допомогою DHCP-сервера. Використання цього маршрутизатора дозволяє спростити налаштування мережі та забезпечити коректну роботу підключених пристроїв без необхідності додаткового налаштування DHCP-сервера на обладнанні MikroTik. У свою чергу, MikroTik Groove A-52HPn використовується для створення та обслуговування бездротової мережі, забезпечуючи підключення клієнтських пристроїв. Такий розподіл функцій дає змогу зосередити завдання маршрутизації на TP-Link Archer

C54, а MikroTik використовувати для реалізації бездротового сегмента мережі PtP/PtMP та розширення зони покриття.

У ході виконання підрозділу було здійснено налаштування обладнання MikroTik Groove A-52HPn у режимі bridge. Для цього виконано початкове підключення до пристрою через програму WinBox, видалено стандартну конфігурацію, створено міст bridge1 та додано до нього дротовий і бездротовий інтерфейси. Також було налаштовано профіль безпеки бездротової мережі із застосуванням протоколу WPA2-PSK, проведено аналіз радіоефіру для вибору оптимальних параметрів роботи та виконано конфігурацію бездротового інтерфейсу в режимі точки доступу.

Після завершення налаштування пристрій було інтегровано до локальної мережі через маршрутизатор, який забезпечує функції маршрутизації та автоматичної видачі IP-адрес. У результаті проведених налаштувань сформовано працездатний макет бездротової мережі, який може використовуватися для організації з'єднань у режимах PtP та PtMP, а також для подальших досліджень і тестування бездротових інфокомунікаційних технологій на базі обладнання MikroTik [5].

3.3. Налаштування та дослідження бездротової мережі в режимі PtMP

Після завершення налаштування точки доступу та перевірки її працездатності виконується підключення абонентських пристроїв до створеної бездротової мережі в режимі Point-to-Multipoint (PtMP). Для цього на персональних комп'ютерах або ноутбуках здійснюється пошук доступних бездротових мереж, після чого обирається мережа з ідентифікатором (SSID), заданим під час налаштування обладнання MikroTik Groove A-52HPn. Для отримання доступу до мережі користувач вводить пароль, встановлений у профілі безпеки бездротового інтерфейсу. Після успішної автентифікації (рис.3.16) пристрої отримують мережеві параметри та можуть здійснювати обмін даними через бездротову мережу [11].

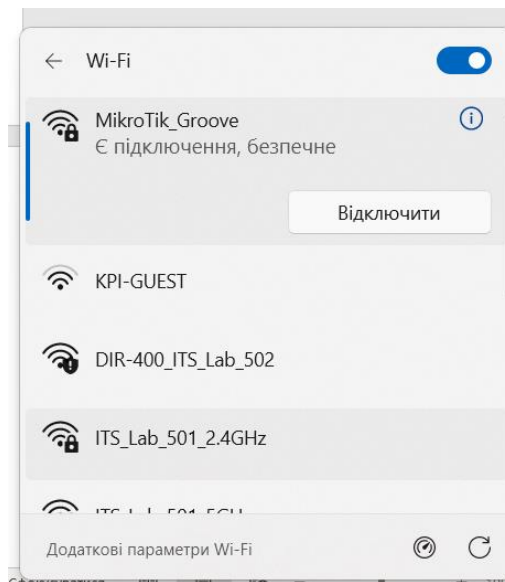


Рис. 3.16 Автентифікація пристрою

Для перевірки коректності мережевих налаштувань використовується вікно стану бездротового підключення операційної системи Windows. У властивостях мережевого з'єднання переглядаються параметри, отримані від DHCP-сервера маршрутизатора, зокрема IP-адреса пристрою, маска підмережі, адреса шлюзу за замовчуванням та адреса DNS-сервера. Крім того, у вікні стану підключення відображаються швидкість з'єднання, рівень сигналу та тривалість активного сеансу зв'язку. Аналіз отриманих даних дозволяє переконатися в успішному підключенні клієнтського пристрою до бездротової мережі та коректному отриманні мережевих параметрів.

Аналогічну інформацію можна отримати за допомогою командного рядка операційної системи Windows, використовуючи команду **ipconfig**. Виконання цієї команди дозволяє переглянути призначену пристрою IP-адресу, маску підмережі, адресу шлюзу та інші параметри мережевого підключення, що дає можливість додатково перевірити правильність налаштування мережі.

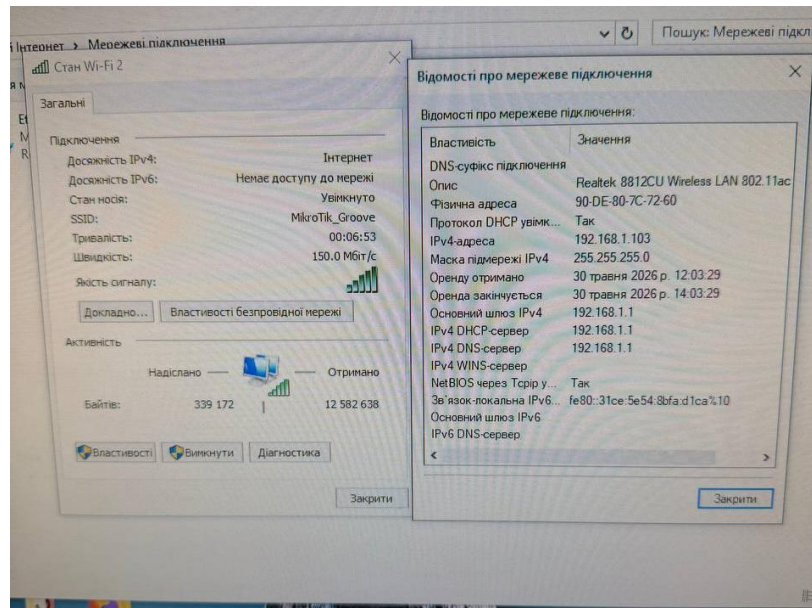


Рис. 3.17 Параметри мережевого підключення комп'ютера №1

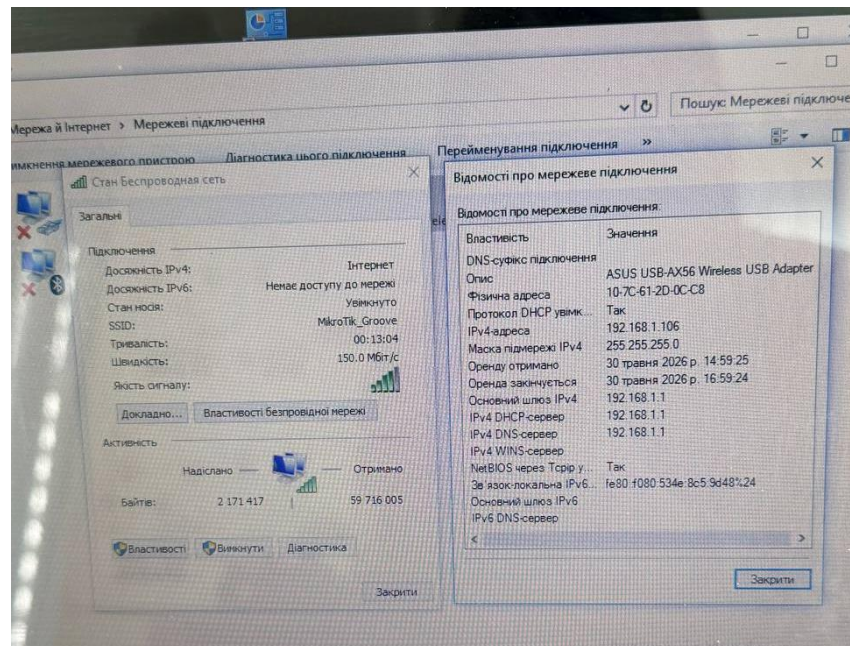


Рис. 3.18 Параметри мережевого підключення комп'ютера №2

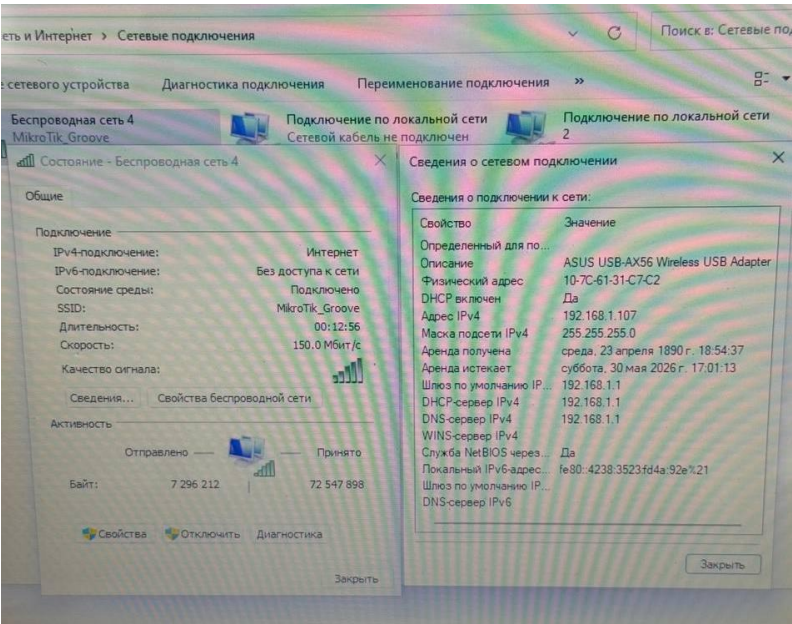


Рис. 3.19 Параметры сетевого подключения компьютера №3

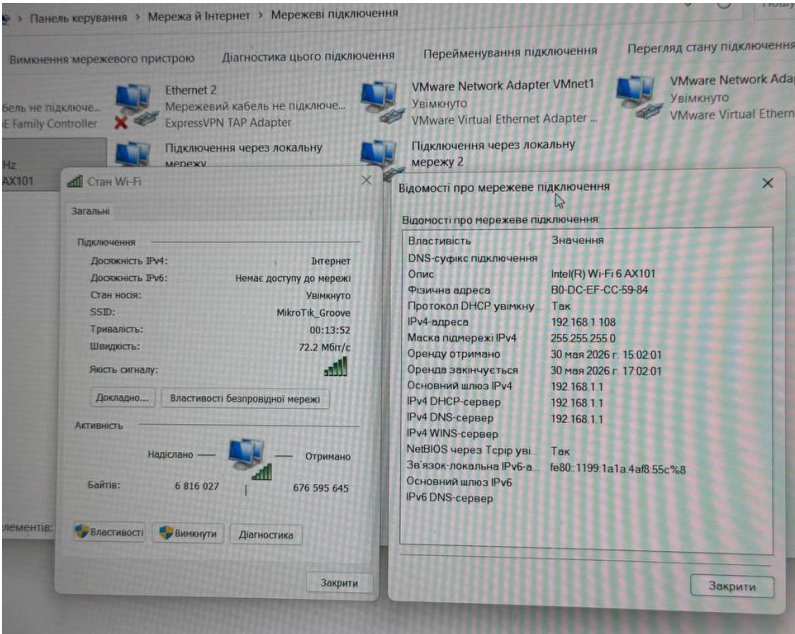


Рис. 3.20 Параметры сетевого подключения компьютера №4

```
C:\WINDOWS\system32\cmd. X + v
Ethernet adapter Ethernet:

    Media State . . . . . : Media disconnected
    Connection-specific DNS Suffix . :

Unknown adapter OpenVPN Connect DCO Adapter:

    Media State . . . . . : Media disconnected
    Connection-specific DNS Suffix . :

Wireless LAN adapter Підключення через локальну мережу* 1:

    Media State . . . . . : Media disconnected
    Connection-specific DNS Suffix . :

Wireless LAN adapter Підключення через локальну мережу* 2:

    Media State . . . . . : Media disconnected
    Connection-specific DNS Suffix . :

Wireless LAN adapter Wi-Fi:

    Connection-specific DNS Suffix . :
    Link-local IPv6 Address . . . . . : fe80::2f69:2183:6ef8:9abb%17
    IPv4 Address. . . . . : 192.168.1.104
    Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
    Default Gateway . . . . . : 192.168.1.1

C:\Users\vikys>
```

Рис. 3.21 Параметри мережевого підключення комп’ютера №5

За результатами підключення абонентських пристроїв (рис. 3.17-3.21) до бездротової мережі було сформовано таблицю (табл.1), в якій наведено основні параметри мережевого підключення для кожного клієнтського комп’ютера. До таблиці занесено отримані IP-адреси, маски підмережі, адреси шлюзу за замовчуванням, а також швидкість з’єднання з точкою доступу MikroTik Groove A-52HPn. Аналіз отриманих даних підтверджує коректну роботу DHCP-сервера маршрутизатора та успішне підключення всіх клієнтських пристроїв до бездротової мережі. Крім того, наведені значення швидкості з’єднання дозволяють оцінити якість радіоканалу та умови прийому сигналу для кожного абонентського пристрою.

Таблиця. 3.1

Параметри мережевого підключення абонентських пристроїв у мережі PtMP

№ комп’ютера	IP-адреса	Маска підмережі	Шлюз за замовчуванням	Швидкість з’єднання, Мбіт/с
1	192.168.1.103	255.255.255.0	192.168.1.1	150
2	192.168.1.106	255.255.255.0	192.168.1.1	150
3	192.168.1.107	255.255.255.0	192.168.1.1	150
4	192.168.1.108	255.255.255.0	192.168.1.1	72.2
5	192.168.1.104	255.255.255.0	192.168.1.1	72.2

Аналіз отриманих результатів показав, що всі абонентські комп'ютери успішно підключені до єдиної бездротової мережі, створеної на базі точки доступу MikroTik Groove A-52HPn. Це підтверджується належністю всіх отриманих IP-адрес до підмережі 192.168.1.0/24, однаковими значеннями маски підмережі та використанням спільного шлюзу за замовчуванням. Призначення мережевих параметрів клієнтським пристроям здійснюється маршрутизатором TP-Link Archer C54 за допомогою вбудованого DHCP-сервера.

На основі виконаних налаштувань та отриманих результатів було розроблено структурну схему мережі в режимі Point-to-Multipoint (Схема 1), яка відображає взаємодію між мережею Інтернет, маршрутизатором TP-Link Archer C54, точкою доступу MikroTik Groove A-52HPn та підключеними абонентськими пристроями. Розроблена схема наочно демонструє принцип функціонування створеної бездротової мережі та підтверджує коректну роботу всіх її елементів. Отримані результати свідчать про працездатність реалізованого макета мережі PtMP та можливість його використання для забезпечення доступу декількох абонентів до мережевих ресурсів через одну точку доступу.

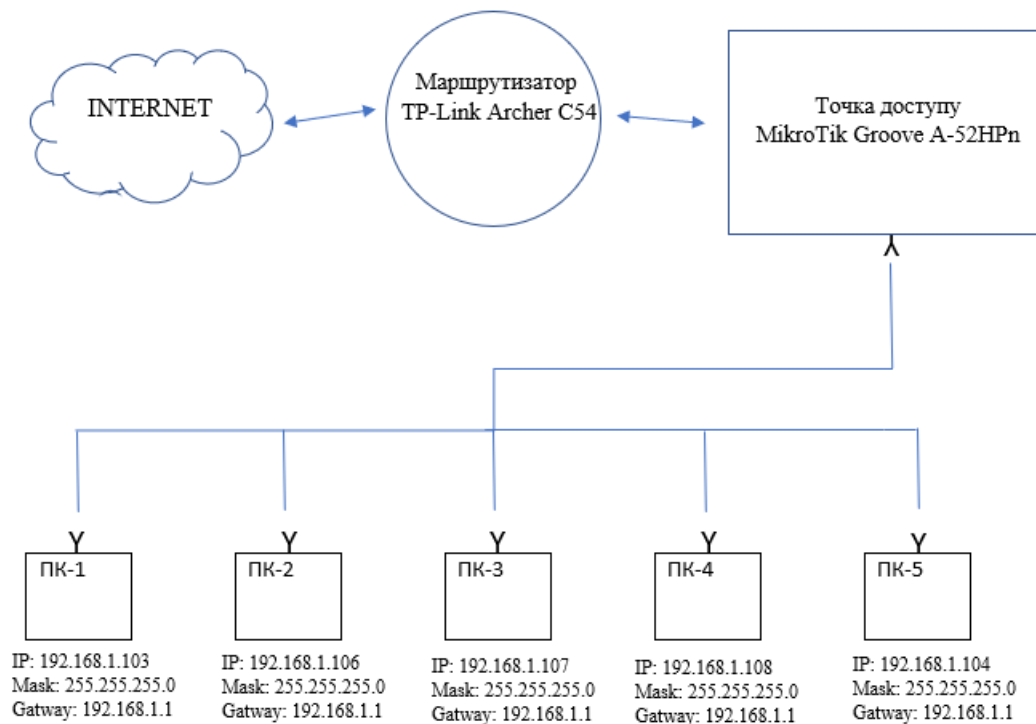


Схема 1. Схема організації бездротової мережі в режимі Point-to-Multipoint (PtMP)

Для контролю роботи створеної мережі використовується вебінтерфейс маршрутизатора, у якому відкривається розділ «Карта мережі» (Рис.3.22). У цьому розділі відображається перелік усіх клієнтських пристроїв, що підключені до локальної мережі та отримали мережеві параметри від DHCP-сервера. Для кожного пристрою доступна інформація про його ім'я, MAC-адресу, призначену IP-адресу, тривалість з'єднання та поточну швидкість обміну даними.

Отримані дані підтверджують успішне підключення абонентських комп'ютерів до бездротової мережі, створеної на базі MikroTik Groove A-52HPn. Наявність усіх клієнтів у списку підключених пристроїв свідчить про коректну роботу точки доступу, а також про правильне функціонування DHCP-сервера маршрутизатора, який забезпечує автоматичне призначення мережевих параметрів.

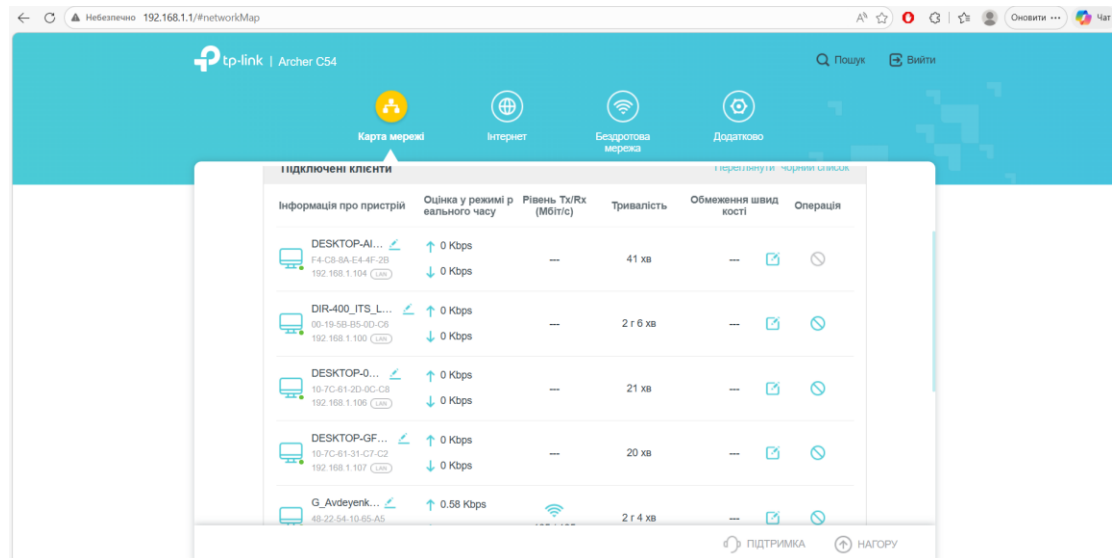


Рис.3.22 Список підключених пристроїв у вебінтерфейсі TP-Link Archer C54

Для оцінювання пропускної здатності створеної бездротової мережі було проведено тестування швидкості передавання даних за допомогою утиліти iPerf3. Вимірювання виконувалося між клієнтським комп'ютером та сервером speedtest.bcm.net.ua у двох напрямках: від клієнтського пристрою до сервера (Upload) та від сервера до клієнтського пристрою (Download). Такий підхід дозволяє визначити фактичну швидкість обміну даними та оцінити якість функціонування бездротового каналу зв'язку.

Під час тестування реєструвалися значення обсягу переданих даних та середньої швидкості передавання протягом визначеного інтервалу часу. Отримані результати використовуються для подальшого аналізу продуктивності мережі та порівняння швидкісних характеристик різних абонентських пристроїв, підключених до точки доступу MikroTik Groove A-52HPn.

3.4. Вимірювання швидкісних характеристик абонентських пристроїв у мережі PtMP

Після підтвердження коректного підключення абонентських пристроїв до бездротової мережі виконується дослідження її швидкісних характеристик. Для

цього за допомогою утиліти iPerf3 [12] проводиться вимірювання швидкості передавання даних між вузлами створеної мережі. На першому етапі виконується тестування пропускної здатності каналу між кожним абонентським комп'ютером (ПК1–ПК4) та віддаленим сервером speedtest.bcm.net.ua. Вимірювання здійснюються у двох напрямках: від клієнтського пристрою до сервера (Upload) та від сервера до клієнтського пристрою (Download).

На другому етапі проводиться дослідження швидкості обміну даними всередині локальної мережі. Для цього виконується вимірювання пропускної здатності між сервером локальної мережі (ПК-5) та абонентськими комп'ютерами (ПК-1–ПК-4). Аналогічно тестування проводиться у двох напрямках: від абонентського комп'ютера до ПК-5 та від ПК-5 до відповідного абонентського комп'ютера.

Експериментальні дослідження проводилися в навчальному кабінеті розміром 6×12 м. Точка доступу MikroTik Groove A-52HPn була встановлена в одному з кінців приміщення, а абонентські пристрої розміщувалися на різних відстанях від неї. Відстань від точки доступу до ПК-1 становила 3,3 м, до ПК-2 – 6,5 м, до ПК-3 – 9,5 м, до ПК-4 – 12 м, а до ПК-5 – 3,7 м. Схему розміщення обладнання та абонентських пристроїв у приміщенні наведено на рис. 3.23.

Відомо, що одним із факторів, які впливають на якість бездротового зв'язку, є відстань між передавачем і приймачем. Зі збільшенням відстані від точки доступу рівень прийнятого сигналу поступово зменшується, що може призводити до зниження швидкості передавання даних, збільшення затримок та появи додаткових втрат пакетів. Тому розміщення абонентських пристроїв на різних відстанях дозволяє оцінити вплив цього фактора на пропускну здатність та стабільність функціонування мережі.

Отримані результати дозволяють оцінити якість бездротового з'єднання як під час доступу до зовнішніх мережевих ресурсів, так і під час обміну даними в межах локальної мережі. На основі проведених вимірювань визначаються фактичні швидкісні характеристики мережі, стабільність роботи бездротового каналу та

ефективність функціонування мережі в режимі Point-to-Multipoint (PtMP). Детальні результати всіх проведених вимірювань для кожного абонентського комп'ютера наведено в Додатку 1

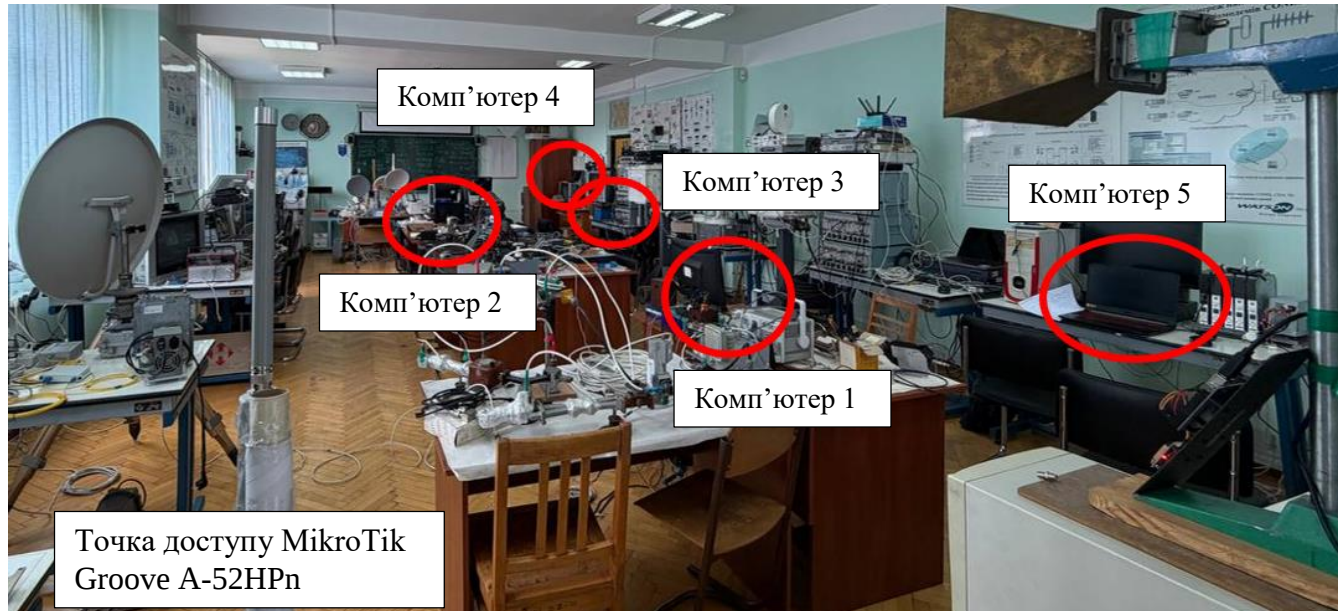


Рис. 3.23 Схема розміщення обладнання та абонентських пристроїв у приміщенні.

Таблиця 3.2

Результати вимірювання швидкості передавання даних між абонентськими комп'ютерами та сервером

№ комп'ютера	Середня швидкість від комп'ютера до сервера, Мбіт/с	Середня швидкість від сервера до комп'ютера, Мбіт/с	Відстань до обладнання, м
1.	50.5	50.3	3,3
2.	53.3	49.7	6,5
3.	10.3	49.3	9,5
4.	13.6	38.3	12
5.	37.0	37.6	3,7

За результатами вимірювань, наведеними в табл. 2, можна зробити висновок, що відстань між абонентським пристроєм та точкою доступу MikroTik Groove A-

52HPn впливає на швидкісні характеристики бездротового каналу зв'язку. Загалом зі збільшенням відстані спостерігається тенденція до зменшення швидкості передавання даних, що пояснюється ослабленням рівня прийнятого сигналу та збільшенням впливу зовнішніх завад.

Найкращі результати були отримані для ПК-1 та ПК-2, які розташовувалися на відстані 3,3 м та 6,5 м відповідно від точки доступу. Для цих пристроїв зафіксовано найвищі значення пропускної здатності як у напрямку від комп'ютера до сервера, так і у зворотному напрямку.

Водночас для ПК-3, розташованого на відстані 9,5 м від точки доступу, було зафіксовано суттєве зниження швидкості передавання даних у напрямку від комп'ютера до сервера. Такий результат пояснюється не лише більшою відстанню до обладнання, а й наявністю перешкод між абонентським пристроєм та точкою доступу. Під час проведення експерименту поблизу ПК-3 знаходилися сторонні об'єкти, які частково перекривали пряму видимість до MikroTik Groove A-52HPn та створювали додаткове затухання радіосигналу. Унаслідок цього якість бездротового каналу погіршилася, що вплинуло на швидкість передавання даних.

Для ПК-4, який знаходився на найбільшій відстані від точки доступу (12 м), також спостерігається зниження пропускної здатності порівняно з пристроями, розташованими ближче до обладнання. Це додатково підтверджує вплив відстані та умов поширення радіохвиль на ефективність функціонування бездротової мережі.

Отримані результати свідчать про те, що для забезпечення максимальної продуктивності мережі необхідно враховувати не лише відстань між вузлами мережі, але й наявність фізичних перешкод, які можуть впливати на рівень сигналу та якість бездротового з'єднання.

3.5. Налаштування та дослідження бездротової мережі в режимі PtP

Для організації бездротового з'єднання в режимі Point-to-Point використовується другий пристрій MikroTik Groove A-52HPn, який виконує роль абонентської станції (CPE). Після підключення до пристрою через програму

WinBox відкривається меню Quick Set, у якому в списку режимів роботи обирається режим CPE (рис. 3.24). На цьому етапі виконується підготовка обладнання до пошуку та підключення до бездротової мережі, створеної основною точкою доступу. Надалі пристрій використовуватиметься для встановлення бездротового каналу зв'язку між двома вузлами мережі та забезпечення доступу підключеного абонентського комп'ютера до мережевих ресурсів.

Після вибору режиму CPE виконується пошук доступних бездротових мереж. Для цього у вікні Quick Set натискається кнопка вибору мережі, розташована поруч із полем Network Name. Після відкриття списку відображаються всі виявлені точки доступу із зазначенням їхніх параметрів, зокрема SSID, робочого каналу, використовуваного протоколу та рівня сигналу. Із переліку доступних мереж обирається мережа MikroTik_Groove, створена основною точкою доступу. Після вибору потрібної мережі пристрій налаштовується на підключення до неї, що забезпечує встановлення бездротового каналу зв'язку між двома пристроями MikroTik Groove A-52HPn.

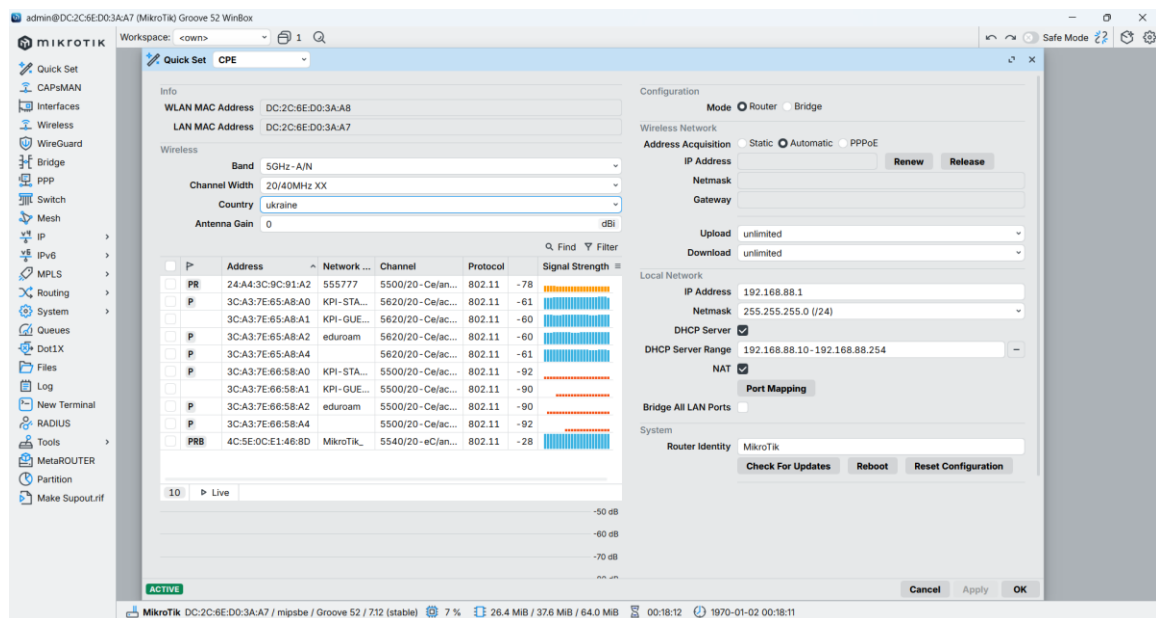
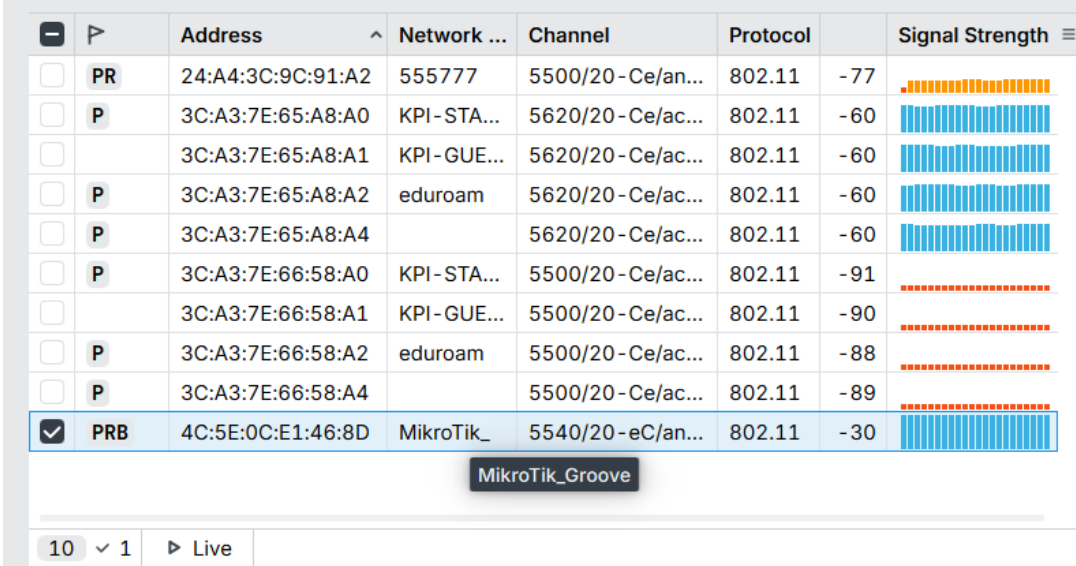


Рис. 3.24 Вибір бездротової мережі для підключення абонентської станції.

Після завершення пошуку доступних бездротових мереж виконується вибір мережі (рис.3.25), до якої буде підключатися абонентська станція. Для цього у

списку знайдених мереж обирається мережа MikroTik_Groove, створена основною точкою доступу. Під час вибору аналізуються параметри мережі, зокрема робочий канал, використовуваний стандарт бездротового зв'язку та рівень сигналу. Після виділення потрібної мережі підтверджується підключення до неї, у результаті чого абонентська станція отримує можливість встановити бездротовий канал зв'язку з базовою станцією. Правильний вибір мережі є важливим етапом налаштування, оскільки від нього залежить подальша стабільність та якість з'єднання в режимі Point-to-Point.



		Address	Network ...	Channel	Protocol		Signal Strength
☐	PR	24:A4:3C:9C:91:A2	555777	5500/20 - Ce/an...	802.11	-77	
☐	P	3C:A3:7E:65:A8:A0	KPI - STA...	5620/20 - Ce/ac...	802.11	-60	
☐		3C:A3:7E:65:A8:A1	KPI - GUE...	5620/20 - Ce/ac...	802.11	-60	
☐	P	3C:A3:7E:65:A8:A2	eduroam	5620/20 - Ce/ac...	802.11	-60	
☐	P	3C:A3:7E:65:A8:A4		5620/20 - Ce/ac...	802.11	-60	
☐	P	3C:A3:7E:66:58:A0	KPI - STA...	5500/20 - Ce/ac...	802.11	-91	
☐		3C:A3:7E:66:58:A1	KPI - GUE...	5500/20 - Ce/ac...	802.11	-90	
☐	P	3C:A3:7E:66:58:A2	eduroam	5500/20 - Ce/ac...	802.11	-88	
☐	P	3C:A3:7E:66:58:A4		5500/20 - Ce/ac...	802.11	-89	
☒	PRB	4C:5E:0C:E1:46:8D	MikroTik_	5540/20 - eC/an...	802.11	-30	

MikroTik_Groove

10 ▾ 1 ▶ Live

Рис.3.25 Вибір бездротової мережі MikroTik_Groove для підключення абонентської станції

Після підключення до вибраної бездротової мережі виконується перевірка параметрів встановленого з'єднання. У вікні Quick Set відображається поточний стан підключення (рис.3.26), MAC-адреса точки доступу, назва мережі (SSID), рівень прийнятого та переданого сигналу, співвідношення сигнал/шум, а також мережеві параметри, отримані від основної мережі. Наявність статусу connected to ess свідчить про успішне встановлення з'єднання між абонентською станцією та базовою точкою доступу.

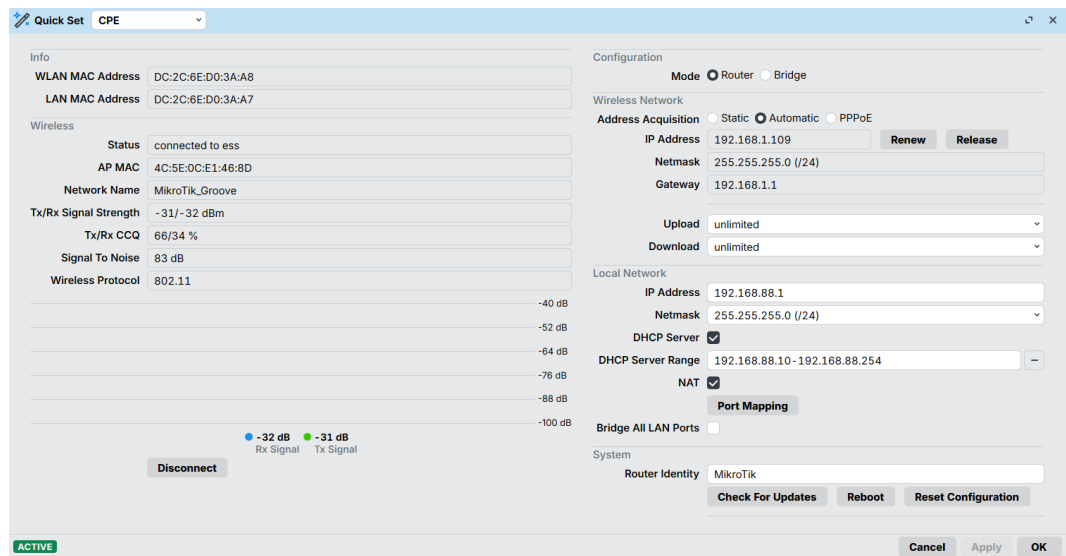


Рис.3.26 Перевірка параметрів підключення абонентської станції до бездротової мережі.

Для перевірки доступу до мережі Інтернет використовується команда ping, яка дозволяє визначити доступність віддаленого мережевого ресурсу та оцінити якість з'єднання. У командному рядку операційної системи Windows виконується команда `ping google.com -t`, яка надсилає безперервні ICMP-запити до сервера Google та відображає отримані відповіді (рис.3.27).

У результаті виконання команди відображаються значення часу затримки (time) та параметр TTL, що характеризують проходження пакетів через мережу. Отримання відповідей від віддаленого сервера без втрати пакетів підтверджує наявність доступу до мережі Інтернет та коректну роботу бездротового каналу зв'язку. Аналіз отриманих значень затримки дозволяє оцінити якість з'єднання та стабільність передачі даних через створену мережу Point-to-Point.

```

C:\Users\vikys> ping google.com -t

Pinging google.com [192.178.25.174] with 32 bytes of data:
Reply from 192.178.25.174: bytes=32 time=17ms TTL=117
Reply from 192.178.25.174: bytes=32 time=17ms TTL=117
Reply from 192.178.25.174: bytes=32 time=16ms TTL=117
Reply from 192.178.25.174: bytes=32 time=82ms TTL=117
Reply from 192.178.25.174: bytes=32 time=16ms TTL=117
Reply from 192.178.25.174: bytes=32 time=16ms TTL=117
Reply from 192.178.25.174: bytes=32 time=16ms TTL=117
Reply from 192.178.25.174: bytes=32 time=88ms TTL=117
Reply from 192.178.25.174: bytes=32 time=17ms TTL=117
Reply from 192.178.25.174: bytes=32 time=17ms TTL=117
Reply from 192.178.25.174: bytes=32 time=16ms TTL=117
Reply from 192.178.25.174: bytes=32 time=105ms TTL=117
Reply from 192.178.25.174: bytes=32 time=17ms TTL=117
Reply from 192.178.25.174: bytes=32 time=16ms TTL=117
Reply from 192.178.25.174: bytes=32 time=24ms TTL=117
Reply from 192.178.25.174: bytes=32 time=120ms TTL=117
Reply from 192.178.25.174: bytes=32 time=17ms TTL=117
Reply from 192.178.25.174: bytes=32 time=16ms TTL=117
Reply from 192.178.25.174: bytes=32 time=40ms TTL=117
Reply from 192.178.25.174: bytes=32 time=121ms TTL=117

```

Рис.3.27 Перевірка доступу до мережі Інтернет за допомогою команди ping.

Для перевірки мережевих параметрів абонентської станції використовується команда `ipconfig` (рис.3.28), яка виконується в командному рядку операційної системи Windows. За результатами виконання команди відображаються основні параметри мережевого підключення, зокрема IP-адреса пристрою, маска підмережі та адреса шлюзу за замовчуванням.

З отриманих даних видно, що комп'ютеру призначено IP-адресу 192.168.88.254 з маскою підмережі 255.255.255.0, а шлюзом за замовчуванням є адреса 192.168.88.1. Це підтверджує, що мережеві параметри були успішно отримані від другої точки доступу MikroTik Groove A-52HPn, яка працює в режимі абонентської станції та забезпечує підключення ПК5 до створеного каналу зв'язку Point-to-Point. Отримані результати свідчать про коректне функціонування мережевого підключення та готовність пристрою до подальшого обміну даними через бездротовий канал.

```

C:\Users\vikys> ipconfig

Windows IP Configuration

Unknown adapter Підключення через локальну мережу:

    Media State . . . . . : Media disconnected
    Connection-specific DNS Suffix  . :

Unknown adapter OpenVPN Connect DCO Adapter:

    Media State . . . . . : Media disconnected
    Connection-specific DNS Suffix  . :

Wireless LAN adapter Підключення через локальну мережу* 1:

    Media State . . . . . : Media disconnected
    Connection-specific DNS Suffix  . :

Wireless LAN adapter Підключення через локальну мережу* 2:

    Media State . . . . . : Media disconnected
    Connection-specific DNS Suffix  . :

Ethernet adapter Ethernet:

    Connection-specific DNS Suffix  . :
    Link-local IPv6 Address . . . . . : fe80::38c9:cd7c:631a:8bf%8
    IPv4 Address. . . . . : 192.168.88.254
    Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
    Default Gateway . . . . . : 192.168.88.1

Wireless LAN adapter Wi-Fi:

    Media State . . . . . : Media disconnected
    Connection-specific DNS Suffix  . :

```

Рис.3.28 Перевірка мережевих параметрів ПК-5 за допомогою команди ipconfig.

Таким чином, з отриманих результатів видно, що ПК-5 отримав IP-адресу 192.168.88.254 та знаходиться в підмережі 192.168.88.0/24. Шлюзом за замовчуванням для даної мережі є адреса 192.168.88.1, яка належить другому пристрою MikroTik Groove A-52HPn. Це підтверджує, що абонентська станція успішно виконує функції мережевого шлюзу для підключеного комп'ютера та забезпечує його доступ до ресурсів локальної мережі й мережі Інтернет через створений бездротовий канал Point-to-Point. Отримані мережеві параметри свідчать про коректне налаштування другої точки MikroTik Groove A-52HPn та успішне функціонування організованого з'єднання.

Якщо необхідно, щоб комп'ютер ПК-5 отримував мережеві параметри з тієї самої підмережі, що й інші абонентські пристрої (ПК1–ПК4), тобто підмережі 192.168.1.0/24, необхідно змінити режим роботи другої точки доступу MikroTik Groove A-52HPn. Для цього у вікні Quick Set (рис. 3.29) обирається режим Bridge,

який забезпечує прозору передачу мережевого трафіку між бездротовим та дротовим інтерфейсами без створення окремої локальної підмережі.

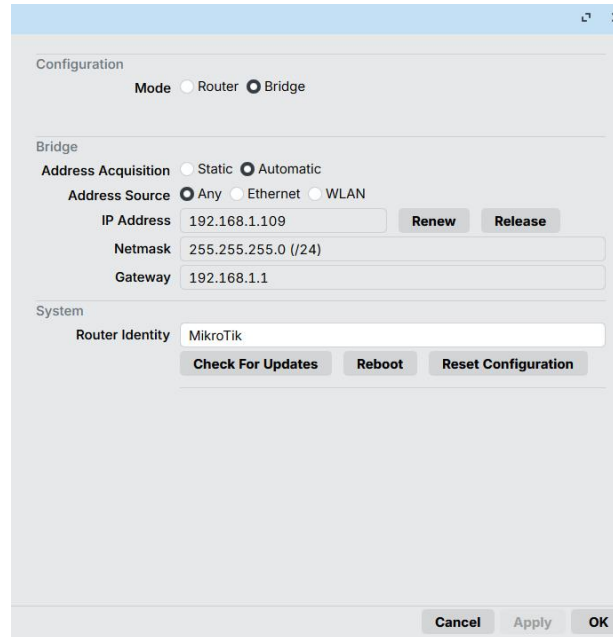


Рис. 3.29 Налаштування режиму Bridge у вікні Quick Set пристрою MikroTik Groove A-52HPn

Після переходу до режиму Bridge необхідно налаштувати передачу DHCP-запитів до основного маршрутизатора TP-Link Archer C54. Для цього в меню «IP» (Рис. 3.30) створюється новий запис DHCP Relay (рис. 3.30), де в полі Interface вказується інтерфейс ether1, а в полі DHCP Server задається адреса DHCP-сервера основної мережі 192.168.1.1. Така конфігурація дозволяє передавати DHCP-запити від ПК5 до маршрутизатора, який виконує видачу мережевих параметрів усім клієнтським пристроям мережі.

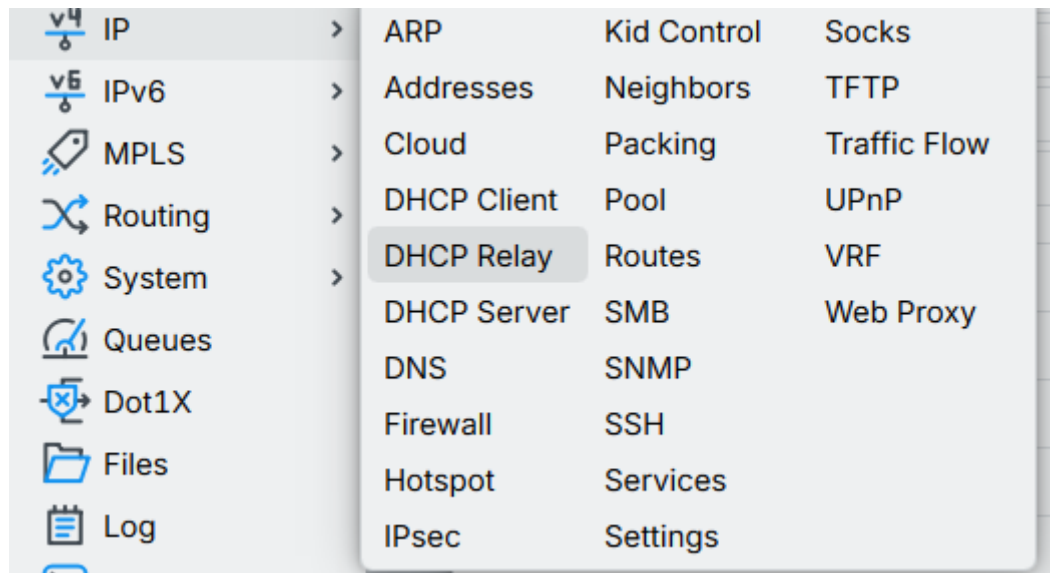


Рис. 3.30 Вибір меню DHCP Relay у розділі IP

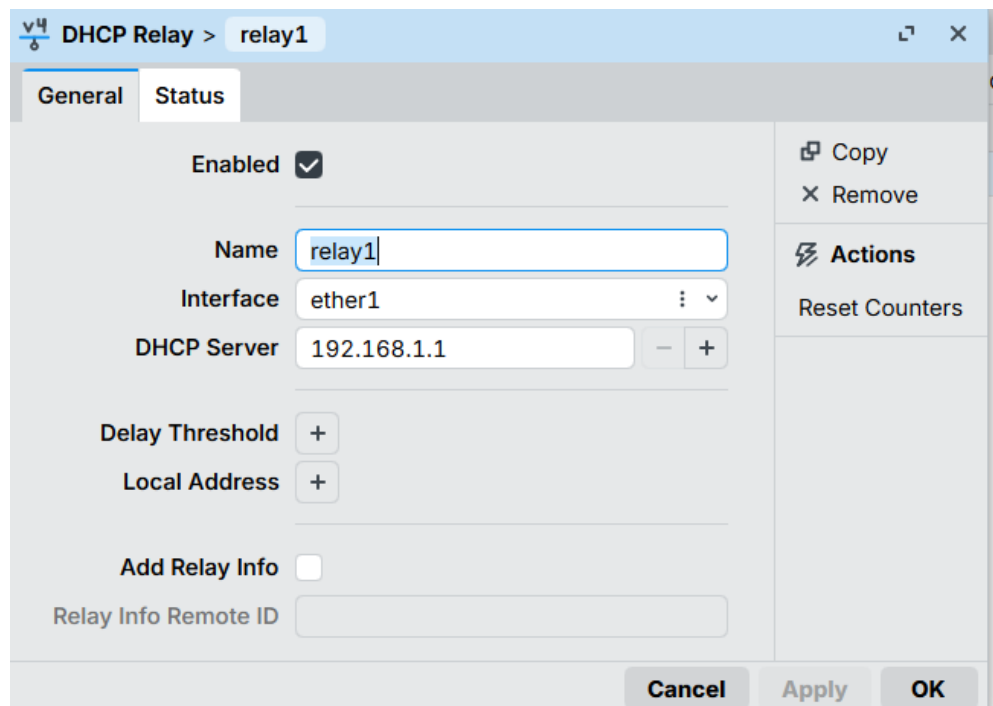
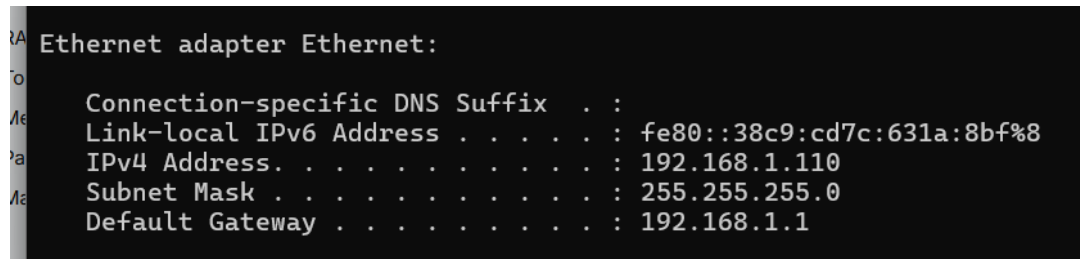


Рис. 3.31 Конфігурування DHCP Relay на пристрої MikroTik Groove A-52HPn

Після завершення налаштування DHCP Relay виконується перевірка мережевих параметрів на комп'ютері ПК-5 за допомогою команди `ipconfig` (рис. 3.32). З отриманих результатів видно, що комп'ютер отримав IP-адресу 192.168.1.110, маску підмережі 255.255.255.0 та шлюз за замовчуванням 192.168.1.1.



```

Ethernet adapter Ethernet:

    Connection-specific DNS Suffix  . : 
    Link-local IPv6 Address . . . . . : fe80::38c9:cd7c:631a:8bf%8
    IPv4 Address. . . . . : 192.168.1.110
    Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
    Default Gateway . . . . . : 192.168.1.1
  
```

Рис. 3.32 Перевірка мережевих параметрів ПК-5 за допомогою команди
ipconfig

Таким чином, ПК-5 успішно отримує мережеві параметри від DHCP-сервера маршрутизатора TP-Link Archer C54 та знаходиться в тій самій підмережі 192.168.1.0/24, що й інші ПК. Це підтверджує коректну роботу режиму Bridge та налаштування DHCP Relay, які забезпечують функціонування всіх абонентських пристроїв в єдиному мережевому сегменті.

На завершальному етапі дослідження було проведено вимірювання швидкості передавання даних через організований бездротовий канал Point-to-Point за допомогою утиліти iPerf3 (рис. 3.33). Тестування виконувалося у двох напрямках: від клієнтського пристрою до сервера (Upload) та від сервера до клієнтського пристрою (Download). Отримані результати показали стабільну роботу створеного каналу зв'язку та підтвердили можливість передавання даних між вузлами мережі через бездротовий міст на базі обладнання MikroTik Groove A-52HPn.

Під час проведення вимірювань було зафіксовано середню швидкість передавання даних близько 27 Мбіт/с у напрямку від клієнта до сервера та близько 17 Мбіт/с у зворотному напрямку. Незважаючи на окремі коливання швидкості під час тестування, з'єднання залишалося працездатним і забезпечувало безперервний обмін даними між мережевими вузлами.

```

C:\iperf3.1.1_32>iperf3.exe -c speedtest.bcm.net.ua -t 30
Connecting to host speedtest.bcm.net.ua, port 5201
[ 4] local 192.168.1.110 port 49198 connected to 91.192.152.119 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-1.01 sec  3.75 MBytes  31.1 Mbits/sec
[ 4] 1.01-2.00 sec  4.37 MBytes  37.0 Mbits/sec
[ 4] 2.00-3.00 sec  3.75 MBytes  31.6 Mbits/sec
[ 4] 3.00-4.01 sec  3.63 MBytes  30.4 Mbits/sec
[ 4] 4.01-5.01 sec  4.37 MBytes  36.4 Mbits/sec
[ 4] 5.01-6.00 sec  3.69 MBytes  31.2 Mbits/sec
[ 4] 6.00-7.00 sec  3.81 MBytes  32.0 Mbits/sec
[ 4] 7.00-8.01 sec  4.21 MBytes  35.9 Mbits/sec
[ 4] 8.01-9.00 sec  3.75 MBytes  31.7 Mbits/sec
[ 4] 9.00-10.01 sec 3.75 MBytes  31.3 Mbits/sec
[ 4] 10.01-11.00 sec 4.18 MBytes  35.3 Mbits/sec
[ 4] 11.00-12.00 sec 4.00 MBytes  33.5 Mbits/sec
[ 4] 12.00-13.01 sec 3.20 MBytes  26.7 Mbits/sec
[ 4] 13.01-14.01 sec 4.00 MBytes  33.4 Mbits/sec
[ 4] 14.01-15.00 sec 4.06 MBytes  34.3 Mbits/sec
[ 4] 15.00-16.01 sec 3.75 MBytes  31.4 Mbits/sec
[ 4] 16.01-17.02 sec 3.88 MBytes  32.3 Mbits/sec
[ 4] 17.02-18.00 sec 4.06 MBytes  34.6 Mbits/sec
[ 4] 18.00-19.00 sec 3.75 MBytes  31.4 Mbits/sec
[ 4] 19.00-20.02 sec 3.88 MBytes  32.1 Mbits/sec
[ 4] 20.02-21.00 sec 4.12 MBytes  35.1 Mbits/sec
[ 4] 21.00-22.00 sec 3.63 MBytes  30.5 Mbits/sec
[ 4] 22.00-23.00 sec 3.38 MBytes  28.5 Mbits/sec
[ 4] 23.00-24.01 sec 63.0 KBytes  510 Kbits/sec
[ 4] 24.01-25.01 sec 0.00 Bytes  0.00 bits/sec
[ 4] 25.01-26.01 sec 0.00 Bytes  0.00 bits/sec
[ 4] 26.01-27.01 sec 0.00 Bytes  0.00 bits/sec
[ 4] 27.01-28.00 sec 1.48 MBytes  12.5 Mbits/sec
[ 4] 28.00-29.00 sec 3.45 MBytes  29.0 Mbits/sec
[ 4] 29.00-30.01 sec 3.57 MBytes  29.5 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-30.01 sec 97.6 MBytes  27.3 Mbits/sec
[ 4] 0.00-30.01 sec 97.5 MBytes  27.3 Mbits/sec
sender
receiver

```

```

C:\iperf3.1.1_32>iperf3.exe -c speedtest.bcm.net.ua -t 30 -R
Connecting to host speedtest.bcm.net.ua, port 5201
Reverse mode, remote host speedtest.bcm.net.ua is sending
[ 4] local 192.168.1.110 port 60621 connected to 91.192.152.119 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-1.00 sec  2.31 MBytes  19.4 Mbits/sec
[ 4] 1.00-2.00 sec  3.45 MBytes  28.9 Mbits/sec
[ 4] 2.00-3.00 sec  3.77 MBytes  31.6 Mbits/sec
[ 4] 3.00-4.00 sec  3.57 MBytes  30.0 Mbits/sec
[ 4] 4.00-5.00 sec  3.72 MBytes  31.1 Mbits/sec
[ 4] 5.00-6.00 sec  4.00 MBytes  34.4 Mbits/sec
[ 4] 6.00-7.00 sec  3.57 MBytes  29.9 Mbits/sec
[ 4] 7.00-8.00 sec  3.56 MBytes  29.9 Mbits/sec
[ 4] 8.00-9.01 sec  3.98 MBytes  33.2 Mbits/sec
[ 4] 9.01-10.01 sec 0.00 Bytes  0.00 bits/sec
[ 4] 10.01-11.00 sec 0.00 Bytes  0.00 bits/sec
[ 4] 11.00-12.00 sec 0.00 Bytes  0.00 bits/sec
[ 4] 12.00-13.00 sec 0.00 Bytes  0.00 bits/sec
[ 4] 13.00-14.01 sec 0.00 Bytes  0.00 bits/sec
[ 4] 14.01-15.01 sec 0.00 Bytes  0.00 bits/sec
[ 4] 15.01-16.00 sec 873 KBytes  7.23 Mbits/sec
[ 4] 16.00-17.00 sec 3.41 MBytes  28.6 Mbits/sec
[ 4] 17.00-18.00 sec 3.21 MBytes  27.0 Mbits/sec
[ 4] 18.00-19.00 sec 3.18 MBytes  26.6 Mbits/sec
[ 4] 19.00-20.00 sec 2.79 MBytes  23.4 Mbits/sec
[ 4] 20.00-21.01 sec 2.70 MBytes  22.4 Mbits/sec
[ 4] 21.01-22.00 sec 2.93 MBytes  24.9 Mbits/sec
[ 4] 22.00-23.00 sec 2.92 MBytes  24.5 Mbits/sec
[ 4] 23.00-24.01 sec 3.52 MBytes  29.2 Mbits/sec
[ 4] 24.01-25.01 sec 44.2 KBytes  364 Kbits/sec
[ 4] 25.01-26.01 sec 0.00 Bytes  0.00 bits/sec
[ 4] 26.01-27.01 sec 0.00 Bytes  0.00 bits/sec
[ 4] 27.01-28.00 sec 0.00 Bytes  0.00 bits/sec
[ 4] 28.00-29.00 sec 0.00 Bytes  0.00 bits/sec
[ 4] 29.00-30.00 sec 2.19 MBytes  18.4 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth  Retr
[ 4] 0.00-30.00 sec 60.0 MBytes  16.8 Mbits/sec  49
[ 4] 0.00-30.00 sec 59.9 MBytes  16.7 Mbits/sec
sender
receiver

```

Рис. 3.33 Результати вимірювання швидкості передавання даних через бездротовий канал PtP за допомогою утиліти iPerf3: а). – у напрямку клієнт → сервер; б). – у напрямку сервер → клієнт

Таким чином, проведений експеримент підтвердив коректність налаштування обладнання MikroTik Groove A-52HPn у режимі Point-to-Point та можливість його використання для організації бездротових каналів зв'язку між віддаленими сегментами мережі. Отримані результати свідчать про працездатність розробленого макета та відповідність його основним вимогам щодо забезпечення передачі даних у бездротових інфокомунікаційних мережах.

Висновки

У третьому розділі дипломної роботи було виконано практичну реалізацію та дослідження безпроводової інфокомунікаційної мережі на базі обладнання MikroTik Groove A-52HPn. Проведено підключення обладнання, виконано початкову конфігурацію пристроїв за допомогою програмного забезпечення WinBox та операційної системи RouterOS, а також здійснено налаштування мережі для роботи в режимах Point-to-Multipoint (PtMP) та Point-to-Point (PtP).

У процесі налаштування обладнання було створено логічний міст bridge1, до якого додано дротовий та бездротовий інтерфейси, налаштовано параметри захисту мережі із застосуванням технології WPA2-PSK, проведено аналіз радіоефіру в діапазоні 5 ГГц та вибрано оптимальні параметри роботи бездротового каналу. Після завершення конфігурації пристроїв MikroTik Groove A-52HPn успішно

функціонував як точка доступу та забезпечував підключення клієнтських пристроїв до локальної мережі та мережі Інтернет.

У ході дослідження мережі в режимі Point-to-Multipoint підтверджено можливість одночасного підключення декількох абонентських пристроїв до однієї точки доступу. Усі клієнтські комп'ютери успішно отримали мережеві параметри від DHCP-сервера маршрутизатора TP-Link Archer C54 та були інтегровані до єдиного мережевого сегмента. Аналіз параметрів підключення підтвердив коректну роботу точки доступу, маршрутизатора та механізму автоматичного призначення IP-адрес.

Під час експериментальних досліджень виконано вимірювання швидкісних характеристик мережі між абонентськими комп'ютерами та сервером. Отримані результати показали, що продуктивність бездротового каналу залежить від відстані між абонентським пристроєм та точкою доступу, а також від наявності фізичних перешкод на шляху поширення радіосигналу. Встановлено, що найбільші значення швидкості передавання даних спостерігаються для пристроїв, розташованих на невеликій відстані від точки доступу та за умов прямої видимості.

Також було виконано налаштування другого пристрою MikroTik Groove A-52HPn для роботи в режимі Point-to-Point. У результаті створено бездротовий канал зв'язку між двома вузлами мережі, перевірено коректність отримання мережевих параметрів, функціонування режиму Bridge та механізму DHCP Relay. Проведене тестування за допомогою утиліти iPerf3 підтвердило стабільність роботи створеного каналу та можливість передавання даних між віддаленими сегментами мережі.

Отримані результати свідчать про працездатність розробленого макета безпроводової інфокомунікаційної мережі та підтверджують ефективність використання обладнання MikroTik Groove A-52HPn для побудови мереж у режимах Point-to-Point і Point-to-Multipoint. Проведені дослідження показали, що дане обладнання забезпечує стабільну передачу даних, гнучкі можливості

налаштування та може бути використане для організації бездротового доступу в локальних мережах різного призначення.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У результаті виконання дипломної роботи було досягнуто поставленої мети – розроблено макет безпроводової інфокомунікаційної мережі Point-to-Point (PtP) та Point-to-Multipoint (PtMP) на базі обладнання MikroTik Groove A-52HPn, а також проведено дослідження особливостей його функціонування, налаштування та практичного використання в сучасних телекомунікаційних системах.

У процесі виконання роботи було проведено аналіз сучасних безпроводових інфокомунікаційних мереж та визначено основні тенденції їх розвитку. Встановлено, що бездротові технології є важливою складовою сучасної телекомунікаційної інфраструктури завдяки можливості швидкого розгортання, відносно низькій вартості впровадження, мобільності та можливості організації зв'язку у місцях, де використання кабельних ліній є технічно складним або економічно недоцільним.

Під час дослідження принципів роботи мереж Point-to-Point та Point-to-Multipoint було встановлено, що технологія PtP забезпечує створення високошвидкісного каналу зв'язку між двома вузлами мережі з мінімальними затримками та високою стабільністю передачі даних. Технологія PtMP, своєю чергою, дозволяє реалізувати підключення декількох абонентських пристроїв до однієї базової станції, забезпечуючи ефективне використання мережевих ресурсів та можливість масштабування системи без значного збільшення витрат на обладнання.

У роботі виконано аналіз стандартів безпроводового зв'язку IEEE 802.11, які є основою побудови сучасних Wi-Fi мереж. Визначено особливості використання частотних діапазонів 2,4 ГГц та 5 ГГц, їх переваги та обмеження. Обґрунтовано доцільність використання діапазону 5 ГГц для побудови дослідного макету завдяки меншому рівню радіоперешкод, більшій кількості доступних каналів та кращим показникам стабільності передачі даних.

Окрему увагу приділено аналізу технічних характеристик обладнання MikroTik Groove A-52HPn. Встановлено, що даний пристрій має достатню продуктивність для реалізації мереж PtP та PtMP, підтримує стандарти IEEE 802.11a/b/g/n, технологію NV2 TDMA, різні режими роботи бездротового інтерфейсу та сучасні механізми захисту інформації. Проведене дослідження підтвердило доцільність використання цього обладнання для побудови невеликих та середніх безпроводових інфокомунікаційних мереж.

У рамках проектування мережі було сформовано технічні вимоги до системи, обрано комбіновану топологію PtP/PtMP, визначено параметри функціонування радіоканалу та режими роботи обладнання. Для забезпечення стабільної роботи мережі було обрано ширину каналу 20 МГц, робочу частоту 5 ГГц, режим AP Bridge для базової станції та Station Bridge для абонентських вузлів. Також визначено параметри безпеки мережі з використанням технології WPA2-PSK та алгоритму шифрування AES.

Практична частина роботи була присвячена підключенню, налаштуванню та дослідженню роботи обладнання MikroTik Groove A-52HPn. Було виконано початкову конфігурацію пристроїв за допомогою програмного забезпечення WinBox та операційної системи RouterOS, створено бездротовий сегмент мережі, налаштовано параметри радіоінтерфейсів, адресацію мережі, DHCP Relay, а також механізми захисту від несанкціонованого доступу.

Для оцінювання ефективності функціонування створеного макету проведено вимірювання швидкісних характеристик мережі за допомогою програмного забезпечення iPerf3 та вбудованих засобів RouterOS. Аналіз результатів тестування показав стабільну роботу безпроводового каналу, коректну передачу даних між мережевими вузлами та відповідність отриманих параметрів вимогам, визначеним на етапі проектування. Проведені дослідження підтвердили можливість використання обладнання MikroTik Groove A-52HPn для створення ефективних безпроводових інфокомунікаційних мереж різної структури.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленого макету як навчального та дослідницького стенду для вивчення принципів побудови безпроводових мереж, налаштування обладнання MikroTik та дослідження характеристик бездротових каналів зв'язку. Отримані результати можуть бути використані під час підготовки фахівців у галузі телекомунікацій, а також при розробленні реальних мереж доступу на основі технологій PtP та PtMP.

Таким чином, поставлені у дипломній роботі завдання виконано в повному обсязі. Розроблений макет безпроводової інфокомунікаційної мережі успішно реалізовано, а результати проведених досліджень підтвердили ефективність використання обладнання MikroTik Groove A-52HPn для організації надійних, масштабованих та захищених мереж передачі даних, що відповідають сучасним вимогам телекомунікаційної галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Таненбаум Е., Везеролл Д. Комп'ютерні мережі. – 5-те вид. – Київ : Вільямс, 2017.
2. Оліфер В.Г., Оліфер Н.А. Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи. – Санкт-Петербург : Пітер, 2020. – 1008 с.
3. Stallings W. Wireless Communications and Networks. – 2nd ed. – Pearson Education, 2018.
4. Gast M. 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide. – 2nd ed. – O'Reilly Media, 2013.
5. MikroTik Documentation. RouterOS Documentation. – Режим доступу: <https://help.mikrotik.com/docs> (дата звернення 03.05.2026)
6. MikroTik Groove A-52HPn Product Documentation. – Режим доступу: <https://mikrotik.com/product/GrooveA52HPn>
7. IEEE Standard 802.11™. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. – IEEE, 2024.
8. Kurose J., Ross K. Computer Networking: A Top-Down Approach. – 8th ed. – Pearson, 2021.
9. Forouzan B. Data Communications and Networking. – 5th ed. – McGraw-Hill Education, 2017.
10. Comer D. Computer Networks and Internets. – 6th ed. – Pearson, 2015.
11. Cisco Networking Academy. Introduction to Networks. – Cisco Press, 2023.
12. iPerf3 Documentation. – Режим доступу: <https://iperf.fr> (дата звернення 22.05.2026)
13. TP-Link Archer C54 User Guide. – Режим доступу: <https://www.tp-link.com> (дата звернення 22.05.2026)
14. RFC 2131. Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP). – IETF, 1997.
15. RFC 5416. Control and Provisioning of Wireless Access Points Protocol. – IETF, 2009.

16. Конахович Г.Ф., Пузиренко О.Ю. Комп'ютерні мережі та телекомунікації. – Київ : Каравела, 2021. – 408 с.
17. <https://mikrotik.com/download/winbox> (дата звернення 22.05.2026)

Додаток 1

```

Командний рядок
30.05.2026 12:47 <DIR> .
30.05.2026 12:47 <DIR> ..
03.07.2015 00:07      110 109 cyggcc_s-1.dll
14.11.2015 14:43      3 488 471 cygwin1.dll
03.01.2016 07:01      395 572 iperf3.exe
                3 File(s)      3 994 152 bytes
                2 Dir(s)      19 169 861 632 bytes free

c:\iperf3.1.1.32>iperf3 -c speedtest.bcm.net.ua
Connecting to host speedtest.bcm.net.ua, port 5201
[ 4] local 192.168.1.103 port 3507 connected to 91.192.152.119 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4]  0.00-1.00  sec  7.26 MBytes  60.7 Mbits/sec
[ 4]  1.00-2.00  sec  7.01 MBytes  58.9 Mbits/sec
[ 4]  2.00-3.00  sec  6.71 MBytes  56.1 Mbits/sec
[ 4]  3.00-4.00  sec  6.83 MBytes  57.4 Mbits/sec
[ 4]  4.00-5.00  sec  5.35 MBytes  45.0 Mbits/sec
[ 4]  5.00-6.00  sec  3.45 MBytes  28.8 Mbits/sec
[ 4]  6.00-7.00  sec  4.55 MBytes  38.3 Mbits/sec
[ 4]  7.00-8.00  sec  6.46 MBytes  54.0 Mbits/sec
[ 4]  8.00-9.00  sec  6.71 MBytes  56.4 Mbits/sec
[ 4]  9.00-10.00 sec  5.97 MBytes  50.1 Mbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4]  0.00-10.00 sec  60.3 MBytes  50.6 Mbits/sec      sender
[ 4]  0.00-10.00 sec  60.2 MBytes  50.5 Mbits/sec      receiver

iperf Done.

```

Від комп'ютера №1 до сервера

```

Командний рядок
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4]  0.00-10.00 sec  60.3 MBytes  50.6 Mbits/sec      sender
[ 4]  0.00-10.00 sec  60.2 MBytes  50.5 Mbits/sec      receiver

iperf Done.

c:\iperf3.1.1.32>iperf3 -c speedtest.bcm.net.ua -R
Connecting to host speedtest.bcm.net.ua, port 5201
Reverse mode, remote host speedtest.bcm.net.ua is sending
[ 4] local 192.168.1.103 port 4219 connected to 91.192.152.119 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4]  0.00-1.00  sec  6.29 MBytes  52.8 Mbits/sec
[ 4]  1.00-2.00  sec  6.24 MBytes  52.3 Mbits/sec
[ 4]  2.00-3.00  sec  6.20 MBytes  52.1 Mbits/sec
[ 4]  3.00-4.00  sec  4.94 MBytes  41.5 Mbits/sec
[ 4]  4.00-5.00  sec  6.19 MBytes  51.9 Mbits/sec
[ 4]  5.00-6.00  sec  6.31 MBytes  52.9 Mbits/sec
[ 4]  6.00-7.00  sec  6.29 MBytes  52.7 Mbits/sec
[ 4]  7.00-8.00  sec  5.48 MBytes  46.0 Mbits/sec
[ 4]  8.00-9.00  sec  6.36 MBytes  53.3 Mbits/sec
[ 4]  9.00-10.00 sec  5.43 MBytes  45.6 Mbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth      Retr
[ 4]  0.00-10.00 sec  60.0 MBytes  50.3 Mbits/sec    22
[ 4]  0.00-10.00 sec  59.9 MBytes  50.2 Mbits/sec
-----
sender
receiver

iperf Done.

c:\iperf3.1.1.32>

```

Від сервера до комп'ютера №1

```

14.05.2023 02:45 <DIR> system.sav
26.04.2023 20:41 <DIR> Users
15.05.2026 19:26 <DIR> Windows
1 File(s) 238 bytes
11 Dir(s) 197 836 247 040 bytes free

c:\>cd iperf3.1.1_32

c:\iperf3.1.1_32>iperf3.exe -c speedtest.bcm.net.ua
connecting to host speedtest.bcm.net.ua, port 5201
[ 4] local 192.168.1.106 port 4475 connected to 91.192.152.119 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-1.01 sec  4.49 MBytes  37.5 Mbits/sec
[ 4] 1.01-2.01 sec  5.29 MBytes  44.4 Mbits/sec
[ 4] 2.01-3.01 sec  6.52 MBytes  54.7 Mbits/sec
[ 4] 3.01-4.01 sec  6.34 MBytes  53.1 Mbits/sec
[ 4] 4.01-5.01 sec  6.71 MBytes  56.3 Mbits/sec
[ 4] 5.01-6.01 sec  6.95 MBytes  58.3 Mbits/sec
[ 4] 6.01-7.00 sec  6.40 MBytes  53.9 Mbits/sec
[ 4] 7.00-8.01 sec  7.01 MBytes  58.6 Mbits/sec
[ 4] 8.01-9.00 sec  6.95 MBytes  58.5 Mbits/sec
[ 4] 9.00-10.01 sec 6.89 MBytes  57.5 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-10.01 sec 63.6 MBytes  53.3 Mbits/sec
[ 4] 0.00-10.01 sec 63.5 MBytes  53.2 Mbits/sec

iperf Done.

c:\iperf3.1.1_32>

```

Від комп'ютера №2 до сервера

```

Командний рядок
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-10.01 sec 63.6 MBytes  53.3 Mbits/sec
[ 4] 0.00-10.01 sec 63.5 MBytes  53.2 Mbits/sec

iperf Done.

c:\iperf3.1.1_32>iperf3.exe -c speedtest.bcm.net.ua -R
Connecting to host speedtest.bcm.net.ua, port 5201
Reverse mode, remote host speedtest.bcm.net.ua is sending
[ 4] local 192.168.1.106 port 4585 connected to 91.192.152.119 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-1.00 sec  5.69 MBytes  47.7 Mbits/sec
[ 4] 1.00-2.00 sec  5.92 MBytes  49.6 Mbits/sec
[ 4] 2.00-3.00 sec  5.96 MBytes  50.0 Mbits/sec
[ 4] 3.00-4.00 sec  5.79 MBytes  48.5 Mbits/sec
[ 4] 4.00-5.00 sec  5.91 MBytes  49.6 Mbits/sec
[ 4] 5.00-6.00 sec  5.97 MBytes  50.0 Mbits/sec
[ 4] 6.00-7.00 sec  5.90 MBytes  49.6 Mbits/sec
[ 4] 7.00-8.00 sec  5.93 MBytes  49.7 Mbits/sec
[ 4] 8.00-9.00 sec  5.92 MBytes  49.7 Mbits/sec
[ 4] 9.00-10.00 sec 5.97 MBytes  50.1 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth      Retr
[ 4] 0.00-10.00 sec 59.2 MBytes  49.7 Mbits/sec      0
[ 4] 0.00-10.00 sec 59.1 MBytes  49.6 Mbits/sec

iperf Done.

```

Від сервера до комп'ютера №2

```

[ 4] 9.01-10.01 sec 1.29 MBytes 10.8 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-10.01 sec 7.38 MBytes 6.19 Mbits/sec      sender
[ 4] 0.00-10.01 sec 7.38 MBytes 6.18 Mbits/sec      receiver

iperf Done.

c:\iperf3.1.1.32>iperf3.exe -c speedtest.bcm.net.ua
Connecting to host speedtest.bcm.net.ua, port 5201
[ 4] local 192.168.1.107 port 4986 connected to 91.192.152.119 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-1.01 sec 2.52 MBytes 21.0 Mbits/sec
[ 4] 1.01-2.00 sec 882 KBytes 7.25 Mbits/sec
[ 4] 2.00-3.01 sec 819 KBytes 6.68 Mbits/sec
[ 4] 3.01-4.01 sec 1.17 MBytes 9.81 Mbits/sec
[ 4] 4.01-5.01 sec 1.05 MBytes 8.77 Mbits/sec
[ 4] 5.01-6.01 sec 1.48 MBytes 12.4 Mbits/sec
[ 4] 6.01-7.01 sec 1.48 MBytes 12.4 Mbits/sec
[ 4] 7.01-8.00 sec 1.42 MBytes 11.9 Mbits/sec
[ 4] 8.00-9.01 sec 756 KBytes 6.18 Mbits/sec
[ 4] 9.01-10.01 sec 756 KBytes 6.19 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-10.01 sec 12.2 MBytes 10.3 Mbits/sec
[ 4] 0.00-10.01 sec 12.1 MBytes 10.2 Mbits/sec      sender
                                             receiver

iperf Done.

c:\iperf3.1.1.32>

```

Від комп'ютера №3 до сервера

```

[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-10.01 sec 12.2 MBytes 10.3 Mbits/sec      sender
[ 4] 0.00-10.01 sec 12.1 MBytes 10.2 Mbits/sec      receiver

iperf Done.

c:\iperf3.1.1.32>iperf3.exe -c speedtest.bcm.net.ua -R
Connecting to host speedtest.bcm.net.ua, port 5201
Reverse mode, remote host speedtest.bcm.net.ua is sending
[ 4] local 192.168.1.107 port 8358 connected to 91.192.152.119 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-1.00 sec 6.07 MBytes 50.9 Mbits/sec
[ 4] 1.00-2.00 sec 5.92 MBytes 49.7 Mbits/sec
[ 4] 2.00-3.00 sec 5.96 MBytes 50.0 Mbits/sec
[ 4] 3.00-4.00 sec 5.83 MBytes 48.9 Mbits/sec
[ 4] 4.00-5.00 sec 5.81 MBytes 48.7 Mbits/sec
[ 4] 5.00-6.00 sec 5.76 MBytes 48.3 Mbits/sec
[ 4] 6.00-7.00 sec 5.82 MBytes 48.8 Mbits/sec
[ 4] 7.00-8.00 sec 5.88 MBytes 49.0 Mbits/sec
[ 4] 8.00-9.00 sec 5.85 MBytes 49.0 Mbits/sec
[ 4] 9.00-10.00 sec 5.61 MBytes 47.1 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth      Retr
[ 4] 0.00-10.00 sec 58.8 MBytes 49.3 Mbits/sec      1
[ 4] 0.00-10.00 sec 58.8 MBytes 49.1 Mbits/sec      sender
                                             receiver

iperf Done.

c:\iperf3.1.1.32>

```

Від сервера до комп'ютера №3

```

17.04.2026 19:11 <DIR> Program Files (x86)
05.11.2025 16:05 <DIR> Users
30.05.2026 15:17 <DIR> Windows
5 File(s) 1 205 609 bytes
13 Dir(s) 68 239 818 752 bytes free

c:\> cd iperf3.1.1.32

c:\iperf3.1.1.32>iperf3.exe -c speedtest.bcm.net.ua
Connecting to host speedtest.bcm.net.ua, port 5201
[ 4] local 192.168.1.108 port 12543 connected to 91.192.152.119 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-1.01 sec 1.29 MBytes 10.8 Mbits/sec
[ 4] 1.01-2.00 sec 1.29 MBytes 10.9 Mbits/sec
[ 4] 2.00-3.01 sec 1.42 MBytes 11.8 Mbits/sec
[ 4] 3.01-4.01 sec 1.72 MBytes 14.3 Mbits/sec
[ 4] 4.01-5.00 sec 2.38 MBytes 19.9 Mbits/sec
[ 4] 5.00-6.02 sec 2.00 MBytes 17.3 Mbits/sec
[ 4] 6.02-7.00 sec 1.66 MBytes 14.1 Mbits/sec
[ 4] 7.00-8.01 sec 1.60 MBytes 13.3 Mbits/sec
[ 4] 8.01-9.00 sec 1.29 MBytes 10.9 Mbits/sec
[ 4] 9.00-10.01 sec 1.54 MBytes 12.8 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-10.01 sec 16.2 MBytes 13.6 Mbits/sec
[ 4] 0.00-10.01 sec 16.1 MBytes 13.5 Mbits/sec      sender
                                             receiver

iperf Done.

c:\iperf3.1.1.32>

```

Від комп'ютера №4 до сервера

```

Командний рядок
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-10.01 sec 16.2 MBytes 13.6 Mbits/sec sender
[ 4] 0.00-10.01 sec 16.1 MBytes 13.5 Mbits/sec receiver

iperf Done.

c:\iperf3.1.1.32>iperf3.exe -c speedtest.bcm.net.ua -R
Connecting to host speedtest.bcm.net.ua, port 5201
Reverse mode, remote host speedtest.bcm.net.ua is sending
[ 4] local 192.168.1.108 port 2128 connected to 91.192.152.119 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-1.00 sec 4.55 MBytes 38.2 Mbits/sec
[ 4] 1.00-2.00 sec 4.56 MBytes 38.3 Mbits/sec
[ 4] 2.00-3.00 sec 4.63 MBytes 38.8 Mbits/sec
[ 4] 3.00-4.00 sec 4.62 MBytes 38.7 Mbits/sec
[ 4] 4.00-5.00 sec 4.57 MBytes 38.4 Mbits/sec
[ 4] 5.00-6.00 sec 4.54 MBytes 38.1 Mbits/sec
[ 4] 6.00-7.00 sec 4.14 MBytes 34.8 Mbits/sec
[ 4] 7.00-8.00 sec 4.46 MBytes 37.4 Mbits/sec
[ 4] 8.00-9.00 sec 4.59 MBytes 38.5 Mbits/sec
[ 4] 9.00-10.00 sec 4.56 MBytes 38.3 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth      Retr
[ 4] 0.00-10.00 sec 45.6 MBytes 38.3 Mbits/sec 0 sender
[ 4] 0.00-10.00 sec 45.4 MBytes 38.0 Mbits/sec receiver

iperf Done.

c:\iperf3.1.1.32>

```

Від сервера до комп'ютера №4

```

C:\iperf3.1.1.32>iperf3.exe -c speedtest.bcm.net.ua
Connecting to host speedtest.bcm.net.ua, port 5201
[ 4] local 192.168.1.104 port 61979 connected to 91.192.152.119 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-1.00 sec 5.11 MBytes 42.7 Mbits/sec
[ 4] 1.00-2.01 sec 4.25 MBytes 35.5 Mbits/sec
[ 4] 2.01-3.00 sec 3.94 MBytes 33.1 Mbits/sec
[ 4] 3.00-4.00 sec 3.45 MBytes 28.9 Mbits/sec
[ 4] 4.00-5.01 sec 3.88 MBytes 32.4 Mbits/sec
[ 4] 5.01-6.00 sec 4.68 MBytes 39.2 Mbits/sec
[ 4] 6.00-7.01 sec 4.92 MBytes 41.0 Mbits/sec
[ 4] 7.01-8.00 sec 4.37 MBytes 37.0 Mbits/sec
[ 4] 8.00-9.00 sec 4.68 MBytes 39.2 Mbits/sec
[ 4] 9.00-10.01 sec 4.92 MBytes 41.0 Mbits/sec
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-10.01 sec 44.2 MBytes 37.0 Mbits/sec sender
[ 4] 0.00-10.01 sec 44.1 MBytes 37.0 Mbits/sec receiver

iperf Done.

```

Від комп'ютера №5 до сервера

```

C:\iperf3.1.1_32>iperf3.exe -c speedtest.bcm.net.ua -R
Connecting to host speedtest.bcm.net.ua, port 5201
Reverse mode, remote host speedtest.bcm.net.ua is sending
[ 4] local 192.168.1.104 port 61985 connected to 91.192.152.119 port 5201
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth
[ 4] 0.00-1.00 sec      4.35 MBytes 36.5 Mbits/sec
[ 4] 1.00-2.00 sec      4.48 MBytes 37.5 Mbits/sec
[ 4] 2.00-3.00 sec      4.30 MBytes 36.1 Mbits/sec
[ 4] 3.00-4.00 sec      4.33 MBytes 36.4 Mbits/sec
[ 4] 4.00-5.00 sec      4.41 MBytes 37.0 Mbits/sec
[ 4] 5.00-6.00 sec      4.49 MBytes 37.7 Mbits/sec
[ 4] 6.00-7.00 sec      4.44 MBytes 37.2 Mbits/sec
[ 4] 7.00-8.00 sec      4.45 MBytes 37.3 Mbits/sec
[ 4] 8.00-9.00 sec      4.42 MBytes 37.1 Mbits/sec
[ 4] 9.00-10.00 sec     4.48 MBytes 37.6 Mbits/sec
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth   Retr
[ 4] 0.00-10.00 sec    44.9 MBytes 37.6 Mbits/sec    0
[ 4] 0.00-10.00 sec    44.3 MBytes 37.1 Mbits/sec
iperf Done.

```

Від сервера до комп'ютера №5

Вимірювання швидкості передавання даних між сервером локальної мережі (ПК5) та абонентськими комп'ютерами (ПК1–ПК4).

```

Accepted connection from 192.168.1.103, port 4943
[ 5] local 192.168.1.104 port 5201 connected to 192.168.1.103 port 4943
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth
[ 5] 0.00-1.00 sec      3.20 MBytes 26.7 Mbits/sec
[ 5] 1.00-2.00 sec      3.14 MBytes 26.4 Mbits/sec
[ 5] 2.00-3.00 sec      3.51 MBytes 29.3 Mbits/sec
[ 5] 3.00-4.01 sec      3.32 MBytes 27.7 Mbits/sec
[ 5] 4.01-5.01 sec      3.26 MBytes 27.5 Mbits/sec
[ 5] 5.01-6.01 sec      3.38 MBytes 28.4 Mbits/sec
[ 5] 6.01-7.01 sec      3.20 MBytes 26.8 Mbits/sec
[ 5] 7.01-8.00 sec      3.08 MBytes 26.0 Mbits/sec
[ 5] 8.00-9.01 sec      3.38 MBytes 28.3 Mbits/sec
[ 5] 9.01-10.00 sec      3.01 MBytes 25.4 Mbits/sec
[ 5] 10.00-11.01 sec     3.51 MBytes 29.2 Mbits/sec
[ 5] 11.01-12.00 sec     2.65 MBytes 22.4 Mbits/sec
[ 5] 12.00-13.00 sec     3.38 MBytes 28.3 Mbits/sec
[ 5] 13.00-14.01 sec     3.38 MBytes 28.3 Mbits/sec
[ 5] 14.01-15.00 sec     2.95 MBytes 24.9 Mbits/sec
[ 5] 15.00-16.01 sec     3.45 MBytes 28.7 Mbits/sec
[ 5] 16.01-17.01 sec     3.26 MBytes 27.4 Mbits/sec
[ 5] 17.01-18.00 sec     3.01 MBytes 25.5 Mbits/sec
[ 5] 18.00-19.01 sec     3.01 MBytes 25.0 Mbits/sec
[ 5] 19.01-20.00 sec     2.89 MBytes 24.5 Mbits/sec
[ 5] 20.00-21.00 sec     3.14 MBytes 26.3 Mbits/sec
[ 5] 21.00-22.00 sec     3.32 MBytes 27.9 Mbits/sec
[ 5] 22.00-23.01 sec     3.45 MBytes 28.6 Mbits/sec
[ 5] 23.01-24.00 sec     3.28 MBytes 27.2 Mbits/sec
[ 5] 24.00-25.01 sec     3.38 MBytes 28.2 Mbits/sec
[ 5] 25.01-26.01 sec     3.14 MBytes 26.4 Mbits/sec
[ 5] 26.01-27.01 sec     2.89 MBytes 24.2 Mbits/sec
[ 5] 27.01-28.01 sec     3.08 MBytes 25.8 Mbits/sec
[ 5] 28.01-29.00 sec     3.32 MBytes 28.1 Mbits/sec
[ 5] 29.00-30.01 sec     3.45 MBytes 28.7 Mbits/sec
[ 5] 30.01-30.05 sec     189 KBytes 33.8 Mbits/sec
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth
[ 5] 0.00-30.05 sec     96.5 MBytes 26.9 Mbits/sec
[ 5] 0.00-30.05 sec      0.00 Bytes  0.00 bits/sec
sender
receiver

```

Від ПК5 до ПК1

```

Accepted connection from 192.168.1.103, port 4699
[ 5] local 192.168.1.104 port 5201 connected to 192.168.1.103 port 4700
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth
[ 5] 0.00-1.00 sec      2.72 MBytes 22.7 Mbits/sec
[ 5] 1.00-2.00 sec      2.93 MBytes 24.6 Mbits/sec
[ 5] 2.00-3.00 sec      3.00 MBytes 25.1 Mbits/sec
[ 5] 3.00-4.00 sec      3.07 MBytes 25.7 Mbits/sec
[ 5] 4.00-5.00 sec      3.31 MBytes 27.8 Mbits/sec
[ 5] 5.00-6.00 sec      3.12 MBytes 26.1 Mbits/sec
[ 5] 6.00-7.00 sec      3.38 MBytes 28.5 Mbits/sec
[ 5] 7.00-8.00 sec      3.47 MBytes 29.0 Mbits/sec
[ 5] 8.00-9.00 sec      3.43 MBytes 28.8 Mbits/sec
[ 5] 9.00-10.00 sec      3.40 MBytes 28.6 Mbits/sec
[ 5] 10.00-11.00 sec     3.45 MBytes 28.9 Mbits/sec
[ 5] 11.00-12.00 sec     3.28 MBytes 27.5 Mbits/sec
[ 5] 12.00-13.00 sec     2.94 MBytes 24.6 Mbits/sec
[ 5] 13.00-14.01 sec     2.89 MBytes 24.2 Mbits/sec
[ 5] 14.01-15.01 sec     2.89 MBytes 24.1 Mbits/sec
[ 5] 15.01-16.01 sec     3.14 MBytes 26.4 Mbits/sec
[ 5] 16.01-17.00 sec     3.03 MBytes 25.5 Mbits/sec
[ 5] 17.00-18.01 sec     2.82 MBytes 23.5 Mbits/sec
[ 5] 18.01-19.00 sec     2.89 MBytes 24.4 Mbits/sec
[ 5] 19.00-20.00 sec     3.07 MBytes 25.8 Mbits/sec
[ 5] 20.00-21.01 sec     3.39 MBytes 28.3 Mbits/sec
[ 5] 21.01-22.01 sec     3.39 MBytes 28.4 Mbits/sec
[ 5] 22.01-23.00 sec     2.89 MBytes 24.4 Mbits/sec
[ 5] 23.00-24.00 sec     2.73 MBytes 22.9 Mbits/sec
[ 5] 24.00-25.00 sec     2.57 MBytes 21.5 Mbits/sec
[ 5] 25.00-26.00 sec     2.70 MBytes 22.7 Mbits/sec
[ 5] 26.00-27.00 sec     2.93 MBytes 24.5 Mbits/sec
[ 5] 27.00-28.01 sec     3.10 MBytes 25.9 Mbits/sec
[ 5] 28.01-29.00 sec     3.07 MBytes 26.0 Mbits/sec
[ 5] 29.00-30.00 sec     3.01 MBytes 25.3 Mbits/sec
[ 5] 30.00-30.06 sec     167 KBytes 21.7 Mbits/sec
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth
[ 5] 0.00-30.06 sec      0.00 Bytes  0.00 bits/sec
[ 5] 0.00-30.06 sec     92.1 MBytes 25.7 Mbits/sec
sender
receiver

```

Від ПК1 до ПК5

```

Accepted connection from 192.168.1.106, port 4705
[ S] local 192.168.1.104 port 5201 connected to 192.168.1.106 port 4706
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ S] 0.00-1.00 sec  3.32 MBytes  27.8 Mbits/sec
[ S] 1.00-2.01 sec  3.32 MBytes  27.8 Mbits/sec
[ S] 2.01-3.00 sec  3.01 MBytes  25.3 Mbits/sec
[ S] 3.00-4.00 sec  3.26 MBytes  27.4 Mbits/sec
[ S] 4.00-5.01 sec  3.26 MBytes  27.1 Mbits/sec
[ S] 5.01-6.01 sec  3.26 MBytes  27.4 Mbits/sec
[ S] 6.01-7.00 sec  3.32 MBytes  28.2 Mbits/sec
[ S] 7.00-8.01 sec  3.32 MBytes  27.7 Mbits/sec
[ S] 8.01-9.01 sec  3.32 MBytes  27.8 Mbits/sec
[ S] 9.01-10.01 sec  3.20 MBytes  26.9 Mbits/sec
[ S] 10.01-11.00 sec  2.52 MBytes  21.2 Mbits/sec
[ S] 11.00-12.01 sec  3.26 MBytes  27.0 Mbits/sec
[ S] 12.01-13.00 sec  3.26 MBytes  27.6 Mbits/sec
[ S] 13.00-14.01 sec  3.26 MBytes  27.1 Mbits/sec
[ S] 14.01-15.01 sec  2.89 MBytes  24.3 Mbits/sec
[ S] 15.01-16.01 sec  3.32 MBytes  28.0 Mbits/sec
[ S] 16.01-17.00 sec  3.20 MBytes  26.9 Mbits/sec
[ S] 17.00-18.01 sec  3.20 MBytes  26.8 Mbits/sec
[ S] 18.01-19.00 sec  3.20 MBytes  26.9 Mbits/sec
[ S] 19.00-20.01 sec  3.32 MBytes  27.6 Mbits/sec
[ S] 20.01-21.01 sec  3.26 MBytes  27.5 Mbits/sec
[ S] 21.01-22.01 sec  3.32 MBytes  27.7 Mbits/sec
[ S] 22.01-23.01 sec  3.26 MBytes  27.6 Mbits/sec
[ S] 23.01-24.01 sec  3.32 MBytes  27.7 Mbits/sec
[ S] 24.01-25.01 sec  3.20 MBytes  27.0 Mbits/sec
[ S] 25.01-26.01 sec  3.32 MBytes  27.7 Mbits/sec
[ S] 26.01-27.01 sec  3.08 MBytes  26.0 Mbits/sec
[ S] 27.01-28.00 sec  2.95 MBytes  24.9 Mbits/sec
[ S] 28.00-29.00 sec  3.26 MBytes  27.3 Mbits/sec
[ S] 29.00-30.00 sec  3.32 MBytes  27.9 Mbits/sec
[ S] 30.00-30.06 sec  126 KBytes  18.9 Mbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ S] 0.00-30.06 sec  96.5 MBytes  26.9 Mbits/sec      sender
[ S] 0.00-30.06 sec  0.00 Bytes  0.00 bits/sec      receiver
-----

```

```

Accepted connection from 192.168.1.106, port 4675
[ S] local 192.168.1.104 port 5201 connected to 192.168.1.106 port 4676
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ S] 0.00-1.00 sec  2.91 MBytes  24.4 Mbits/sec
[ S] 1.00-2.00 sec  2.97 MBytes  24.9 Mbits/sec
[ S] 2.00-3.00 sec  3.06 MBytes  25.5 Mbits/sec
[ S] 3.00-4.00 sec  2.77 MBytes  23.2 Mbits/sec
[ S] 4.00-5.00 sec  2.78 MBytes  23.4 Mbits/sec
[ S] 5.00-6.00 sec  2.90 MBytes  24.3 Mbits/sec
[ S] 6.00-7.00 sec  3.17 MBytes  26.6 Mbits/sec
[ S] 7.00-8.00 sec  2.76 MBytes  23.2 Mbits/sec
[ S] 8.00-9.01 sec  3.10 MBytes  25.9 Mbits/sec
[ S] 9.01-10.00 sec  2.83 MBytes  23.8 Mbits/sec
[ S] 10.00-11.00 sec  2.81 MBytes  23.5 Mbits/sec
[ S] 11.00-12.00 sec  3.03 MBytes  25.5 Mbits/sec
[ S] 12.00-13.00 sec  3.13 MBytes  26.2 Mbits/sec
[ S] 13.00-14.00 sec  3.15 MBytes  26.4 Mbits/sec
[ S] 14.00-15.00 sec  3.04 MBytes  25.4 Mbits/sec
[ S] 15.00-16.00 sec  3.09 MBytes  25.9 Mbits/sec
[ S] 16.00-17.00 sec  3.14 MBytes  26.3 Mbits/sec
[ S] 17.00-18.00 sec  3.00 MBytes  25.2 Mbits/sec
[ S] 18.00-19.00 sec  3.12 MBytes  26.2 Mbits/sec
[ S] 19.00-20.00 sec  2.99 MBytes  25.0 Mbits/sec
[ S] 20.00-21.01 sec  2.87 MBytes  24.0 Mbits/sec
[ S] 21.01-22.00 sec  3.07 MBytes  25.9 Mbits/sec
[ S] 22.00-23.00 sec  3.20 MBytes  26.9 Mbits/sec
[ S] 23.00-24.00 sec  3.05 MBytes  25.6 Mbits/sec
[ S] 24.00-25.00 sec  3.16 MBytes  26.4 Mbits/sec
[ S] 25.00-26.00 sec  2.72 MBytes  22.8 Mbits/sec
[ S] 26.00-27.00 sec  3.04 MBytes  25.6 Mbits/sec
[ S] 27.00-28.00 sec  3.11 MBytes  25.9 Mbits/sec
[ S] 28.00-29.01 sec  3.15 MBytes  26.4 Mbits/sec
[ S] 29.01-30.00 sec  3.23 MBytes  27.1 Mbits/sec
[ S] 30.00-30.06 sec  188 KBytes  28.1 Mbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ S] 0.00-30.06 sec  0.00 Bytes  0.00 bits/sec      sender
[ S] 0.00-30.06 sec  90.5 MBytes  25.3 Mbits/sec      receiver
-----

```

Від ПК5 до ПК2

Від ПК2 до ПК5

```

Accepted connection from 192.168.1.107, port 8461
[ S] local 192.168.1.104 port 5201 connected to 192.168.1.107 port 8462
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ S] 0.00-1.00 sec  3.32 MBytes  27.8 Mbits/sec
[ S] 1.00-2.00 sec  3.08 MBytes  25.9 Mbits/sec
[ S] 2.00-3.00 sec  3.26 MBytes  27.3 Mbits/sec
[ S] 3.00-4.00 sec  2.95 MBytes  24.9 Mbits/sec
[ S] 4.00-5.01 sec  3.38 MBytes  28.2 Mbits/sec
[ S] 5.01-6.00 sec  3.20 MBytes  27.0 Mbits/sec
[ S] 6.00-7.00 sec  3.32 MBytes  27.9 Mbits/sec
[ S] 7.00-8.00 sec  3.14 MBytes  26.2 Mbits/sec
[ S] 8.00-9.01 sec  3.45 MBytes  28.7 Mbits/sec
[ S] 9.01-10.01 sec  3.20 MBytes  26.9 Mbits/sec
[ S] 10.01-11.01 sec  3.32 MBytes  27.8 Mbits/sec
[ S] 11.01-12.01 sec  3.32 MBytes  27.9 Mbits/sec
[ S] 12.01-13.00 sec  3.32 MBytes  28.0 Mbits/sec
[ S] 13.00-14.00 sec  2.95 MBytes  24.8 Mbits/sec
[ S] 14.00-15.01 sec  3.32 MBytes  27.7 Mbits/sec
[ S] 15.01-16.00 sec  3.38 MBytes  28.5 Mbits/sec
[ S] 16.00-17.01 sec  3.26 MBytes  27.2 Mbits/sec
[ S] 17.01-18.00 sec  3.26 MBytes  27.5 Mbits/sec
[ S] 18.00-19.01 sec  3.38 MBytes  28.1 Mbits/sec
[ S] 19.01-20.01 sec  3.26 MBytes  27.6 Mbits/sec
[ S] 20.01-21.01 sec  3.38 MBytes  28.3 Mbits/sec
[ S] 21.01-22.00 sec  3.14 MBytes  26.5 Mbits/sec
[ S] 22.00-23.01 sec  3.30 MBytes  28.1 Mbits/sec
[ S] 23.01-24.01 sec  3.26 MBytes  27.6 Mbits/sec
[ S] 24.01-25.00 sec  2.83 MBytes  23.9 Mbits/sec
[ S] 25.00-26.01 sec  3.38 MBytes  28.1 Mbits/sec
[ S] 26.01-27.00 sec  3.26 MBytes  27.6 Mbits/sec
[ S] 27.00-28.00 sec  3.32 MBytes  27.8 Mbits/sec
[ S] 28.00-29.00 sec  3.26 MBytes  27.3 Mbits/sec
[ S] 29.00-30.00 sec  3.32 MBytes  27.9 Mbits/sec
[ S] 30.00-30.05 sec  126 KBytes  20.1 Mbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ S] 0.00-30.05 sec  97.8 MBytes  27.3 Mbits/sec      sender
[ S] 0.00-30.05 sec  0.00 Bytes  0.00 bits/sec      receiver
-----

```

```

Accepted connection from 192.168.1.107, port 8446
[ S] local 192.168.1.104 port 5201 connected to 192.168.1.107 port 8447
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ S] 0.00-1.00 sec  2.59 MBytes  21.7 Mbits/sec
[ S] 1.00-2.00 sec  2.81 MBytes  23.6 Mbits/sec
[ S] 2.00-3.00 sec  3.10 MBytes  26.0 Mbits/sec
[ S] 3.00-4.00 sec  3.27 MBytes  27.4 Mbits/sec
[ S] 4.00-5.00 sec  3.18 MBytes  26.7 Mbits/sec
[ S] 5.00-6.00 sec  3.26 MBytes  27.4 Mbits/sec
[ S] 6.00-7.00 sec  3.25 MBytes  27.2 Mbits/sec
[ S] 7.00-8.00 sec  3.08 MBytes  25.8 Mbits/sec
[ S] 8.00-9.00 sec  3.39 MBytes  28.5 Mbits/sec
[ S] 9.00-10.00 sec  3.32 MBytes  27.8 Mbits/sec
[ S] 10.00-11.00 sec  3.38 MBytes  28.3 Mbits/sec
[ S] 11.00-12.00 sec  3.20 MBytes  26.8 Mbits/sec
[ S] 12.00-13.00 sec  3.41 MBytes  28.6 Mbits/sec
[ S] 13.00-14.00 sec  3.36 MBytes  28.2 Mbits/sec
[ S] 14.00-15.00 sec  2.97 MBytes  24.8 Mbits/sec
[ S] 15.00-16.00 sec  3.29 MBytes  27.6 Mbits/sec
[ S] 16.00-17.00 sec  3.34 MBytes  28.0 Mbits/sec
[ S] 17.00-18.00 sec  3.21 MBytes  26.9 Mbits/sec
[ S] 18.00-19.00 sec  3.26 MBytes  27.2 Mbits/sec
[ S] 19.00-20.00 sec  3.32 MBytes  27.8 Mbits/sec
[ S] 20.00-21.00 sec  3.15 MBytes  26.6 Mbits/sec
[ S] 21.00-22.00 sec  3.00 MBytes  25.2 Mbits/sec
[ S] 22.00-23.00 sec  3.14 MBytes  26.3 Mbits/sec
[ S] 23.00-24.00 sec  3.00 MBytes  25.9 Mbits/sec
[ S] 24.00-25.01 sec  3.07 MBytes  25.4 Mbits/sec
[ S] 25.01-26.00 sec  3.17 MBytes  26.9 Mbits/sec
[ S] 26.00-27.00 sec  3.32 MBytes  27.9 Mbits/sec
[ S] 27.00-28.00 sec  3.23 MBytes  27.1 Mbits/sec
[ S] 28.00-29.00 sec  3.25 MBytes  27.2 Mbits/sec
[ S] 29.00-30.01 sec  3.27 MBytes  27.4 Mbits/sec
[ S] 30.01-30.06 sec  188 KBytes  28.5 Mbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ S] 0.00-30.06 sec  0.00 Bytes  0.00 bits/sec      sender
[ S] 0.00-30.06 sec  95.9 MBytes  26.8 Mbits/sec      receiver
-----

```

Від ПК5 до ПК 3

Від ПК3 до ПК 5

Accepted connection from 192.168.1.108, port 10616

[5]	local 192.168.1.104 port 5201 connected to 192.168.1.108 port 10617			
[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	
[5]	0.00-1.01	sec 2.58 MBytes	21.4 Mbits/sec	
[5]	1.01-2.01	sec 2.83 MBytes	23.9 Mbits/sec	
[5]	2.01-3.01	sec 2.46 MBytes	20.4 Mbits/sec	
[5]	3.01-4.01	sec 2.77 MBytes	23.3 Mbits/sec	
[5]	4.01-5.00	sec 2.77 MBytes	23.4 Mbits/sec	
[5]	5.00-6.01	sec 2.77 MBytes	23.0 Mbits/sec	
[5]	6.01-7.01	sec 2.77 MBytes	23.2 Mbits/sec	
[5]	7.01-8.00	sec 2.77 MBytes	23.4 Mbits/sec	
[5]	8.00-9.00	sec 2.83 MBytes	23.8 Mbits/sec	
[5]	9.00-10.01	sec 2.71 MBytes	22.4 Mbits/sec	
[5]	10.01-11.01	sec 2.77 MBytes	23.4 Mbits/sec	
[5]	11.01-12.00	sec 2.40 MBytes	20.3 Mbits/sec	
[5]	12.00-13.01	sec 2.77 MBytes	23.0 Mbits/sec	
[5]	13.01-14.00	sec 2.71 MBytes	22.9 Mbits/sec	
[5]	14.00-15.00	sec 2.83 MBytes	23.8 Mbits/sec	
[5]	15.00-16.01	sec 2.83 MBytes	23.6 Mbits/sec	
[5]	16.01-17.01	sec 2.77 MBytes	23.2 Mbits/sec	
[5]	17.01-18.00	sec 2.83 MBytes	24.0 Mbits/sec	
[5]	18.00-19.00	sec 2.83 MBytes	23.7 Mbits/sec	
[5]	19.00-20.01	sec 2.77 MBytes	23.1 Mbits/sec	
[5]	20.01-21.01	sec 2.83 MBytes	23.8 Mbits/sec	
[5]	21.01-22.00	sec 2.71 MBytes	22.8 Mbits/sec	
[5]	22.00-23.01	sec 2.89 MBytes	24.0 Mbits/sec	
[5]	23.01-24.01	sec 2.71 MBytes	22.7 Mbits/sec	
[5]	24.01-25.00	sec 2.52 MBytes	21.4 Mbits/sec	
[5]	25.00-26.01	sec 2.77 MBytes	23.0 Mbits/sec	
[5]	26.01-27.00	sec 2.71 MBytes	23.0 Mbits/sec	
[5]	27.00-28.00	sec 2.83 MBytes	23.7 Mbits/sec	
[5]	28.00-29.01	sec 2.83 MBytes	23.6 Mbits/sec	
[5]	29.01-30.01	sec 2.77 MBytes	23.2 Mbits/sec	
[5]	30.01-30.07	sec 126 KBytes	17.5 Mbits/sec	
- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -	
[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	
[5]	0.00-30.07	sec 82.4 MBytes	23.0 Mbits/sec	sender
[5]	0.00-30.07	sec 0.00 Bytes	0.00 bits/sec	receiver

Від ПК5 до ПК 4

Accepted connection from 192.168.1.108, port 8746

[5]	local 192.168.1.104 port 5201 connected to 192.168.1.108 port 8747			
[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	
[5]	0.00-1.00	sec 2.34 MBytes	19.6 Mbits/sec	
[5]	1.00-2.00	sec 2.60 MBytes	21.8 Mbits/sec	
[5]	2.00-3.01	sec 2.46 MBytes	20.5 Mbits/sec	
[5]	3.01-4.01	sec 2.52 MBytes	21.1 Mbits/sec	
[5]	4.01-5.00	sec 2.70 MBytes	22.7 Mbits/sec	
[5]	5.00-6.00	sec 2.71 MBytes	22.8 Mbits/sec	
[5]	6.00-7.00	sec 2.57 MBytes	21.6 Mbits/sec	
[5]	7.00-8.00	sec 2.60 MBytes	21.9 Mbits/sec	
[5]	8.00-9.00	sec 2.63 MBytes	22.0 Mbits/sec	
[5]	9.00-10.01	sec 2.62 MBytes	21.8 Mbits/sec	
[5]	10.01-11.00	sec 2.44 MBytes	20.7 Mbits/sec	
[5]	11.00-12.00	sec 2.64 MBytes	22.2 Mbits/sec	
[5]	12.00-13.00	sec 2.57 MBytes	21.5 Mbits/sec	
[5]	13.00-14.00	sec 2.53 MBytes	21.3 Mbits/sec	
[5]	14.00-15.00	sec 2.41 MBytes	20.2 Mbits/sec	
[5]	15.00-16.00	sec 2.56 MBytes	21.6 Mbits/sec	
[5]	16.00-17.00	sec 2.38 MBytes	20.0 Mbits/sec	
[5]	17.00-18.00	sec 2.49 MBytes	20.9 Mbits/sec	
[5]	18.00-19.00	sec 2.61 MBytes	21.8 Mbits/sec	
[5]	19.00-20.00	sec 2.77 MBytes	23.3 Mbits/sec	
[5]	20.00-21.01	sec 2.65 MBytes	22.1 Mbits/sec	
[5]	21.01-22.00	sec 2.67 MBytes	22.5 Mbits/sec	
[5]	22.00-23.00	sec 2.82 MBytes	23.6 Mbits/sec	
[5]	23.00-24.00	sec 2.64 MBytes	22.1 Mbits/sec	
[5]	24.00-25.00	sec 2.43 MBytes	20.3 Mbits/sec	
[5]	25.00-26.00	sec 2.55 MBytes	21.5 Mbits/sec	
[5]	26.00-27.00	sec 2.65 MBytes	22.2 Mbits/sec	
[5]	27.00-28.00	sec 2.60 MBytes	21.8 Mbits/sec	
[5]	28.00-29.00	sec 2.64 MBytes	22.2 Mbits/sec	
[5]	29.00-30.00	sec 2.68 MBytes	22.4 Mbits/sec	
[5]	30.00-30.05	sec 163 KBytes	20.1 Mbits/sec	
- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -	
[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth	
[5]	0.00-30.05	sec 0.00 Bytes	0.00 bits/sec	sender
[5]	0.00-30.05	sec 77.6 MBytes	21.7 Mbits/sec	receiver

Від ПК4 до ПК 5