

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ФАХОВИЙ БІЗНЕС-КОЛЕДЖ
Кафедра інформаційних, мультимедійних технологій та дизайну

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему

MESH-МЕРЕЖІ ДЛЯ НАДАННЯ ІНТЕРНЕТУ В УМОВАХ
НАДЗВИЧАЙОГО ЧАСУ

Виконав: студент групи 1К-22

спеціальності

123 комп'ютерна інженерія

Ростислав ІВАНОВ

Керівник:

Павло РАТАЙЧУК

Черкаси 2026

ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ФАХОВИЙ БІЗНЕС-КОЛЕДЖ
Циклова комісія комп'ютерної інженерії та інформаційних технологій
Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Освітня програма Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка циклової комісії КІ та ІТ

Наталя ФАЛЬЧЕНКО

«___» _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Іванов Ростислав Юрійович

1. Тема кваліфікаційної роботи: Mesh-мережі для надання інтернету в умовах надзвичайного часу

Керівник роботи Ратайчук Павло Єгорович, викладач вищої категорії затверджені наказом закладу вищої освіти від «6» жовтня 2025 року № 84/1-у.

2.Строк подання студентом кваліфікаційної роботи 16.06.2026

3.Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: технічна документація мережевого обладнання, характеристики mesh-мереж та бездротових технологій, стандарти IEEE 802.11s, програмне середовище Cisco Packet Tracer, протоколи маршрутизації OSPF, AODV, OLSR та BATMAN, наукові й інформаційні джерела з теми дослідження..

4.Зміст кваліфікаційної роботи (питання, що необхідно розглянути): розгляд принципів роботи та архітектури mesh-мереж; аналіз використання mesh-мереж в умовах надзвичайних ситуацій; порівняння mesh-мереж з іншими технологіями зв'язку; моделювання mesh-мережі у середовищі Cisco Packet Tracer; розгляд відмовостійкості та ефективності роботи мережі.

5. Дата видачі завдання 15.09.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін використання етапів	Примітка про виконання
1	ВСТУП	14.10.2025	
2	РОЗДІЛ 1 Теоретичні основи побудови Mesh-мереж	09.12.2025	
3	РОЗДІЛ 2 Аналіз використання Mesh-мереж в умовах надзвичайних ситуацій	10.03.2026	
4	РОЗДІЛ 3 Практичне моделювання Mesh-мереж для забезпечення інтернет-доступу в умовах надзвичайної ситуації	28.04.2026	
5	ВИСНОВКИ	12.05.2026	
6	Оформлення кваліфікаційної роботи	26.05.2026	
7	Перевірка кваліфікаційної роботи на наявність ознак плагіату	05.06.2026	
8	Подання кваліфікаційної роботи на затвердження завідувачу кафедри	08.06.2026	

Студент

Ростислав ІВАНОВ

Керівник роботи

Павло РАТАЙЧУК

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота присвячена розробці та моделюванню mesh-мережі для забезпечення доступу до мережі Інтернет в умовах надзвичайних ситуацій.

Метою роботи є створення та налаштування моделі mesh-мережі, здатної забезпечувати стабільний зв'язок між підрозділами підприємства в разі часткового пошкодження телекомунікаційної інфраструктури.

Галуззю застосування є комп'ютерні мережі та телекомунікаційні системи, що використовуються для організації зв'язку на підприємствах, в установах, рятувальних службах та інших об'єктах, де необхідне забезпечення надійного обміну даними.

У роботі розглянуто принципи побудови mesh-мереж, особливості їх використання в умовах надзвичайних ситуацій, а також виконано моделювання мережі в середовищі Cisco Packet Tracer. Розроблена мережа складається з чотирьох маршрутизаторів Cisco 2911, комутаторів Cisco 2960, DHCP-сервера, бездротових точок доступу та клієнтських пристроїв. Для автоматичного вибору маршрутів використано протокол динамічної маршрутизації OSPF. Реалізовано резервні канали зв'язку між вузлами мережі, що забезпечує її відмовостійкість та можливість автоматичного відновлення маршрутів передачі даних.

Основними техніко-експлуатаційними характеристиками розробленої мережі є підтримка автоматичної маршрутизації, бездротового доступу стандарту IEEE 802.11, автоматичної видачі IP-адрес за допомогою DHCP та резервування каналів зв'язку між вузлами мережі.

ABSTRACT

The qualification work is devoted to the development and simulation of a mesh network for providing Internet access in emergency situations.

The purpose of the work is to create and configure a mesh network model capable of ensuring stable communication between enterprise departments in the event of partial failure of telecommunication infrastructure.

The field of application includes computer networks and telecommunication systems used for communication in enterprises, institutions, emergency services, and other facilities where reliable data exchange is required.

The paper describes the principles of mesh network operation, the specifics of their use in emergency situations, and the simulation of a network using Cisco Packet Tracer. The developed network consists of four Cisco 2911 routers, Cisco 2960 switches, a DHCP server, wireless access points, and client devices. The OSPF dynamic routing protocol was used for automatic route selection. Backup communication links between network nodes were implemented to ensure fault tolerance and automatic route recovery.

The main technical and operational characteristics of the developed network include support for automatic routing, IEEE 802.11 wireless access, automatic IP address assignment using DHCP, and redundant communication links between network nodes.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1 ОСНОВИ ПОБУДОВИ MESH-МЕРЕЖ.....	5
1.1. Поняття та принципи функціонування mesh-мереж	5
1.2 Архітектура бездротових mesh мереж (Wireless Mesh Networks).....	6
1.3 Розгляд прикладів побудови громадських Mesh-мереж	8
1.4 Протоколи для організації Wi-Fi Mesh-мереж.....	9
1.5. Обґрунтування вибору засобів розробки	10
1.6. Переваги та недоліки mesh-технології.....	12
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ MESH-МЕРЕЖ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ.....	14
2.1. Особливості функціонування телекомунікаційної інфраструктури під час надзвичайних ситуацій	14
2.2. Однорангова та багаторангова топології MESH мереж.....	16
2.3. Порівняльний аналіз технологій забезпечення зв'язку (mesh-мережі, мобільні базові станції, супутниковий зв'язок)	17
2.4. Надійність та відмовостійкість mesh-мереж	19
2.5. Проблеми масштабування та оптимізації маршрутів.....	21
2.6. Аналіз практичних прикладів використання mesh-мереж у надзвичайних ситуаціях	23
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ MESH-МЕРЕЖІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕРНЕТ-ДОСТУПУ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ.....	25
3.1 Постановка задачі моделювання	25
3.2 Вибір програмного середовища моделювання	26
3.3 Розробка топології mesh-мережі	27
3.4 Налаштування IP-адресації та маршрутизації	30
3.5 Налаштування бездротового доступу	31
3.6 Моделювання передачі мережевого трафіку	32
3.7 Тестування роботи мережі при відмові вузлів.....	33
3.8 Аналіз результатів моделювання	34

ВСТУП

У сучасних умовах телекомунікаційні технології відіграють важливу роль у забезпеченні стабільного зв'язку між користувачами, організаціями та службами екстреного реагування. Особливо актуальним це питання стало в умовах надзвичайних ситуацій, коли традиційна телекомунікаційна інфраструктура може зазнавати пошкоджень або працювати нестабільно. Під час стихійних лих, техногенних аварій чи військових дій часто виникають проблеми з мобільним зв'язком та доступом до мережі Інтернет.

Одним із перспективних рішень для забезпечення зв'язку в таких умовах є використання mesh-мереж. Дана технологія дозволяє створювати децентралізовані бездротові мережі, у яких кожен вузол може виконувати функції маршрутизатора та передавати дані між іншими пристроями. Завдяки цьому mesh-мережі характеризуються високою відмовостійкістю та можливістю автоматичного відновлення маршрутів передачі даних.

Mesh-технології активно використовуються у різних сферах діяльності, зокрема у системах «розумного» будинку, промислових мережах, системах відеоспостереження та мережах аварійного зв'язку. Особливо важливим є їх застосування під час надзвичайних ситуацій, коли необхідно швидко організувати локальну мережу зв'язку без використання традиційної інфраструктури.

Актуальність теми полягає у необхідності дослідження можливостей використання mesh-мереж для забезпечення стабільного зв'язку в умовах надзвичайних ситуацій. Використання таких мереж дозволяє підтримувати обмін інформацією навіть у разі пошкодження окремих елементів телекомунікаційної інфраструктури.

Метою дипломної роботи є дослідження принципів функціонування mesh-мереж та аналіз можливостей їх використання для забезпечення доступу до мережі Інтернет в умовах надзвичайних ситуацій.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати принципи роботи та архітектуру mesh-мереж;
- дослідити особливості використання mesh-мереж у надзвичайних ситуаціях;
- провести порівняльний аналіз mesh-мереж та інших технологій зв'язку;
- виконати моделювання mesh-мережі у програмному середовищі Cisco Packet Tracer
- оцінити ефективність роботи мережі в умовах пошкодження інфраструктури..

Об'єктом дослідження є бездротові mesh-мережі.

Предметом дослідження є особливості побудови та функціонування mesh-мереж в умовах надзвичайних ситуацій.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання mesh-технологій для організації тимчасового та резервного зв'язку в умовах пошкодження традиційної телекомунікаційної інфраструктури. Отримані результати можуть бути використані під час проєктування локальних бездротових мереж, систем аварійного зв'язку та мереж оперативного реагування в кризових умовах.

РОЗДІЛ 1 ОСНОВИ ПОБУДОВИ MESH-МЕРЕЖ

1.1. Поняття та принципи функціонування mesh-мереж

Бездротові мережі використовуються практично в усіх сферах діяльності людини. Вони забезпечують доступ до мережі Інтернет, передачу інформації між пристроями та підтримку роботи різноманітних цифрових сервісів. Проте Wi-Fi мережі не завжди можуть забезпечити стабільне покриття на великій території або в умовах пошкодження окремих елементів мережевої інфраструктури. Саме тому останніми роками активно розвиваються mesh-мережі.[2][5]

Mesh-мережа являє собою систему взаємопов'язаних вузлів, які можуть передавати дані між собою без використання одного центрального маршрутизатора. Кожен вузол у такій мережі виконує не лише функцію прийому інформації, а й може виступати у ролі маршрутизатора для інших пристроїв. Завдяки цьому формується децентралізована структура зв'язку, здатна працювати навіть у разі пошкодження окремих вузлів.[5]

Робота mesh-мереж полягає у передачі даних через декілька можливих маршрутів. Якщо один із вузлів перестає працювати або сигнал стає нестабільним, система автоматично знаходить інший шлях передачі інформації. Така особливість дозволяє забезпечити більш надійне та стабільне з'єднання у порівнянні з традиційними бездротовими мережами.

На відміну від звичайного роутера, який має обмежену зону покриття, mesh-система складається з декількох точок доступу. Вони об'єднуються в єдину мережу та забезпечують рівномірне покриття на великій території. Користувачі можуть переміщатися між вузлами без необхідності повторного підключення до мережі, оскільки система автоматично перемикає пристрій до найближчої точки доступу.

Таблиця 1.1 – Порівняння традиційної Wi-Fi мережі та mesh-мережі

Характеристика	Wi-fi мережа	Mesh-мережа
Центральний вузол	Один роутер	Декілька вузлів
Покриття	Обмежене	Розширене
Відмовостійкість	Низька	Вища
Масштабування	Складніше	Просте
Перемикання між точками	Можливі розриви	Безшовне

Як видно з таблиці 1.1, mesh-мережі мають кращу гнучкість та забезпечують стабільніше покриття. Саме тому вони активно використовуються не лише у домашніх умовах, але й у промислових системах, офісах та мережах спеціального призначення.

Ще однією важливою перевагою mesh-мереж є можливість швидкого розширення мережі. Для збільшення площі покриття достатньо додати нові вузли, які автоматично інтегруються у вже існуючу систему. Це дозволяє будувати мережі різного масштабу без складного налаштування обладнання.

Разом із перевагами mesh-мережі мають і певні недоліки. Зі збільшенням кількості вузлів може зростати навантаження на мережу, а швидкість передачі даних іноді зменшується через передачу інформації через декілька пристроїв. Також ефективність роботи залежить від правильного розташування вузлів та рівня радіоперешкод.

1.2 Архітектура бездротових mesh мереж (Wireless Mesh Networks)

Стандартні маршрутизатори виконують функції по елементарному принципу. Роутер підключений до мережі, а до самого роутера підключаються клієнти. Вони задіюють маршрутизатор, щоб передавати дані між собою і мати доступ до Інтернету. У таких випадках швидкість буде визначена саме заданими пристроєм технічними характеристиками. Також на якість впливатиме відстань, присутність тих чи інших перешкод і кількість

підключених пристроїв. І завжди в будинку буде таке місце, де сигнал на стільки слабкий, що їм взагалі не можна скористатися. Такі проблеми можна вирішити покупкою Wi-Fi роутерів, прокладанням окремого кабелю або використання додаткової точки доступу.

У комерційному сегменті проблеми такі ж, тільки більш масштабні. Тому багато хто використовує Mesh мережі. Чим же Mesh відрізняється від звичайного маршрутизатора? Вся справа в тому, що Mesh-мережа це не один пристрій, а кілька. Кожен окремий елемент відповідає за свою площу, де стежить за підключеними клієнтами і надає їм доступ до Internet. Що цікаво, так це те, що безпосередньо до Інтернет потрібно підключати тільки головний модуль (базу). Решта модулів підключаються до головного модулю для отримання доступу і роздачі його приєднаним клієнтам. Wi-Fi мережу в такому випадку створюється єдина для всієї сумарної площі від всіх модулів. В Mesh-мережах аналізується кожний зв'язок між модулями [4]. Самі модулі обмінюються даними про всіх підключених клієнтів. І сама мережа вирішує, до якого модулю підключити клієнта, щоб у нього був найкращий сигнал. До того ж передача даних між гаджетами всередині мережі може відбуватися і без участі головного модуля.

Висока швидкість доступу до Internet зберігається за рахунок того, що в Mesh-рішеннях присутній окремий канал для обміну інформацією між собою, тому інформація направляється по найбільш короткому шляху. Як бачите, можна порівняти з тим, що Mesh-мережі складаються з пов'язаних між собою маршрутизаторів.

Основна різниця між мережами зв'язку та Mesh-системами в тому, що це бездротові мережі, які мають можливість динамічно самоорганізуються та самоконфігуруються. Система має топологію зірка, що означає, що всі кінцеві вузли підключені до єдиної центральної точки, яка з'єднується з верхній рівень мережі.

1.3 Розгляд прикладів побудови громадських Mesh-мереж

1. Guifi. Каталонія, Валенсія. Створена в відповідь на відсутність «доступного» по ціні і якостей інтернету у провайдера. Є спеціальні вилучені сервери доступу в Інтернет, є Mesh-мережі, ряд абонентів яких мають доступ до цих серверів, а через них в свою чергу до Інтернету можуть дістатися і інші учасники мережі.

2. AWMN (Athens Wireless Metropolitan Network). Греція, Афіни. Для маршрутизації використовуються протоколи BGP (Border Gateway Protocol) і OLSR (Optimized Link - State Routing).

3. WasabiNet. США, Сент-Луїс. Один з яскравих прикладів міських мереж, що покривають окремі вулиці та пропонують доступ в Інтернет, як безкоштовно, так і за гроші, з певними послугами та більш високою швидкістю доступу. Для маршрутизації також використовується OLSR.

4. Hyperboria. В рамках проекту реалізований протокол Cjdns. З його допомогою можна побудувати свою інфраструктуру обміну інформацією. Але саме головне, протокол вирішує проблему оптимального перерозподілення трафіку і перенаправлення навантаження. На відміну від OLSR і інших протоколів (дозволяє об'єднувати окремі мережі та шифрувати трафік).

Лідуючим протоколом на сьогоднішній день є Cjdns. І не менш популярний протокол OLSR. (RFC 3626) - протокол маршрутизації для мереж MANET (Mobile Ad hoc Network, RFC 2501). MANET - повністю децентралізована система, що самоорганізується мережу зі випадковим з'єднанням вузлів.

Муніципальні мережі.

Mesh-топологія дозволяє реалізувати унікальні по своїм можливостям мережі муніципального призначення, орієнтовані на служби оперативного реагування (Поліція, Швидка допомога).

Основні проблеми, з якими доводиться зіштовхуватися при створенні Mesh-мереж зовнішнього (вуличного розміщення):

- обмеженість частотного ресурсу (частотні діапазони 802.11 в найбільших містах практично вичерпані);
- необхідність підтвердження результатів радіочастотного планування практичними дослідженнями стану в зоні розгортання мережі (наявність незареєстрованих користувачів);
- організація розміщення точок доступу в максимальній близькості від абонентів, забезпечення цілодобового електроживлення[10]

1.4 Протоколи для організації Wi-Fi Mesh-мереж

Найбільш популярними сучасними протоколами для організації Wi-Fi Mesh мереж є: CJDNS; B.A.T.M.A.N; DTN; Netsukuku; OSPF.

Розглянемо їх основні характеристики [10]:

- авто-призначення адреси - клієнт сам вибирає собі адресу та може не міняти його, переходячи з однієї під мережі в іншу, немає єдиного центру видачі адресу;
- авто-маршрутизація – немає необхідності вручну налаштовувати маршрутизацію в мережі;
- розподілена маршрутизація – вузли обмінюються інформацією про маршрутизації;
- об'єднання мереж - вмiє об'єднувати мережі через звичайний інтернет IPv / v6 - за яким протоколом працює мережа;
- авто-налаштування - дозволяє користуватися мережею без встановлення ПО;
- розробка - статус розробки мережі;
- підтримка OS - які операційні системи можуть бути повноцінними учасниками мережі.

Протокол AODV є протоколом, використовуваним для створення топології мережі реактивним способом, що означає його властивість встановлювати маршрут до потрібного хоста на вимогу. Якщо вузлу мережі А потрібно передати дані вузлу мережі В, а відповідний маршрут невідомий, то вузол А посилає ширококомовний запит PREQ для пошуку маршруту до вузла В. Цей запит передається сусідам вузла А, ті пересилають його своїм сусідам і т.д. Коли до якогось вузла приходить запит PREQ, він записує туди дані про себе і пересилає далі, відповідно, кожен вузол, який отримав запит знає маршрут, по якому запит пройшов від вузла-ініціатора до нього.

Через якийсь час цей запит дійде або до вузла В, або до вузла, який знає маршрут від себе до вузла В. В обох випадках вузлу А відправляється відповідь PREP, який йде вже не ширококомовно, а цілеспрямовано по знайденому маршруту. В результаті вибудовується двонаправлений маршрут. Як тільки вузол А отримує відповідь PREP, він відразу ж починає передачу даних по цьому маршруту, не чекаючи відповіді по інших каналах. Якщо через деякий час виявиться, що існує більш короткий маршрут, вузол автоматично продовжить відправляти пакети коротшим шляхом .

Динамічна маршрутизація від джерела (Dynamic Source Routing). DSR - протокол маршрутизації з топологією mesh. Схожий з AODV тим, що формує маршрут на вимогу через циркулярний запит. Однак істотна відмінність між цими двома протоколами в тому, що DSR постійно оновлює маршрутизацію. Тобто інформація про маршрут зберігається в кожному повідомленні.[10]

1.5. Обґрунтування вибору засобів розробки

Mesh-мережі – перспективний клас широкосмугових бездротових мереж передачі мультимедійної інформації, який в найближчі роки знайде широке застосування в локальних і розподілених міських бездротових мережах (альтернатива WiMAX), в мультимедійних сенсорних мережах і т.д.

Один з головних принципів побудови mesh-мережі – самоорганізація архітектури, що забезпечує такі можливості:

- топологія мережі «кожен з кожним»;
- стійкість при відмові окремих компонентів;
- масштабованість мережі - збільшення зони інформаційного покриття в режимі самоорганізації;
- динамічна маршрутизація трафіку, контроль стану мережі і т.д.

Mesh-мережі можуть бути стаціонарними або мобільними. Вузлами мобільної мережі можуть бути кишенькові ПК, мобільні телефони і т.п. Meshмережі описує стандарт IEEE 802.11s, зміни в якому практично не чіпають фізичний рівень. Всі нововведення відносяться до MAC-підрівня канального рівня. Крім того, в стандарті 802.11s розглядаються питання маршрутизації пакетів в рамках mesh-мережі (мережевий і транспортний рівень моделі OSI, що виходить рамки IEEE 802.11).

Інтегрувати гібридну мережеву структуру мережі в існуючу мережі є більш складним, але більш корисним завданням. Замість перемикання маршрутизаторів та базових станцій, користуються перевагами гібридної мережі, мережевого модуля. Функціональність взаємозв'язку повинна бути додана до модулів. Це можна зробити, перепрограмувавши його. У модулях зберігають не тільки власні дані, але і передані дані з інших модулів також потрібні раніше дані надсилаються. Функція мережевого спостереження також є важливою для підтримки функції самоконфігурації, як це може кожен вузол підключитися до оптимізованого вузла поблизу, коли є новий вузол запроваджено в мережі. Це можна зробити, відрегулювавши ВЧ модуль швидше шукає доступні вузли, коли ні підключений. Інтеграція таких можливостей додасть більше споживання енергії в кожному вузлі, і це може спричинити зниження рівня обслуговування певних пристроїв IoT.

1.6. Переваги та недоліки mesh-технології

Потреба у швидкому та далекобійному інтернеті спонукає змінювати громіздкі багатоантенні роутери, на елегантні та стильні на вигляд Mesh-системи. Це сучасна технологія для Wi-Fi-мереж, що складається з кількох компактних модулів, розміщених в різних кінцях будинку чи офісу. Вона суттєво збільшує площу Wi-Fi-покриття, покращує стабільність з'єднання та зменшує час завантаження великих файлів з інтернету. А головне, порівняно із застарілою зв'язкою роутера і репітерів, Mesh є повністю безшовною.

Переваги:

- незалежність від провайдера, режиму;
- при стихійних лихах дозволяє мати мережу на місці події, хоча
- можливо і відрізану від глобальної частини;
- деякі сучасні протоколи для будівництва Mesh-мереж гарантують
- шифрування всього трафіку, що проходить через мережу (cjdns);
- динамічна, автоконфігурована маршрутизація;
- можливість поєднувати mesh мережі через звичайний інтернет (cjdns).

Недоліки:

- початковий запуск мережі Mesh дуже складний;
- ефективна робота досягається коли в мережі багато учасників;
- негарантована ширина каналу;
- негарантована якість зв'язку.

Широке застосування Mesh - мереж неможливо без забезпечення високого рівня сумісності між усіма пристроями, що входять до їх мережі. Особливо часто проблеми виникають через те, що вони працюють на базі різних протоколів та стандартів, які далеко не завжди знаходять спільну мову.

Якість обслуговування не завжди на даному етапі розвитку технології бездоганна. Різні вузли мережі можуть генерувати потоки даних з не

однаковою інтенсивністю. Також вони висувають різні вимоги за таким знаковим параметром, як пропускна спроможність. Наявність проміжних пунктів у структурі передачі приводять до того, що mesh-мережі майже завжди стикаються з тимчасовими затримками в активній фазі своєї роботи.

Незважаючи на всі складнощі, адже з ними стикаються майже всі інноваційні технології, потенціал є великим, особливо для створення ефективних середовищ для швидких обчислень бездротового типу. Саме вони здатні забезпечити ідеальне середовище для розвитку бізнесу у сучасних умовах.

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ MESH-МЕРЕЖ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

2.1. Особливості функціонування телекомунікаційної інфраструктури під час надзвичайних ситуацій

У сучасному суспільстві телекомунікаційна інфраструктура є одним із ключових елементів забезпечення стабільної роботи державних органів, служб екстреного реагування, підприємств та населення. Надійний зв'язок необхідний для координації дій рятувальних служб, передачі оперативної інформації, організації евакуації населення та підтримки функціонування критично важливих об'єктів. Проте під час надзвичайних ситуацій телекомунікаційні системи часто зазнають значних пошкоджень або перевантажень, що негативно впливає на їхню працездатність.

До причин порушення роботи телекомунікаційної інфраструктури належать природні катастрофи, техногенні аварії, військові дії, кібератаки та перебої електропостачання. У результаті можуть виходити з ладу базові станції мобільного зв'язку, серверне обладнання, оптоволоконні лінії та маршрутизатори. Особливо вразливими є централізовані мережі, у яких значна частина трафіку проходить через обмежену кількість вузлів. У разі пошкодження таких вузлів зв'язок у певному регіоні може бути повністю втрачений.

Характерні особливості функціонування телекомунікаційної інфраструктури під час надзвичайних ситуацій є різке зростання навантаження на мережу. Населення починає активно використовувати телефонний зв'язок, мобільний інтернет та соціальні мережі для отримання інформації або зв'язку з рідними. Через це виникає перевантаження каналів передачі даних, що призводить до затримок, втрати пакетів та нестабільної роботи сервісів.

Важливим фактором є також залежність сучасних мереж від електроживлення. Більшість базових станцій та мережевого обладнання

потребують постійного електропостачання. Під час аварій або бойових дій можливе тривале відключення електроенергії, унаслідок чого обладнання переходить на резервне живлення або повністю припиняє роботу. Навіть за наявності генераторів чи акумуляторів час автономної роботи є обмеженим.

Крім фізичних пошкоджень, телекомунікаційна інфраструктура під час надзвичайних ситуацій може зазнавати впливу кібератак. У кризових умовах зростає ризик несанкціонованого доступу до мереж, атак типу DDoS та пошкодження інформаційних систем. Це створює додаткові труднощі для організації стабільного зв'язку між службами реагування.

У таких умовах особливого значення набувають децентралізовані мережеві технології, здатні забезпечувати передачу інформації навіть за часткового пошкодження інфраструктури. Однією з таких технологій є mesh-мережі. Їхньою головною особливістю є відсутність єдиного центрального вузла керування. Кожен пристрій у mesh-мережі може одночасно виконувати функції клієнта та маршрутизатора, передаючи дані між іншими вузлами.

Mesh-мережі мають високу відмовостійкість, оскільки у разі виходу з ладу одного вузла інформація автоматично передається альтернативними маршрутами. Це дозволяє підтримувати зв'язок навіть у складних умовах, коли частина інфраструктури зруйнована або недоступна. Завдяки цьому mesh-технології активно використовуються для організації зв'язку під час стихійних лих, військових конфліктів та рятувальних операцій.

Ще однією перевагою mesh-мереж є можливість швидкого розгортання без необхідності створення складної кабельної інфраструктури. Для побудови мережі достатньо встановити певну кількість вузлів, які автоматично формують структуру зв'язку. Це особливо важливо у зонах надзвичайних ситуацій, де традиційні канали зв'язку можуть бути повністю зруйновані.

Mesh-мережі можуть функціонувати локально без доступу до глобальної мережі Інтернет. Це дозволяє забезпечувати обмін

повідомленнями, передавання координат та координацію дій між користувачами навіть за відсутності мобільного зв'язку або доступу до серверів провайдерів.

Функціонування телекомунікаційної інфраструктури під час надзвичайних ситуацій характеризується високим рівнем навантаження, ризиком пошкодження обладнання, перебоями електроживлення та загрозами інформаційній безпеці. У зв'язку з цим використання децентралізованих технологій, зокрема mesh-мереж, є перспективним напрямом забезпечення стійкого та надійного зв'язку в кризових умовах.[1][2]

2.2. Однорангова та багаторангова топології MESH мереж

Побудова мережі зв'язку, елементами якої є безліч рухливих вузлів, є досить складною задачею. Складність її вирішення залежить від низки умов, серед яких можна перерахувати: кількість об'єктів у мережі, швидкість та напрямки їх руху, а також специфіка використовуваних технологій зв'язку. Через те, що всі перераховані вище параметри можуть бути надзвичайно різноманітні, загальні рішення даної задачі, ймовірно, не мають практичного сенсу. Отже, вирішення цього завдання необхідно шукати кожної окремо взятої ситуації. У кваліфікаційній роботі розглядається один із можливих випадків побудови мережі зв'язку, вузлами якої є рухомі пристрої. Посилаючись на мету роботи, уявимо ситуацію: у населеному пункті, що постраждав від стихійного лиха, порушено організацію зв'язку. Для якнайшвидшого відновлення функціонування міських служб, а також з метою координування рятувальних операцій було вирішено розгорнути бездротову мережу, включно з ділянками літаючих мереж (використовуються безпілотні літаючі пристрої як мережеві вузли), а зона обслуговування технології бездротового зв'язку набагато менша за область, якої розгорнуто мережу. З цієї причини з великою ймовірністю передачі інформації між

кінцевими вузлами необхідно задіяти інші пристрої, що територіально знаходяться між ними – транзитні вузли. При цьому дана мережа також може використовувати як транзитні мережеві елементи пристрою місцевого населення, що збільшує щільність мережі. Крім того, через ізольованість мережі від системи DNS та відсутність можливості отримання інформації про IP-адресу джерел інформації було запропоновано використовувати архітектуру мереж іменованих даних для маршрутизації трафіку [10].

Очевидно, що за наявності різних варіантів здійснення транзитної передачі даних необхідно вибрати елемент, який буде здійснювати цю функцію. Таким чином, постає питання визначення критерію та методу вибору такого вузла – питання побудови маршруту передачі даних.

У цьому аналізі до розгляду пропонується два сценарії взаємодії вузлів мережі, здатних забезпечити маршрутизацію трафіку: однорангова (ad hoc) і багаторангова топології. Під одноранговою топологією мається на увазі така топологія, в якій всі пристрої мережі здатні виконувати однакові функції і в залежності від ситуації можуть виступати в будь-якій з ролей – кінцевим клієнтом або транзитним вузлом. Багаторангова топологія передбачає наявність у мережі кількох додаткових елементів, що беруть на себе особливу роль функціонування мережі, наприклад, здійснення маршрутизації трафіку. При цьому кожна з перерахованих топологій має свої переваги за тих чи інших умов.

2.3. Порівняльний аналіз технологій забезпечення зв'язку (mesh-мережі, мобільні базові станції, супутниковий зв'язок)

У сучасних умовах надзвичайних ситуацій важливим завданням є забезпечення стабільного та безперервного зв'язку між рятувальними службами, органами влади та населенням. Пошкодження телекомунікаційної інфраструктури, перевантаження мереж або відсутність електропостачання можуть призводити до втрати мобільного зв'язку та доступу до Інтернету.

Для вирішення цих проблем використовуються різні технології забезпечення комунікації, серед яких найбільш поширеними є mesh-мережі, мобільні базові станції та супутниковий зв'язок.

Mesh-мережі є децентралізованими системами зв'язку, у яких кожен вузол може виконувати функції маршрутизатора та передавати інформацію іншим пристроям. Основною перевагою mesh-мереж є висока відмовостійкість. Якщо один із вузлів виходить із ладу, мережа автоматично знаходить інший маршрут передачі даних. Це дозволяє підтримувати зв'язок навіть у разі пошкодження частини інфраструктури. Крім того, mesh-мережі швидко розгортаються та не потребують складної кабельної системи. Вони можуть працювати автономно без доступу до глобальної мережі Інтернет, що є важливим під час рятувальних операцій або в районах із пошкодженим мобільним покриттям.

Мобільні базові станції використовуються для оперативного відновлення мобільного зв'язку у районах із пошкодженою інфраструктурою. Такі станції встановлюються на автомобілях, причепах або спеціальних мобільних платформах. Вони підтримують стандарти GSM, LTE та 5G, що дозволяє користувачам застосовувати звичайні мобільні телефони без додаткового обладнання. Основною перевагою мобільних базових станцій є можливість забезпечення покриття на великій території та швидке відновлення доступу до мережі.

Також мобільні базові станції можуть працювати від генераторів або акумуляторів, що дозволяє використовувати їх навіть у разі відсутності централізованого електропостачання. Проте для транспортування, налаштування та обслуговування такого обладнання потрібні спеціальна техніка та кваліфікований персонал. Крім того, ефективність роботи залежить від наявності каналів підключення до основної мережі або супутникових систем.

Супутниковий зв'язок забезпечує передачу інформації через супутники та дозволяє підтримувати комунікацію навіть у місцях із повністю зруйнованою наземною інфраструктурою. Основною перевагою цієї

технології є велика зона покриття та незалежність від місцевих телекомунікаційних мереж. Супутниковий зв'язок активно використовується під час стихійних лих, військових конфліктів, гуманітарних операцій та роботи у віддалених районах.

Сучасні супутникові системи забезпечують доступ до Інтернету, голосового зв'язку та передачі даних на великі відстані. Однак така технологія має високу вартість обладнання та потребує використання спеціальних терміналів або антен. Крім того, на якість сигналу можуть впливати погодні умови, рельєф місцевості та фізичні перешкоди.

Порівняльний аналіз показує, що кожна технологія має власні переваги та сферу застосування. Mesh-мережі є найбільш ефективними для створення локального автономного зв'язку між групами користувачів. Мобільні базові станції дозволяють швидко відновити стандартне мобільне покриття на великій території. Супутниковий зв'язок забезпечує роботу комунікацій у районах, де повністю відсутня наземна інфраструктура.

Найбільш ефективним підходом є комбіноване використання mesh-мереж, мобільних базових станцій та супутникового зв'язку. Поєднання цих технологій дозволяє створити надійну та стійку систему комунікації, здатну функціонувати навіть у складних умовах надзвичайних ситуацій.[4][5]

2.4. Надійність та відмовостійкість mesh-мереж

Однією з головних переваг mesh-мереж є їх висока надійність та відмовостійкість у порівнянні з традиційними централізованими системами зв'язку. У звичайних мережах значна частина передачі даних залежить від центрального вузла або базової станції. У разі пошкодження такого елемента робота мережі може бути частково або повністю припинена. У mesh-мережах відсутній єдиний центр керування, тому система здатна продовжувати функціонування навіть при виході з ладу окремих вузлів.

Спосіб функціонування mesh-мережі полягає у тому, що кожен пристрій може одночасно виконувати функції користувачького вузла та маршрутизатора. Дані передаються між вузлами через декілька можливих маршрутів. Якщо один із маршрутів стає недоступним, мережа автоматично знаходить альтернативний шлях передачі інформації. Завдяки цьому забезпечується безперервність зв'язку та знижується ризик повної втрати мережі.

Висока відмовостійкість mesh-мереж є особливо важливою під час надзвичайних ситуацій, військових дій або техногенних аварій, коли частина телекомунікаційної інфраструктури може бути пошкоджена. Навіть у разі втрати кількох вузлів мережа продовжує працювати, якщо між пристроями зберігається хоча б часткове з'єднання. Це дозволяє підтримувати координацію між рятувальними службами, військовими підрозділами та іншими користувачами.

Ще однією особливістю mesh-мереж є можливість самостійної адаптації до змін топології. У разі переміщення або відключення вузлів система автоматично оновлює маршрути передачі даних. Це особливо корисно у мобільних мережах, де користувачі можуть постійно змінювати своє розташування.

Надійність mesh-мереж також залежить від кількості вузлів та щільності їх розташування. Чим більше пристроїв бере участь у передачі даних, тим більше альтернативних маршрутів може використовувати мережа. Це підвищує стабільність роботи системи та зменшує навантаження на окремі вузли.

Водночас mesh-мережі мають певні обмеження. Зі збільшенням кількості користувачів може зростати навантаження на мережу та знижуватися швидкість передачі даних. Крім того, стабільність роботи залежить від рівня заряду пристроїв та якості бездротового сигналу. Для

підвищення ефективності mesh-мереж використовуються сучасні алгоритми маршрутизації, оптимізації трафіку та захисту інформації.

Mesh-мережі характеризуються високим рівнем надійності та відмовостійкості завдяки децентралізованій структурі та автоматичному вибору маршрутів передачі даних. Це робить їх ефективним засобом забезпечення зв'язку в умовах надзвичайних ситуацій, коли традиційна телекомунікаційна інфраструктура може бути недоступною або пошкодженою.[4][5]

2.5. Проблеми масштабування та оптимізації маршрутів

Однією з особливостей mesh-мереж є можливість об'єднання великої кількості пристроїв у єдину систему зв'язку. Проте зі збільшенням кількості вузлів виникають проблеми масштабування та оптимізації маршрутів передачі даних. Ці фактори безпосередньо впливають на швидкість роботи мережі, стабільність з'єднання та ефективність використання ресурсів.

У невеликих mesh-мережах передача даних між вузлами відбувається досить швидко, оскільки кількість можливих маршрутів є обмеженою. Однак при збільшенні кількості пристроїв мережа стає складнішою, а процес вибору оптимального маршруту потребує більше ресурсів. Кожен вузол повинен постійно оновлювати інформацію про сусідні пристрої та доступні маршрути передачі даних.

Проблеми масштабування є зростання навантаження на мережу. У великих mesh-мережах значна частина трафіку витрачається не лише на передачу корисних даних, але й на обмін службовою інформацією між вузлами. Це може призводити до перевантаження каналів зв'язку та зниження загальної продуктивності системи.

Ще однією проблемою є збільшення затримки передачі даних. У mesh-мережах інформація часто проходить через декілька вузлів перед тим, як досягти кінцевого отримувача. Чим більша кількість проміжних вузлів, тим

більшою може бути затримка сигналу. Це особливо критично для сервісів, які потребують швидкого обміну інформацією, наприклад голосового зв'язку або відеотрансляцій.

Для стабільної роботи mesh-мереж важливе значення має оптимізація маршрутів. Маршрутизація визначає найкращий шлях передачі даних між вузлами мережі. У сучасних mesh-мережах використовуються спеціальні алгоритми маршрутизації, які дозволяють автоматично вибирати найбільш ефективний маршрут залежно від навантаження, якості сигналу та доступності вузлів.

Одним із важливих завдань оптимізації є зменшення кількості зайвих передач даних. Якщо маршрути побудовані неефективно, окремі вузли можуть бути перевантажені, тоді як інші майже не використовуються. Це призводить до нерівномірного розподілу навантаження та зниження продуктивності мережі.

Також на ефективність роботи mesh-мереж впливають зовнішні фактори, зокрема перешкоди бездротового сигналу, погодні умови та особливості рельєфу місцевості. У міських умовах сигнал може послаблюватися через велику кількість будівель та інших джерел радіоперешкод. У результаті деякі маршрути можуть ставати нестабільними або повністю недоступними.

Для підвищення продуктивності mesh-мереж використовуються сучасні методи оптимізації, серед яких балансування навантаження, автоматичне оновлення маршрутів та використання декількох частотних діапазонів. Також важливим є застосування енергоефективних алгоритмів, які дозволяють зменшити споживання енергії мобільними пристроями та збільшити тривалість автономної роботи мережі.

Проблеми масштабування та оптимізації маршрутів є одними з основних викликів під час використання mesh-мереж. Зі збільшенням кількості вузлів зростає складність керування мережею, навантаження на

канали передачі даних та затримка сигналу. Використання сучасних алгоритмів маршрутизації та методів оптимізації дозволяє підвищити ефективність роботи mesh-мереж і забезпечити стабільний зв'язок навіть у складних умовах надзвичайних ситуацій.

Важливим аспектом масштабування mesh-мереж є забезпечення інформаційної безпеки та стабільності роботи при великій кількості підключених пристроїв. У великих мережах зростає ризик втрати пакетів даних, перевантаження окремих вузлів і виникнення помилок маршрутизації. Саме тому постійне вдосконалення алгоритмів керування мережею є необхідною умовою ефективного функціонування mesh-технологій.[4][5]

2.6. Аналіз практичних прикладів використання mesh-мереж у надзвичайних ситуаціях

Mesh-мережі активно застосовуються у реальних умовах надзвичайних ситуацій, коли традиційна телекомунікаційна інфраструктура є пошкодженою або повністю недоступною. Їх використання дозволяє швидко організувати альтернативний канал зв'язку для координації рятувальних робіт та обміну інформацією між учасниками ліквідації наслідків катастроф.

Прикладом використання mesh-мереж під час стихійних лих, таких як землетруси, повені та урагани. У таких випадках часто руйнуються базові станції мобільного зв'язку та кабельні магістралі, що призводить до втрати зв'язку в постраждалих районах. Для відновлення комунікації застосовуються портативні mesh-вузли, які можуть швидко розгортатися та формувати локальну мережу без централізованого керування.

Також mesh-мережі застосовуються у військових умовах, де існує висока ймовірність пошкодження або придушення традиційних каналів зв'язку. У таких ситуаціях децентралізована структура мережі дозволяє забезпечити стійкий обмін даними між підрозділами навіть у разі втрати окремих вузлів або навмисного радіоелектронного впливу.

Ще одним прикладом є використання mesh-мереж у пошуково-рятувальних операціях. Рятувальні команди можуть використовувати мобільні пристрої або спеціалізоване обладнання для створення тимчасової мережі зв'язку в районах із поганим або відсутнім покриттям. Це дозволяє координувати дії груп, передавати координати постраждалих та оперативно обмінюватися інформацією.

Ефективність mesh-мереж значно зростає при їх поєднанні з іншими технологіями зв'язку, такими як супутникові канали або мобільні базові станції. Це дозволяє створювати гібридні системи, здатні працювати навіть у найскладніших умовах надзвичайних ситуацій.

У другому розділі я провів аналіз особливостей використання mesh-мереж в умовах надзвичайних ситуацій. Досліджено основні проблеми функціонування телекомунікаційної інфраструктури під час аварій, стихійних лих, військових дій та інших кризових ситуацій. Встановлено, що традиційні централізовані мережі є вразливими до пошкодження окремих вузлів та перебоїв електроживлення, що може призводити до повної втрати зв'язку у певних регіонах.

У ході аналізу було розглянуто основні сценарії розгортання тимчасових мереж зв'язку, зокрема під час рятувальних операцій, ліквідації наслідків природних катастроф та забезпечення зв'язку у військових умовах. Визначено, що mesh-мережі є ефективним рішенням для організації автономного та відмовостійкого зв'язку завдяки децентралізованій структурі та можливості автоматичного формування маршрутів передачі даних.

Отже, проведений аналіз підтверджує перспективність використання mesh-мереж для забезпечення зв'язку в умовах надзвичайних ситуацій. Отримані результати є основою для подальшого практичного моделювання mesh-мережі та дослідження її ефективності у наступному розділі дипломної роботи.[1]

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ MESH-МЕРЕЖІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕРНЕТ-ДОСТУПУ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ

3.1 Постановка задачі моделювання

У даному розділі виконується практичне моделювання бездротової mesh-мережі для забезпечення доступу до мережі Інтернет в умовах надзвичайної ситуації. У якості програмного середовища використовується Cisco Packet Tracer, що дозволяє моделювати роботу мережевих пристроїв, маршрутизацію пакетів та аналізувати роботу мережі у режимі реального часу.

У якості сценарію надзвичайної ситуації розглядається часткове пошкодження телекомунікаційної інфраструктури внаслідок аварії або стихійного лиха. У таких умовах традиційна мережа може втратити працездатність через вихід з ладу окремих вузлів. Для забезпечення стабільного зв'язку використовується mesh-мережа, яка здатна автоматично перебудовувати маршрути передачі даних.

Основною метою моделювання є дослідження ефективності роботи mesh-мережі при передачі даних між вузлами та перевірка відмовостійкості мережі при виході з ладу окремих маршрутизаторів.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- створити топологію mesh-мережі;
- налаштувати IP-адресацію вузлів;
- реалізувати динамічну маршрутизацію OSPF;
- налаштувати бездротовий доступ;

3.2 Вибір програмного середовища моделювання

Для практичної реалізації та виконання роботи mesh-мережі було обрано програмне середовище Cisco Packet Tracer. Дане середовище є одним із найбільш поширених мережевих симуляторів, який використовується для моделювання комп'ютерних мереж, налаштування мережевого обладнання та аналізу процесів передачі даних.

Причиною вибору Cisco Packet Tracer є можливість створення мережевих топологій із використанням маршрутизаторів, комутаторів, серверів, бездротових точок доступу та клієнтських пристроїв. Програмне середовище дозволяє моделювати як локальні, так і бездротові мережі, а також реалізовувати динамічну маршрутизацію між вузлами мережі.

Перевагою Cisco Packet Tracer є підтримка сучасних протоколів маршрутизації, зокрема OSPF, який використовується у даній роботі для автоматичного формування маршрутів передачі даних між вузлами mesh-мережі. Завдяки використанню OSPF мережа здатна автоматично перебудовувати маршрути у випадку відмови окремих вузлів або каналів зв'язку.

Крім цього, Cisco Packet Tracer дозволяє виконувати аналіз передачі пакетів у режимі Simulation Mode. Даний режим надає можливість візуально спостерігати процес проходження пакетів через мережу, визначати маршрути передачі даних та аналізувати роботу протоколів маршрутизації.

Ще однією перевагою програмного середовища є підтримка бездротових технологій стандарту IEEE 802.11, що дозволяє реалізувати бездротові точки доступу та підключення мобільних пристроїв до mesh-мережі. Це є особливо важливим для моделювання мереж в умовах надзвичайних ситуацій, де використання бездротового зв'язку дозволяє швидко організувати доступ до мережі Інтернет.

Таким чином, використання Cisco Packet Tracer дозволяє виконати повноцінне моделювання mesh-мережі, провести тестування роботи

маршрутизації, бездротового доступу та дослідити ефективність функціонування мережі в умовах відмови окремих елементів інфраструктури.

3.3 Розробка топології mesh-мережі

На етапі практичного моделювання була розроблена топологія бездротової mesh-мережі в середовищі Cisco Packet Tracer. Метою створення даної мережі є забезпечення стабільного доступу до мережі Інтернет та локальних ресурсів в умовах надзвичайної ситуації, коли частина телекомунікаційної інфраструктури може бути пошкоджена або недоступна.

Розроблена мережа охоплює чотири відокремлені підрозділи підприємства: головний офіс, офіс продажів, технічний відділ та адміністративний офіс. На фізичній схемі мережі показано розташування зазначених підрозділів та організацію бездротових каналів зв'язку між ними.

Фізична структура мережі представлена на рис. 3.1. Головний офіс виконує роль центрального вузла мережі та має безпосередні з'єднання з офісом продажів та адміністративним офісом. Одночасно між офісом продажів, технічним відділом та адміністративним офісом організовано додаткові канали зв'язку. Така структура дозволяє створити резервування маршрутів і забезпечити безперервну роботу мережі навіть у разі виходу з ладу одного з каналів або вузлів.

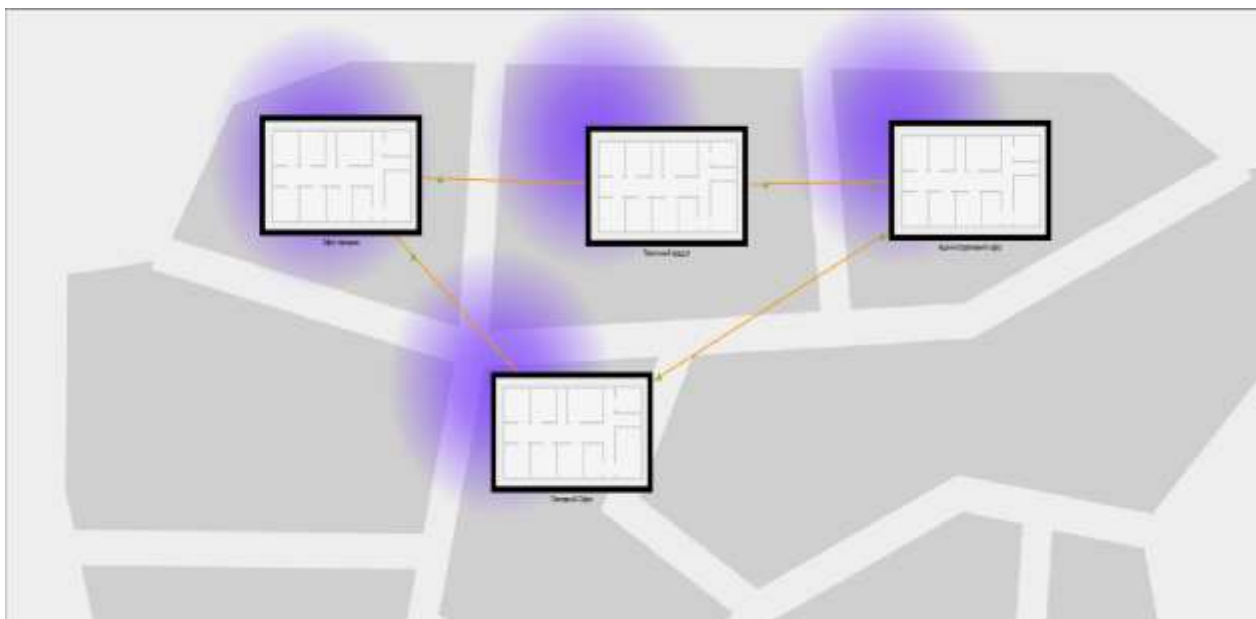


Рис 3.1 Фізична схема розташування вузлів mesh-мереж

На логічному рівні мережа складається з чотирьох маршрутизаторів Cisco 2911 (Mesh_R1 – Mesh_R4), які формують mesh-сегмент мережі. Кожний маршрутизатор підключений до окремого комутатора Cisco Catalyst 2960, що забезпечує підключення локальних користувачів та мережевого обладнання.

Таб. 3.1 Параметри мережі

Параметр	Значення
Тип мережі	Wireless Mesh
Протокол маршрутизації	OSPF
Тип адресації	IPv4
Бездротовий стандарт	IEEE 802.11
Тип видачі IP-адрес	DHCP
Кількість маршрутизаторів	4

Кожен підрозділ підприємства має власний сегмент локальної мережі. До комутаторів підключаються персональні комп'ютери та точки бездротового доступу, які забезпечують підключення мобільних пристроїв до мережі. DHCP-сервер розміщений у сегменті головного офісу та використовується для автоматичної видачі мережевих параметрів усім клієнтським пристроям.

Логічна топологія мережі представлена на рис. 3.2. Маршрутизатори Mesh_R1, Mesh_R2, Mesh_R3 та Mesh_R4 утворюють кільцеву структуру з додатковими резервними маршрутами передачі даних. Кожен маршрутизатор має не менше двох з'єднань із сусідніми вузлами. Завдяки цьому при пошкодженні одного з каналів мережа автоматично знаходить альтернативний маршрут передачі пакетів.

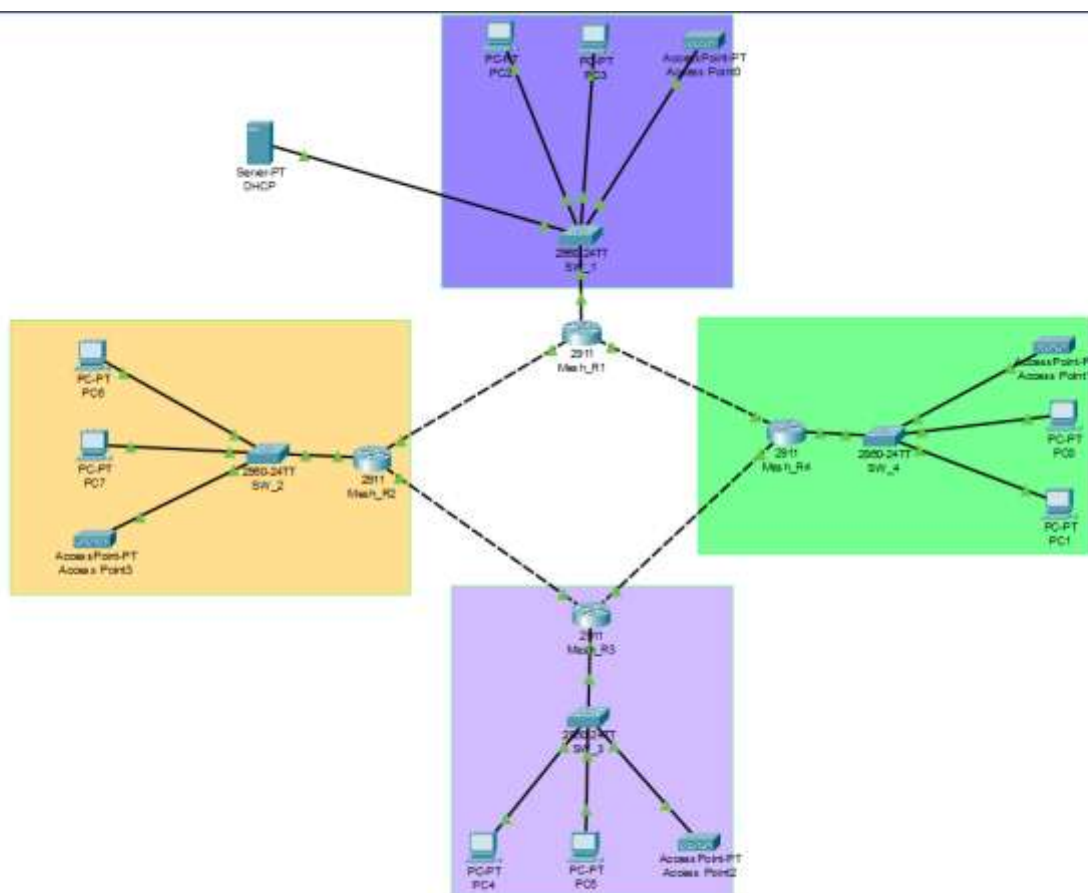


Рис.3.2 Топологічна схема в cisco packet tracer

Особливістю розробленої топології є високий рівень відмовостійкості. Наприклад, якщо маршрутизатор Mesh_R2 або один із каналів зв'язку між маршрутизаторами стане недоступним, протокол OSPF автоматично перебудує таблиці маршрутизації та направить трафік через інші доступні вузли. Це дозволяє зберегти працездатність мережі без необхідності ручного втручання адміністратора.

3.4 Налаштування IP-адресації та маршрутизації

На всіх маршрутизаторах мережі було налаштовано IP-адресацію відповідно до структури мережі. Для локальних мереж використовувались адреси класу 192.168.x.x, а для з'єднань між маршрутизаторами — адреси 10.0.0.x з маскою.

Для автоматичного формування маршрутів був використаний протокол динамічної маршрутизації OSPF.

Після налаштування маршрутизації маршрутизатори автоматично сформували таблиці маршрутів та встановили OSPF-сусідство.

Для перевірки роботи OSPF використовувалась команда:

- show ip ospf neighbor (на рис 3.2)

```
Router>show ip ospf neighbor
```

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
192.168.1.1	1	FULL/BDR	00:00:39	10.0.0.1	GigabitEthernet0/0
192.168.4.1	1	FULL/DR	00:00:38	10.0.0.10	GigabitEthernet0/1

```
Router>
```

Рис 3.2 Команда для перевірки роботи OSPF

Для перевірки таблиці маршрутизації використовувалась команда:

- show ip route (на рис 3.3)

```
Router>show ip route
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
       * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
       P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

10.0.0.0/8 is variably subnetted, 6 subnets, 2 masks
C       10.0.0.0/30 is directly connected, GigabitEthernet0/0
L       10.0.0.2/32 is directly connected, GigabitEthernet0/0
O       10.0.0.4/30 [110/2] via 10.0.0.1, 00:34:53, GigabitEthernet0/0
C       10.0.0.8/30 is directly connected, GigabitEthernet0/1
L       10.0.0.9/32 is directly connected, GigabitEthernet0/1
O       10.0.0.12/30 [110/2] via 10.0.0.10, 00:34:53, GigabitEthernet0/1
O       192.168.1.0/24 [110/2] via 10.0.0.1, 00:34:53, GigabitEthernet0/0
192.168.2.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       192.168.2.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/2
L       192.168.2.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/2
O       192.168.3.0/24 [110/3] via 10.0.0.1, 00:34:53, GigabitEthernet0/0
       [110/3] via 10.0.0.10, 00:34:53, GigabitEthernet0/1
O       192.168.4.0/24 [110/2] via 10.0.0.10, 00:34:53, GigabitEthernet0/1
```

Рис 3.3 Перевірка таблиці маршрутизації

У таблиці маршрутів маршрути OSPF позначаються символом «О».

3.5 Налаштування бездротового доступу

Для забезпечення бездротового доступу до mesh-мережі були використані точки доступу Access Point

Для точок доступу було налаштовано:

- IP-адресацію;
- SSID мережі;
- підключення до DHCP-сервера.

Таб.3.2 Приклад параметрів бездротової мережі

Параметр	Значення
SSID	MeshNet_Main
Тип захисту	WPA2-PSK
Пароль	qwerty123

Після налаштування бездротові клієнти успішно отримали IP-адреси від DHCP-сервера та отримали доступ до мережі.

3.6 Моделювання передачі мережевого трафіку

Для перевірки працездатності мережі виконувалась передача пакетів між вузлами мережі за допомогою команд ping та інструменту Simple PDU у режимі Simulation Mode.

У процесі моделювання було перевірено:

- передачу пакетів між локальними мережами;
- доступ клієнтів до сервера;
- маршрути передачі пакетів через OSPF.

Для аналізу процесу передачі пакетів використовувався режим Simulation Mode у Cisco Packet Tracer . (на рис 3.4)

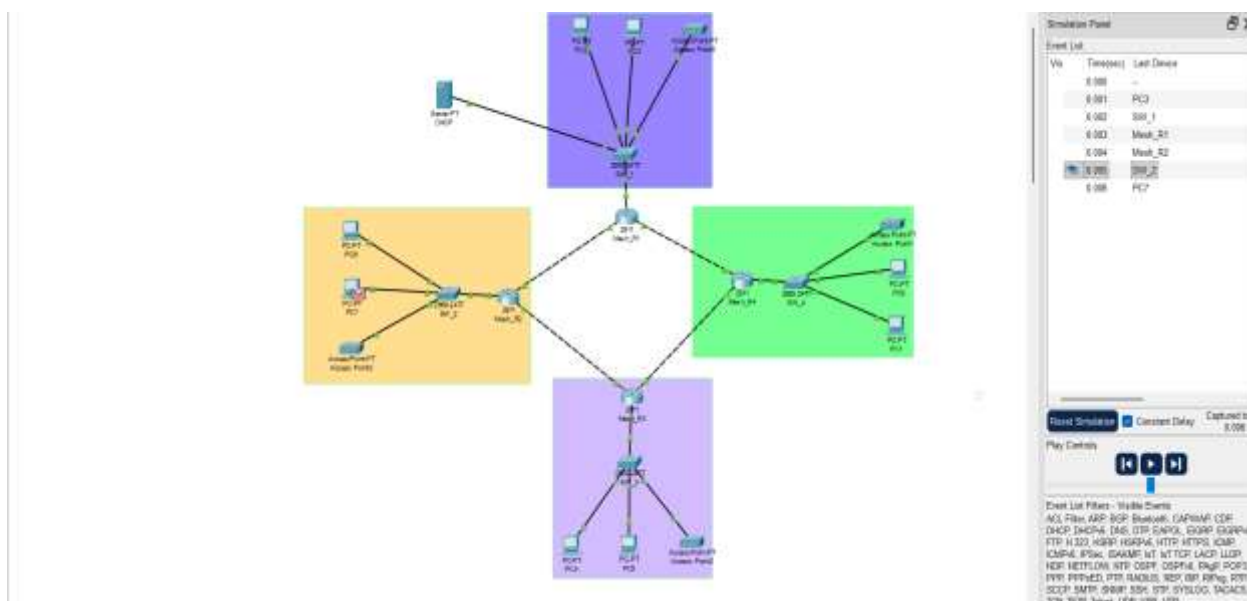


Рис 3.4 аналіз процесу передачі пакетів

Результати тестування показали успішну передачу пакетів між усіма вузлами мережі.

3.7 Тестування роботи мережі при відмові вузлів

Для перевірки відмовостійкості mesh-мережі було змодельовано відключення одного з маршрутизаторів мережі.

У процесі експерименту маршрутизатор був вимкнений через вкладку Physical у Cisco Packet Tracer. Після цього було виконано повторну передачу пакетів між вузлами мережі.

Протокол OSPF автоматично перебудував маршрути передачі даних та забезпечив передачу пакетів альтернативними шляхами. (Рис 3.5)

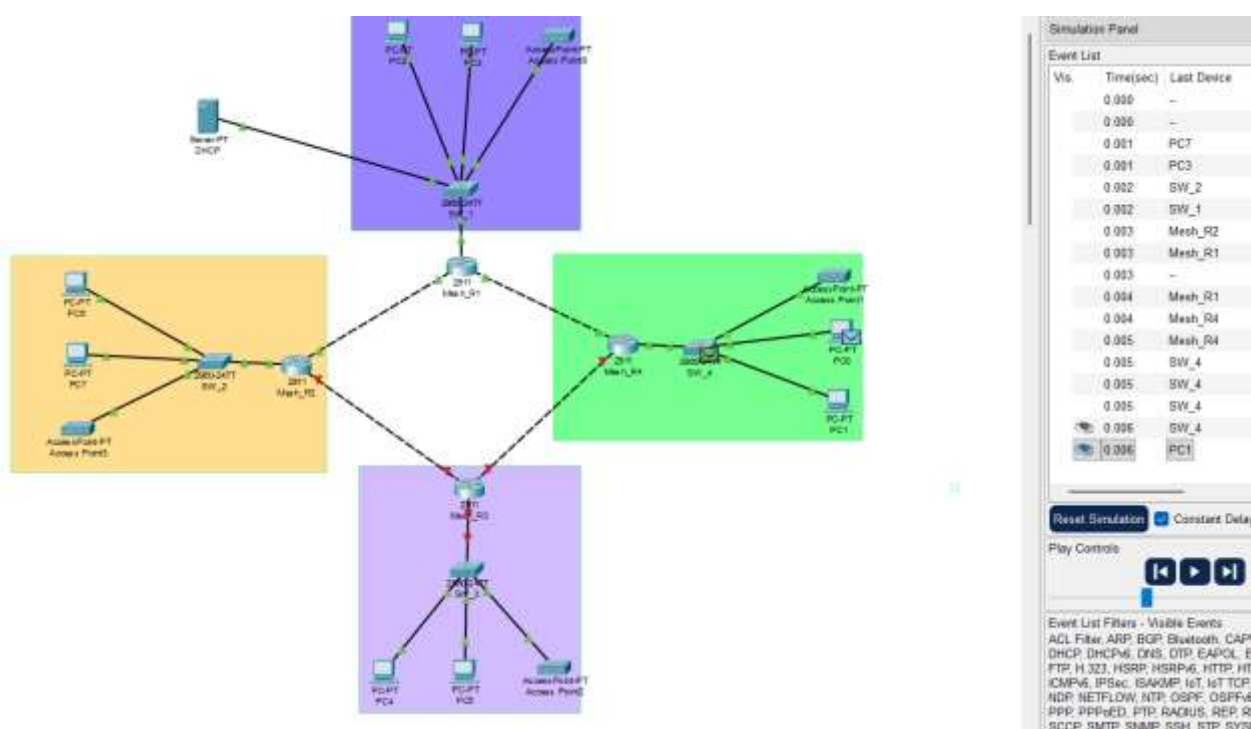


Рис 3.5 тестування мережі при відмові маршрутизатора

Результати експерименту підтвердили високу відмовостійкість mesh-мережі та здатність мережі продовжувати роботу навіть при виході з ладу окремих вузлів.

3.8 Аналіз результатів моделювання

У результаті проведеного моделювання було встановлено, що використання протоколу OSPF забезпечує автоматичне формування маршрутів та швидке відновлення передачі даних після відмови вузлів.

Використання резервних каналів зв'язку дозволило забезпечити безперервну передачу пакетів між вузлами мережі навіть при пошкодженні окремих елементів інфраструктури.

Також було встановлено, що:

- бездротові клієнти успішно отримують IP-адреси через DHCP;
- маршрути OSPF автоматично оновлюються;
- мережа зберігає працездатність при відмові одного з маршрутизаторів;
- передача пакетів здійснюється альтернативними маршрутами.

У третьому розділі дипломної роботи було виконано практичне моделювання mesh-мережі у середовищі Cisco Packet Tracer з метою дослідження можливості забезпечення доступу до мережі Інтернет в умовах надзвичайної ситуації.

У процесі виконання роботи було створено топологію мережі, яка включає маршрутизатори, комутатори, сервер, бездротові точки доступу та клієнтські пристрої. Для забезпечення автоматичного формування маршрутів передачі даних було використано протокол динамічної маршрутизації OSPF.

На всіх мережевих пристроях було налаштовано IP-адресацію, а також реалізовано DHCP-сервер для автоматичної видачі IP-адрес клієнтським пристроям. Для забезпечення бездротового доступу до мережі були налаштовані точки доступу стандарту IEEE 802.11 із використанням захисту WPA2-PSK.

У ході моделювання було виконано тестування передачі пакетів між вузлами мережі за допомогою команд ping та режиму Simulation Mode.

Результати тестування показали успішну передачу даних між усіма сегментами мережі та коректну роботу динамічної маршрутизації.

Особлива увага була приділена дослідженню відмовостійкості mesh-мережі. Для цього було змодельовано відключення одного з маршрутизаторів мережі. У результаті дослідження встановлено, що протокол OSPF автоматично перебудовує маршрути передачі даних та забезпечує подальше функціонування мережі через резервні канали зв'язку.

Проведене моделювання підтвердило, що mesh-мережі є ефективним рішенням для забезпечення зв'язку в умовах пошкодження телекомунікаційної інфраструктури. Основними перевагами такої мережі є висока відмовостійкість, автоматична перебудова маршрутів, можливість швидкого розгортання та підтримка бездротового доступу.

Отримані результати підтверджують доцільність використання mesh-мереж для забезпечення стабільного доступу до мережі Інтернет в умовах надзвичайних ситуацій, аварій або часткового виходу з ладу елементів мережевої інфраструктури.[6][7][8]

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було досліджено особливості побудови та функціонування Mesh-мереж для забезпечення доступу до мережі Інтернет в умовах надзвичайних ситуацій. Актуальність теми обумовлена необхідністю підтримання стабільного зв'язку та передачі даних у випадках пошкодження або повної відмови традиційної телекомунікаційної інфраструктури внаслідок природних катастроф, техногенних аварій, воєнних дій чи інших кризових подій.

У ході виконання роботи було розглянуто принципи функціонування та архітектурні особливості Mesh-мереж, проаналізовано їх переваги та недоліки, а також досліджено сучасні протоколи маршрутизації, що використовуються для організації самоорганізованих мереж. Встановлено, що основною перевагою Mesh-технології є децентралізована структура, яка дозволяє мережі продовжувати функціонування навіть у разі виходу з ладу окремих вузлів або каналів зв'язку.

У роботі проведено аналіз використання Mesh-мереж в умовах надзвичайних ситуацій та виконано порівняння даної технології з мобільними базовими станціями і супутниковим зв'язком. За результатами дослідження визначено, що Mesh-мережі є ефективним рішенням для швидкого розгортання локальної мережевої інфраструктури та забезпечення автономного зв'язку в умовах пошкодження традиційних систем комунікації.

Практична частина роботи була присвячена моделюванню Mesh-мережі в програмному середовищі Cisco Packet Tracer. Було розроблено мережеву топологію, що включає маршрутизатори Cisco 2911, комутатори Cisco 2960, DHCP-сервер, точки бездротового доступу та клієнтські пристрої. Для автоматичного вибору маршрутів передачі даних використано протокол динамічної маршрутизації OSPF. Реалізовано резервні канали зв'язку між вузлами мережі, що забезпечило підвищення її надійності та відмовостійкості.

У процесі тестування було перевірено працездатність мережі в умовах часткового пошкодження інфраструктури. Отримані результати підтвердили здатність мережі автоматично перебудовувати маршрути передачі даних та підтримувати зв'язок між користувачами навіть при відмові окремих вузлів. Це свідчить про високу ефективність використання Mesh-технологій для забезпечення резервного доступу до мережі Інтернет.

Проведене дослідження показало, що Mesh-мережі характеризуються високою масштабованістю, гнучкістю та простотою розгортання. Вони можуть застосовуватися для організації зв'язку на підприємствах, у рятувальних службах, гуманітарних центрах, військових підрозділах та інших об'єктах, де необхідне швидке створення надійної мережевої інфраструктури.

Таким чином, поставлена мета кваліфікаційної роботи була досягнута. У результаті дослідження підтверджено доцільність використання Mesh-мереж для забезпечення доступу до мережі Інтернет в умовах надзвичайних ситуацій. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні систем резервного зв'язку та підвищенні стійкості телекомунікаційної інфраструктури. Перспективним напрямом подальших досліджень є інтеграція Mesh-мереж із технологіями 5G, супутниковими системами зв'язку та платформами Інтернету речей для створення комплексних мереж кризового реагування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Akyildiz I. F., Wang X., Wang W. Wireless Mesh Networks: A Survey // Computer Networks. 2005. Vol. 47, No. 4. P. 445–487.
2. Camp T., Boleng J., Davies V. A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research // Wireless Communications and Mobile Computing. 2002. Vol. 2, No. 5. P. 483–502.
3. Caleffi M., Paura L. Bio-Inspired Routing for Wireless Mesh Networks // Ad Hoc Networks. 2010. Vol. 8, No. 1. P. 86–99.
4. Bruno R., Conti M., Gregori E. Mesh Networks: Commodity Multihop Ad Hoc Networks // IEEE Communications Magazine. 2005. Vol. 43, No. 3. P. 123–131.
5. Zhang Y., Luo J., Hu H. Wireless Mesh Networking: Architectures, Protocols and Standards. Boca Raton : CRC Press, 2007. 621 p.
6. Akyildiz I. F., Xudong W. A Survey on Wireless Mesh Networks // IEEE Communications Magazine. 2005. Vol. 43, No. 9. P. 23–30.
7. Perkins C. E. Ad Hoc Networking. Boston : Addison-Wesley, 2008. 451 p.
8. Toh C. K. Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems. Upper Saddle River : Prentice Hall, 2002. 320 p.
9. Tanenbaum A. S., Wetherall D. J. Computer Networks. 5th ed. Boston : Pearson Education, 2011. 960 p.
10. Stallings W. Wireless Communications and Networks. 2nd ed. Upper Saddle River : Pearson Education, 2005. 584 p.
11. Cisco Networking Academy. Introduction to Networks Companion Guide. Indianapolis : Cisco Press, 2020. 1024 p.
12. Cisco Systems. Wireless Mesh Network Design Guide. URL: <https://www.cisco.com> (дата звернення: 01.06.2026).
13. Cisco Packet Tracer User Guide. Cisco Systems. URL: <https://www.cisco.com> (дата звернення: 01.06.2026).

14. IEEE Standard 802.11s-2020. IEEE Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange Between Systems – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements for Wireless Mesh Networks. New York : IEEE Standards Association, 2020.
15. RFC 3561. Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. Internet Engineering Task Force. URL: <https://www.rfc-editor.org>
16. RFC 3626. Optimized Link State Routing Protocol (OLSR). Internet Engineering Task Force. URL: <https://www.rfc-editor.org>
17. RFC 7181. Optimized Link State Routing Protocol Version 2 (OLSRv2). Internet Engineering Task Force. URL: <https://www.rfc-editor.org>
18. Clausen T., Jacquet P. Optimized Link State Routing Protocol (OLSR). IETF RFC 3626. 2003. 75 p.
19. Johnson D., Maltz D., Hu Y. The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks. IETF RFC 4728. 2007. 107 p.
20. Беркман Л. Н., Баклан І. В. Телекомунікаційні мережі та системи. Київ : Ліра-К, 2020. 368 с.
21. Конахович Г. Ф., Пузиренко О. Ю. Комп'ютерні мережі. Київ : Каравела, 2021. 408 с.
22. Жуков І. А., Гуменюк О. В. Комп'ютерні мережі та телекомунікації. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 420 с.
23. ДСТУ ISO/IEC 27001:2023. Інформаційна безпека, кібербезпека та захист конфіденційності. Системи управління інформаційною безпекою. Вимоги. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023.
24. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с.
25. Farooq M., Waseem M., Khairi A., Mazhar S. A Critical Analysis on the Security Concerns of Internet of Things (IoT) // International Journal of Computer Applications. 2015. Vol. 111, No. 7. P. 1–6.

- 26.Conti M., Giordano S. Mobile Ad Hoc Networking: Milestones, Challenges, and New Research Directions // IEEE Communications Magazine. 2014. Vol. 52, No. 1. P. 85–96.
- 27.OpenWRT Project Documentation. Wireless Mesh Networking Configuration Guide. URL: <https://openwrt.org> (дата звернення: 01.06.2026).
- 28.BATMAN-adv Documentation. Better Approach To Mobile Adhoc Networking. URL: <https://www.open-mesh.org> (дата звернення: 01.06.2026).
- 29.Serval Project. Emergency Communications Using Mesh Networks. URL: <https://www.servalproject.org> (дата звернення: 01.06.2026).
- 30.Gupta P., Kumar P. Capacity of Wireless Networks // IEEE Transactions on Information Theory. 2000. Vol. 46, No. 2. P. 388–404.