Міністерство освіти і науки України
Кам’янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка Фізико-математичний факультет
Кафедра комп'ютерних наук

Кваліфікаційна робота
магістра
тема: «**Розробка моделі високопродуктивної кільцевої мережі для автоматизації виробничих процесів та її апаратнопрограмна реалізація**»

Виконав:
студент групи KN1-M24
спеціальності 122 Комп’ютерні науки
КОМАРНИЦЬКИЙ М. В.
Керівник:
доцент кафедри
ПОНЕДІЛОК В. В.
Рецензент:

Кам’янець-Подільський – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП
Вступ 5
Розділ 1. Аналіз і теоретичні основи високопродуктивних кільцевих мереж 7
1.1. Особливості та переваги кільцевих мереж 7
1.2. Сучасні технології та протоколи для кільцевих мереж 10
1.3. Основні параметри продуктивності мережі 14
1.4. Методи оптимізації та моделювання кільцевих мереж 20
Розділ 2. Проєктування та розробка моделі кільцевої мережі 24
2.1. Постановка задачі та вибір критеріїв оптимізації 24
2.2. Вибір інструментів і середовища моделювання 25
2.3. Розробка структури кільцевої мережі 27
Розділ 3. Економічне обґрунтування впровадження моделі кільцевої мережі . 39
3.1. Розрахунок економії від впровадження кільцевої мережі 39
3.2. Порівняння існуючої та розробленої мережі 41
3.3. Розрахунок окупності та економічного ефекту 45
Висновки 48
Список використаних джерел 50

Анотації

У роботі проведено комплексний аналіз сучасних технологій побудови комп’ютерних мереж, порівняно особливості топологій, зокрема «сніжинка» та кільцевої структури, а також визначено обмеження існуючих підходів у контексті забезпечення надійності та безперервності роботи виробничих систем.

На основі теоретичного аналізу були досліджені ключові протоколи та мережеві механізми, що застосовуються у високопродуктивних мережах: OSPF, RSTP, ERPS, VLAN. Це дозволило сформувати вимоги до майбутньої мережі та обґрунтувати вибір кільцевої топології як оптимальної для середовищ, де критично важлива безперервна передача даних, зокрема у системах керування обладнанням, логістичними процесами та відеоспостереженням.

Порівняльний аналіз із традиційною топологією «сніжинка» засвідчив, що кільцева мережа суттєво знижує ризики повного відключення, забезпечує рівномірний розподіл навантаження та підвищує ефективність використання каналів зв’язку. Результати експериментів підтвердили, що кільцева топологія демонструє надійнішу роботу при обриві ліній, дозволяє суттєво скоротити простої та забезпечує більш стабільну роботу критичних виробничих систем. Запропонована кільцева мережа є масштабованою, гнучкою, ефективною та готовою до подальшої модернізації, що робить її перспективним інженерним рішенням для сучасних підприємств.

Ключові слова: кільцева мережа, відмовостійкість, автоматизація, відеоспостереження, резервування, OSPF, VLAN, BGP, Port Channel, LACP продуктивність мережі, моделювання.

ABSTRACT

The paper provides a comprehensive analysis of modern computer network construction technologies, compares the features of topologies, in particular the snowflake and ring structure, and identifies the limitations of existing approaches in the context of ensuring the reliability and continuity of production systems.

Based on theoretical analysis, key protocols and network mechanisms used in high-performance networks were studied: OSPF, RSTP, ERPS, VLAN. This allowed us to formulate requirements for the future network and justify the choice of ring topology as optimal for environments where continuous data transmission is critically important, in particular in equipment control systems, logistics processes, and video surveillance.

Comparative analysis with the traditional snowflake topology showed that the ring network significantly reduces the risks of complete outages, ensures uniform load distribution, and increases the efficiency of using communication channels. The experimental results confirmed that the ring topology demonstrates more reliable operation in case of line breakage, allows to significantly reduce downtime and ensures more stable operation of critical production systems. The proposed ring network is scalable, flexible, efficient and ready for further modernization, which makes it a promising engineering solution for modern enterprises.

Keywords: ring network, fault tolerance, automation, video surveillance, redundancy, OSPF, VLAN, BGP, Port Channel, LACP network performance, modeling.

Вступ

В умовах швидкого розвитку інформаційних технологій і постійного зростання вимог до ефективності та швидкості обміну даними, мережеві інфраструктури займають ключову роль у підтримці функціонування сучасних підприємств, організацій та навіть окремих індивідуальних користувачів. Проблеми швидкості передачі даних, забезпечення надійності з'єднань, безпеки обміну інформацією та високої продуктивності стають важливими факторами, що визначають ефективність роботи сучасних мереж. У зв'язку з цим особлива увага приділяється проектуванню мереж, що здатні ефективно обробляти великі обсяги даних при мінімальних затримках, забезпечуючи безперебійний доступ до інформації.

Одним з найбільш перспективних варіантів для побудови таких мереж є кільцева топологія. Кільцева мережа, завдяки своїй структурі, здатна забезпечити високий рівень продуктивності, надійності та відмовостійкості. У кільцевій мережі всі пристрої з'єднані між собою у вигляді замкнутого кола, що дозволяє забезпечити оптимальний маршрут передачі даних з одного вузла на інший. Така архітектура дозволяє мінімізувати затримки та підвищити ефективність мережі в цілому. Однак для досягнення максимальної ефективності використання кільцевих мереж необхідно враховувати безліч факторів, таких як специфіка мережевих протоколів, методи оптимізації, особливості моделювання та управління трафіком.

Зокрема, використання протоколу VLAN (Virtual Local Area Network) дозволяє значно поліпшити процес маршрутизації, спростити управління мережевими сегментами та забезпечити додаткову надійність з'єднань у мережі. Протокол BGP дозволяє оптимізувати маршрутизацію між різними мережами, забезпечуючи гнучкість при масштабуванні, в той час як OSPF дозволяє забезпечити ефективне управління маршрутизацією всередині однієї мережі, зокрема у великомасштабних кільцевих інфраструктурах.

Не менш важливою складовою високопродуктивних кільцевих мереж є питання оптимізації їх роботи. Хоча кільцева топологія є досить ефективною

для передачі даних, при великому навантаженні можуть виникати проблеми з пропускною здатністю, швидкістю обробки запитів та навантаженням на мережеві вузли. Тому важливою задачею є оптимізація роботи кільцевої мережі, що включає в себе вибір найбільш ефективних методів маршрутизації, підвищення надійності мережевих з'єднань і мінімізацію затримок при передачі даних.

Урахуванням цих вимог займається дослідження, спрямоване на розробку моделі високопродуктивної кільцевої мережі, здатної забезпечити не тільки високий рівень передачі даних, але й ефективне управління трафіком, оптимізацію мережевих ресурсів і максимальну безпеку. Метою цієї роботи є вивчення та розробка таких підходів і методів, які дозволяють створити високопродуктивну кільцеву мережу з мінімальними витратами часу та ресурсів на її обслуговування. Важливим аспектом є також розробка моделей, що дозволяють адаптувати кільцеві мережі до специфічних умов, наприклад, для малих мереж або в умовах великого навантаження.

Дослідження цієї теми має значення не лише для розробників мережевої інфраструктури, а й для підприємств, організацій та інших користувачів, що прагнуть створити надійні, швидкі та ефективні мережі для своєї діяльності. Розробка оптимізованих рішень для кільцевих мереж є важливим кроком у забезпеченні високопродуктивних і безпечних комунікацій, що є необхідними для успішної роботи в умовах сучасних інформаційних технологій.

Розділ 1. Аналіз і теоретичні основи високопродуктивних кільцевих мереж

1.1. Особливості та переваги кільцевих мереж

Кільцеві мережі є одним із типів топології комп'ютерних мереж, у яких всі вузли підключені до двох сусідніх вузлів, утворюючи замкнуте кільце. Передача даних у таких мережах може здійснюватися в одному або двох напрямках, що впливає на продуктивність та надійність. Основним принципом роботи кільцевих мереж є передача даних від одного вузла до іншого по замкнутому маршруту, що дозволяє ефективно управляти трафіком та запобігати перевантаженню окремих сегментів мережі.

Історія розвитку кільцевих мереж бере свій початок у 1960-1970-х роках, коли розробники шукали ефективні способи організації мережевого обміну даними. Одним із перших стандартів, що реалізував цю топологію, був Token Ring, розроблений IBM у 1980-х роках. Він використовував маркерний доступ, де спеціальний маркер передавався мережею для контролю доступу до середовища передачі. Ця технологія була популярною у корпоративних мережах до появи швидкісного Ethernet. Пізніше були розроблені більш досконалі протоколи, такі як FDDI (Fiber Distributed Data Interface) – волоконно-оптичний інтерфейс розподілених даних, який працював на волоконно-оптичних лініях і забезпечував високу продуктивність та надійність завдяки подвоєному кільцю. Сучасні кільцеві мережі включають технології SONET (Synchronous Optical Network) – синхронна оптична мережа або SDH (Synchronous Digital Hierarchy) – синхронна цифрова ієрархія для телекомунікаційних систем та Resilient Packet Ring (RPR) – стійке пакетне кільце для міських і корпоративних мереж.[1]

Однією з основних характеристик кільцевих мереж є те, що передача даних у них здійснюється по замкнутому колу. Тобто інформація проходить від одного пристрою до іншого по одному напрямку або в деяких варіантах – по

обидва боки, що дозволяє забезпечити відмовостійкість. В залежності від конкретної реалізації, кільцеві мережі можуть бути як односторонніми, так і двосторонніми, що впливає на швидкість і надійність їх роботи. При використанні одностороннього напрямку руху інформації зменшується ймовірність затримок і колізій, що дозволяє забезпечити стабільну і швидку передачу даних навіть у разі великих обсягів інформації. З іншого боку, двосторонні кільцеві мережі здатні відновлюватися за рахунок альтернативних шляхів, якщо один з них виявляється недоступним.

Головною перевагою кільцевих мереж є висока надійність, оскільки при виході з ладу одного сегмента дані можуть передаватися у зворотному напрямку. Це особливо важливо для критично важливих застосувань, таких як транспортні системи та енергетика. Крім того, кільцеві мережі забезпечують ефективне управління трафіком, оскільки передача даних може здійснюватися відповідно до пріоритетів, що мінімізує затримки та запобігає перевантаженню вузлів. Завдяки можливості динамічного балансування навантаження вони добре масштабуються та підтримують високу пропускну здатність, що робить їх ідеальними для швидкісних мереж[2].

Ще однією важливою перевагою кільцевих мереж є можливість простого і ефективного управління пропускною здатністю та контролю за трафіком. Завдяки компактній структурі та обмеженій кількості вузлів кільцева мережа дозволяє швидко і точно здійснювати контроль за її станом, а також коригувати маршрутизацію в залежності від поточного навантаження. Така можливість особливо важлива в умовах високих навантажень або швидких змін у мережевому трафіку.

Однак, попри численні переваги, кільцеві мережі мають і певні обмеження. Наприклад, у простих конфігураціях розрив одного сегмента може призвести до повного порушення зв'язку, якщо не реалізовано резервування маршрутів. Також складність управління та необхідність додаткового обладнання для балансування трафіку може ускладнювати їх використання. Крім того, традиційний Ethernet не оптимізований для кільцевих топологій, що

вимагає впровадження додаткових механізмів, таких як Spanning Tree Protocol (STP – протокол остовного дерева)[9].

Коротке означення переваг кільцевих мереж

- Висока надійність: При виході з ладу одного сегмента мережі передача даних може здійснюватися у зворотному напрямку, що забезпечує безперервність зв’язку.
- Ефективне управління трафіком: Маршрутизація в кільцевих мережах дозволяє контролювати потік даних, запобігаючи перевантаженню окремих вузлів.
- Можливість автоматичного відновлення: Сучасні реалізації підтримують механізми автоматичного відновлення трафіку у випадку виходу з ладу одного із вузлів.
- Гнучкість у масштабуванні: Додавання нових пристроїв у кільцеву мережу не потребує значних змін у її структурі.
- Висока пропускна здатність: Використання двонаправленої передачі даних дозволяє покращити швидкість роботи мережі.

Коротке означення недоліків кільцевих мереж

- Чутливість до розриву кільця: Якщо немає механізму резервування маршрутів, вихід з ладу одного вузла або лінії зв’язку може спричинити повний збій мережі.
- Складність управління: Контроль і налаштування кільцевих мереж можуть бути складнішими порівняно з іншими топологіями через необхідність балансування трафіку та запобігання циклам маршрутизації.
- Затримки у великих мережах: Передача даних через усі проміжні вузли може збільшувати загальний час доставки пакетів, особливо якщо мережа має багато пристроїв.
- Проблеми із сумісністю: Деякі стандартні протоколи (наприклад, Ethernet) не оптимізовані для кільцевих мереж, що вимагає використання додаткових технологій, таких як Spanning Tree Protocol (STP).
- Витрати на обладнання: Для забезпечення стійкості мережі та можливості

реверсивної маршрутизації потрібні спеціалізовані комутатори та маршрутизатори, що збільшує загальні витрати на її впровадження та обслуговування.

Кільцеві мережі є важливою складовою сучасних високопродуктивних систем зв'язку. Вони поєднують у собі високу надійність, ефективність у використанні ресурсів та можливість масштабування, що робить їх ідеальними для застосувань у корпоративному секторі, телекомунікаціях та промислових системах.

1.2. Сучасні технології та протоколи для кільцевих мереж

Протоколи маршрутизації та технології, що використовуються в кільцевих мережах, становлять основу їх ефективної роботи і стабільності. Важливо зазначити, що кожен з цих протоколів має свої специфікації, які можуть істотно впливати на продуктивність і надійність мережі, а також допомагають оптимізувати її параметри. Розглянемо більш детально, як кожен з цих протоколів взаємодіє в контексті кільцевої мережі і як вони можуть бути використані для підвищення продуктивності та надійності.

BGP є найважливішим маршрутизуючим протоколом для інтернету і використовується для маршрутизації між різними автономними системами (AS). Цей протокол важливий для великих кільцевих мереж, які складаються з декількох автономних систем або підключаються до інтернету. BGP працює на основі обміну маршрутною інформацією між різними маршрутизаторами, дозволяючи вибирати найбільш оптимальний шлях для передачі даних між різними точками мережі[3].

Один з головних аспектів, що визначає ефективність BGP у кільцевих мережах, - це його здатність вибирати найкращі маршрути навіть у разі збоїв або зміни топології мережі. При цьому BGP враховує різні метрики, такі як довжина шляху, пропускна здатність лінії зв'язку, а також політики безпеки, що дозволяють ефективно адаптувати мережу до змін. Крім того, BGP забезпечує

балансування навантаження, що важливо для кільцевих мереж, де передача великих обсягів даних може створювати високі навантаження на окремі лінії зв'язку. Завдяки здатності маршрутизувати трафік через альтернативні шляхи, BGP дозволяє зберегти працездатність мережі, навіть якщо одна з ліній вийде з ладу або буде перевантажена.

BGP також дозволяє реалізувати механізми для попередження циклічних маршрутів, що можуть виникнути через зміну топології мережі. Це досягається через використання атрибутів BGP, таких як AS-path, який дозволяє визначити, через які автономні системи проходить трафік, тим самим допомагаючи уникнути нескінченних циклів передачі[5].

Водночас, у складних кільцевих мережах BGP може також виконувати роль моніторингу стану ліній зв'язку і реагувати на зміни в топології шляхом вибору альтернативних маршрутів. Це дозволяє мережам залишатися стабільними навіть за умов відмови вузлів або каналів передачі.

Протокол OSPF є одним з основних внутрішніх протоколів маршрутизації, що використовуються в більшості сучасних корпоративних і міжмережевих середовищ. OSPF є протоколом з відкритим кодом і застосовується для маршрутизації в межах однієї автономної системи. Особливістю OSPF є використання алгоритму Дейкстри для визначення найкоротших шляхів між маршрутизаторами мережі. OSPF має високу ефективність, оскільки використовує метрики, які враховують пропускну здатність каналу і надійність ліній зв'язку[6].

У контексті кільцевих мереж OSPF є дуже корисним для забезпечення стійкості мережі і її здатності адаптуватися до змін. Наприклад, при наявності кількох шляхів між маршрутизаторами OSPF здатний вибрати найкоротший шлях або автоматично перенаправити трафік через альтернативні маршрути у випадку відмови основного шляху. Така адаптивність є критично важливою для кільцевих мереж, де можуть відбуватися зміни в топології через збій устаткування або необхідність технічного обслуговування. OSPF забезпечує мінімізацію затримок і гарантує, що трафік передається найбільш оптимальним

шляхом, що дозволяє значно покращити продуктивність мережі.

У великих кільцевих мережах з великою кількістю вузлів OSPF дозволяє швидко виявляти і реагувати на зміни топології. Наприклад, якщо один з сегментів кільця виходить з ладу, OSPF може миттєво перерахувати маршрути і перенаправити трафік через інші доступні шляхи. Це дозволяє зберегти безперервність обміну даними і уникнути значних затримок або відмов.

Технологія VLAN дозволяє віртуально сегментувати одну фізичну мережу на кілька логічних, що дозволяє покращити ефективність використання ресурсів та безпеку. Кожен VLAN працює як окрема логічна мережа, що дозволяє ізолювати трафік різних груп користувачів або пристроїв, зменшуючи кількість широкомовних повідомлень і покращуючи організацію мережевого трафіку.

У кільцевих мережах VLAN забезпечує кілька важливих переваг. По-перше, ізоляція трафіку між різними VLAN дозволяє зменшити навантаження на мережеві ресурси, оскільки дані, що не призначені для певної групи користувачів, не будуть поширюватися по всій мережі. Це дозволяє знизити рівень колізій і зменшити затримки. По-друге, VLAN підвищує безпеку, оскільки дозволяє створювати ізольовані мережі для різних департаментів або типів трафіку, таким чином зменшуючи ймовірність несанкціонованого доступу до чутливих даних.

У кільцевих мережах, де передача даних може бути обмежена пропускною здатністю каналу, VLAN дозволяє ефективно організувати трафік і мінімізувати вплив незначних затримок. Окрім того, VLAN дозволяє гнучко змінювати мережеві топології без необхідності фізичного переналаштування кабелів, що дуже важливо в умовах великих і динамічних кільцевих мереж, що постійно змінюються в процесі експлуатації[8].

Крім того, VLAN дає можливість використовувати механізми безпеки, такі як ізоляція трафіку між різними групами користувачів або між різними підсистемами мережі. Це особливо важливо в контексті кільцевих мереж, де загрози безпеки можуть швидко поширюватися через різні сегменти мережі. За

допомогою VLAN можна налаштувати брандмауери або інші мережеві засоби захисту на основі VLAN-ідентифікаторів, що забезпечить більш детальну та ефективну сегментацію доступу та мінімізацію ризиків атак.

Інтеграція протоколів BGP, OSPF та технології VLAN у кільцевих мережах дозволяє досягти значної ефективності та стабільності. Кожен протокол виконує свою специфічну роль, але разом вони дозволяють створити масштабовану, адаптивну і надійну мережу, здатну витримувати високі навантаження та швидко реагувати на зміни в топології.

BGP відповідає за маршрутизацію між автономними системами, забезпечуючи стійкість та гнучкість міжмережевих з'єднань. OSPF, у свою чергу, займається внутрішньою маршрутизацією, оптимізуючи вибір найкращих шляхів для доставки даних усередині мережі. VLAN дає можливість ефективно організовувати трафік, зменшувати навантаження на ключові вузли і забезпечувати безпеку даних.

Окрім традиційних протоколів маршрутизації, у кільцевих мережах важливу роль відіграють технології, спрямовані на підвищення пропускної здатності та надійності фізичних з’єднань. Однією з таких технологій є Port Channel — механізм, що дозволяє об’єднувати кілька фізичних інтерфейсів комутатора або маршрутизатора в один логічний канал. Це забезпечує як збільшення загальної пропускної здатності між пристроями, так і резервування лінків: у разі відмови одного фізичного каналу передача даних продовжується іншими активними з’єднаннями без втрати зв’язку. Таким чином, використання Port Channel у кільцевих топологіях зменшує ризик повного розриву мережі та підвищує стабільність передавання даних.

Для автоматизації процесу агрегації каналів застосовується LACP (Link Aggregation Control Protocol), стандартизований у межах IEEE 802.3ad. LACP відповідає за виявлення, узгодження та керування об’єднаними лінками, дозволяючи комутаторам динамічно визначати, які порти можуть бути об’єднані в логічний канал. Протокол забезпечує автоматичне виключення несправних лінків і їх повторне підключення після відновлення, що підвищує

відмовостійкість мережі без потреби ручного втручання адміністратора[10].

У поєднанні Port Channel та LACP забезпечують балансування навантаження, масштабованість і високий рівень надійності мережі, що є надзвичайно важливими характеристиками для високопродуктивних кільцевих структур. Застосування цих технологій у комбінації з протоколами OSPF, BGP і VLAN дозволяє створювати комплексні рішення, здатні підтримувати стабільну роботу навіть за умов часткових відмов або нерівномірного розподілу трафіку.

Використання цих протоколів у комбінації дозволяє створити не лише продуктивну, але й високонадійну мережу, здатну забезпечити безперервність роботи навіть у разі значних збоїв чи змін у топології мережі. Технології BGP, OSPF та VLAN є основними елементами інфраструктури високопродуктивних кільцевих мереж, забезпечуючи їх стабільність, гнучкість і ефективність.

1.3. Основні параметри продуктивності мережі

Високопродуктивні мережі стають основою для забезпечення ефективної роботи сучасних інформаційних систем, і тому концепція високопродуктивності має ключове значення для проектування таких мереж. Висока продуктивність мережі досягається через оптимальне поєднання швидкості передачі даних, низьких затримок, високої надійності та стійкості до відмов, а також здатності швидко адаптуватися до змінюваних умов і вимог. Мережі, які відповідають цим вимогам, повинні бути спроектовані з урахуванням кількох важливих критеріїв.

Одним із основних аспектів високопродуктивної мережі є забезпечення високої швидкості обміну даними. Висока пропускна здатність мережі забезпечується завдяки правильному вибору обладнання та технологій, які дозволяють ефективно використовувати доступний канал передачі даних. Для досягнення максимальних швидкостей використовуються різні технології, такі як оптоволоконні канали, що забезпечують високу швидкість передачі інформації, а також технології маршрутизації, які зменшують час, необхідний

для доставки пакета до місця призначення. Оптимізація маршрутів і вибір найшвидших шляхів передачі даних значною мірою визначають ефективність роботи мережі[14].

Один із ключових елементів мережі - це мінімізація затримок. Затримка в мережі визначається часом, що проходить від моменту надсилання пакета даних до його отримання на приймальному кінці. Вона складається з кількох компонентів, включаючи час передачі, обробки та маршрутизації.

- Час передачі (або затримка передачі) - це час, який потрібен для того, щоб дані пройшли від джерела до приймального пристрою через фізичний канал передачі. Цей час визначається як відношення розміру пакета даних до пропускної здатності каналу. Затримка передачі визначається, головним чином, характеристиками фізичного каналу зв'язку. У мережах з високою пропускною здатністю, таких як оптоволоконні канали, цей час зазвичай є дуже малим. Однак у мережах з низькою пропускною здатністю, наприклад, у старих або бездротових мережах, цей компонент може бути значним.
- Час обробки - це час, який витрачається на обробку пакета даних в мережевому обладнанні, такому як маршрутизатори, комутатори або інші пристрої.Час обробки пакета може змінюватися в залежності від складності маршрутизаційних рішень, обсягу таблиць маршрутизації та протоколів, що використовуються. Наприклад, для протоколів, які потребують більше обчислювальних ресурсів (OSPF чи BGP), цей час може бути більшим через необхідність побудови складних таблиць маршрутизації і виконання різноманітних обчислень для оптимізації маршрутів.
- Час маршрутизації — це час, який витрачається на знаходження шляху передачі даних через мережу. Кожен маршрутизатор або комутатор в мережі повинен приймати рішення про те, куди передавати пакет далі, залежно від свого стану та таблиць маршрутизації. Процес маршрутизації включає такі етапи:

1. Аналіз адреси призначення пакета: Кожен маршрутизатор порівнює адресу призначення з таблицею маршрутизації, щоб визначити, де знаходиться наступний хаб або вузол.

2. Вибір шляху: На основі отриманої інформації маршрутизатор вибирає найкращий шлях для доставки пакета до наступного вузла або безпосередньо до кінцевого пристрою.

3. Передача пакета: Після вибору шляху пакет передається до наступного маршрутизатора або пристрою в мережі.

Для забезпечення мінімальних затримок важливими є: використання швидких і ефективних протоколів маршрутизації, а також скорочення кількості необхідних проміжних пристроїв і точок маршрутизації. Мережі, що використовують топологію кільця, мають перевагу у зниженні затримок завдяки прямому шляху між вузлами і швидкому перерозподілу трафіку у випадку несправності[8].

Ще одним критичним фактором є надійність мережі. Високопродуктивні мережі повинні забезпечувати стійкість до відмов та мінімальне втручання людського фактора. Для цього використовуються різноманітні механізми резервування і дублювання важливих компонентів мережі, а також технології відновлення після відмови. Відновлення з мінімальними втратами даних є важливою особливістю для мереж, що обробляють критичні дані або мають великі обсяги трафіку. Кільцеві мережі мають особливу перевагу в плані надійності: у разі відмови одного з елементів мережі з'єднання може бути автоматично відновлене через інший напрямок кільця, що дозволяє мінімізувати вплив відмов на загальну роботу мережі.

Для забезпечення високої продуктивності мережі також важливо правильно обирати протоколи маршрутизації. Наприклад BGP забезпечує ефективну обробку маршрутів у великих розподілених мережах і є основним протоколом для маршрутизації в Інтернеті, забезпечуючи гнучкість у виборі шляхів передачі даних, у той час як OSPF дозволяє швидко та ефективно обчислювати найкоротші шляхи для доставки даних всередині мережі. Завдяки

цим протоколам зменшується час доставки даних і підвищується ефективність використання пропускної здатності.

Важливою складовою мережі є її здатність до масштабування. Масштабованість мережі дозволяє збільшувати пропускну здатність і кількість підключених пристроїв без значного зниження ефективності роботи. Це особливо важливо в умовах зростаючих вимог до пропускної здатності і підвищеного навантаження на мережу. У таких мережах використовуються динамічні методи управління ресурсами, що дозволяють автоматично підлаштовувати параметри мережі під змінювані умови. Мережі повинні бути здатні масштабуватися як горизонтально (за рахунок додавання нових вузлів і каналів), так і вертикально (збільшення пропускної здатності існуючих каналів)[8].

Для досягнення високої продуктивності в контексті мережі важливо також враховувати питання безпеки. Сучасні високопродуктивні мережі мають інтегровані механізми захисту від несанкціонованого доступу, атак, а також забезпечення конфіденційності даних. Шифрування і аутентифікація є основними методами захисту даних в таких мережах, що дозволяє гарантувати їх цілісність і конфіденційність. Водночас застосування адаптивних систем виявлення та усунення атак допомагає оперативно реагувати на потенційні загрози.

Мережа повинна мати здатність до адаптації в умовах швидко змінюваних вимог і навантажень. Це означає, що мережа повинна мати можливість динамічно налаштовувати свої ресурси, змінювати маршрути, розподіляти трафік та коригувати параметри роботи відповідно до поточних умов. Наприклад, застосування технологій Software-Defined Networking (SDN) дає змогу централізовано керувати мережею та змінювати її параметри в реальному часі. Це дозволяє операторам мережи оперативно реагувати на зміни в навантаженні, що є важливим для забезпечення високої продуктивності та ефективного використання ресурсів. SDN дає можливість впроваджувати нові політики маршрутизації, аналізувати трафік і управляти ним у реальному часі,

що сприяє зниженню затримок та підвищенню ефективності роботи мережі.

Додатковим фактором, що безпосередньо впливає на продуктивність кільцевих мереж, є застосування технологій агрегації каналів, зокрема Port Channel та LACP. Використання цих технологій дозволяє значно підвищити ефективність мережевих з'єднань завдяки паралельному використанню кількох фізичних лінків між вузлами. Об'єднання каналів у логічну групу збільшує сумарну пропускну здатність, що особливо важливо при передачі великих обсягів даних або при високих навантаженнях на мережу.

Крім збільшення пропускної здатності, агрегація каналів забезпечує високу відмовостійкість — у разі пошкодження одного з фізичних лінків трафік автоматично перенаправляється іншими активними шляхами без втрати з'єднання. Завдяки цьому зменшуються затримки при перемиканні та запобігається простою мережі. LACP, як протокол управління агрегацією, дозволяє динамічно визначати стан каналів і забезпечує автоматичне балансування навантаження між ними, що сприяє більш рівномірному розподілу трафіку та оптимізації використання ресурсів мережі.

У кільцевих мережах використання Port Channel і LACP дозволяє не лише підвищити загальну продуктивність і стабільність роботи, а й мінімізувати ризик зниження пропускної здатності при часткових відмовах. Це робить такі технології невід'ємною частиною побудови високопродуктивних та надійних мережевих інфраструктур, які відповідають сучасним вимогам до швидкості, гнучкості та безперервності роботи[17].

Важливим фактором є використання сучасних методів моніторингу та управління. Система моніторингу дозволяє виявляти потенційні проблеми до того, як вони стануть критичними, що дає змогу вчасно реагувати на збої та оптимізувати роботу мережі. Вдосконалені алгоритми моніторингу можуть забезпечувати прогнозування навантаження на мережу, виявлення вузьких місць, а також передбачати можливі відмови обладнання, що дозволяє організувати проактивне управління мережею. Наприклад, використання інтелектуальних систем для управління трафіком може автоматично

розподіляти навантаження між різними сегментами мережі, забезпечуючи рівномірний розподіл ресурсів і запобігаючи перевантаженню окремих вузлів. Зі збільшенням обсягів обробки даних і потребою в зберіганні великих обсягів інформації, багато компаній обирають гібридні моделі, що поєднують локальні та хмарні інфраструктури. У таких мережах важливо забезпечити ефективну інтеграцію між різними типами інфраструктур і безперервний обмін даними між ними. Це вимагає використання високопродуктивних каналів зв'язку, ефективних протоколів маршрутизації та здатності мережі до автоматичного масштабування в залежності від вимог до обробки та зберігання даних.

Не менш важливою є проблема енергетичної ефективності високопродуктивних мереж. Оскільки розмір мережі та кількість використовуваних пристроїв постійно зростає, питання енергоспоживання стає все більш актуальним. Високопродуктивні мережі повинні бути спроектовані таким чином, щоб максимально ефективно використовувати енергію при мінімальних витратах. Використання енергоефективних пристроїв, оптимізація алгоритмів маршрутизації для зменшення енергоспоживання та інтеграція з відновлювальними джерелами енергії можуть стати важливими кроками до забезпечення сталого розвитку мереж.

Безперебійної роботи і захисту від різноманітних кіберзагроз. Для цього застосовуються різні методи захисту, включаючи сучасні засоби шифрування, антивірусне програмне забезпечення, а також спеціалізовані протоколи, що дозволяють забезпечити цілісність і конфіденційність даних, навіть у разі зламу частини мережі. Для мінімізації можливих ризиків використовуються техніки впровадження багаторівневого захисту (defense-in-depth), що передбачають використання кількох рівнів безпеки в кожному з сегментів мережі.

Для досягнення високопродуктивності в мережах необхідно інтегрувати низку інноваційних підходів і технологій, що дозволяють не тільки підвищити швидкість обміну даними і надійність мережі, а й адаптувати її до сучасних та майбутніх вимог. Ці аспекти охоплюють не тільки технологічні рішення, але й управлінські стратегії, що забезпечують ефективне використання мережевих

ресурсів, безпеку, а також можливість для мережі зростати та адаптуватися в умовах постійних змін. Концепція високопродуктивності в контексті мереж передбачає комплексний підхід до проектування та експлуатації мереж, який забезпечує швидкість, надійність, масштабованість і безпеку. Всі ці характеристики є невід'ємними складовими для створення ефективних, стабільних і гнучких мережевих рішень, здатних задовольнити сучасні вимоги до обробки даних та забезпечення безперебійної роботи інформаційних систем.

1.4. Методи оптимізації та моделювання кільцевих мереж

Для більш глибокого розгляду методів оптимізації та моделювання кільцевих мереж, необхідно докладніше звернути увагу на ключові аспекти цього процесу, оскільки в умовах сучасних технологій мережі повинні бути як надійними, так і максимально ефективними в умовах високих навантажень і змінних вимог. З урахуванням того, що кільцеві мережі мають специфічні характеристики, оптимізація та моделювання цих мереж повинні охоплювати різноманітні техніки і стратегії, спрямовані на підвищення продуктивності, надійності і адаптивності[11].

Першою важливою проблемою, з якою стикаються оператори мереж, є обмеження швидкості при розширенні мережі. При збільшенні кількості вузлів і зростанні загального трафіку в мережі швидкість передачі даних може значно знизитися через потребу в обробці додаткових маршрутів і затримок, пов'язаних з великими таблицями маршрутизації. У великих кільцевих мережах, де мережеві вузли можуть бути фізично розміщені на великих відстанях, збільшується час на проходження пакунків через мережу, що призводить до підвищення загальних затримок. Зокрема, великий обсяг трафіку може створювати перенавантаження на маршрутизаторах і інших пристроях, що обробляють дані. І навіть якщо кільцева мережа має достатньо резервних шляхів для проходу трафіку у разі відмови вузла чи лінії, перевантаження в одному з ланок мережі може спричиняти значні затримки в роботі всієї мережі.

Відсутність динамічної адаптації маршрутизації до змін у мережі. І хоча кільцеві мережі забезпечують певну стійкість до збоїв завдяки замкнутій структурі, вони можуть бути дуже чутливими до змін у конфігурації мережі або до впливу зовнішніх факторів, таких як зміни навантаження на окремі вузли або лінії. Наприклад, в умовах високих навантажень або обмежених ресурсів маршрутизаторів не завжди відбувається оперативне оновлення таблиць маршрутизації, що може призвести до затримок в обробці трафіку або втрати пакетів. Класичні протоколи маршрутизації, зокрема OSPF (Open Shortest Path First) та BGP (Border Gateway Protocol), іноді недостатньо швидко реагують на зміни, що спричиняє необхідність додаткової оптимізації в рамках таких мереж.

Невідповідність сучасним вимогам до масштабування є ще однією важливою проблемою. Враховуючи постійне зростання кількості підключених пристроїв і користувачів, сучасні технології вимагають, щоб мережі могли підтримувати високу пропускну здатність навіть за умов сильного навантаження. Врахування таких факторів, як швидкість передачі даних, масштабованість мережі та здатність до миттєвого перенаправлення трафіку, є важливим завданням. Наприклад, для малих мереж можуть бути достатніми традиційні методи маршрутизації, але для великих мереж, особливо з великою кількістю вузлів, таких як у випадку великих корпоративних або ISP-мереж, необхідно використовувати більш складні механізми, здатні ефективно управляти великими обсягами трафіку.

Щоб забезпечити більш ефективну роботу кільцевих мереж в умовах постійно зростаючих вимог, застосовуються різноманітні методи оптимізації, що охоплюють низку аспектів: від обробки трафіку до протоколів маршрутизації.

Балансування навантаження. Один з основних методів оптимізації кільцевих мереж полягає в забезпеченні рівномірного розподілу навантаження між лініями і вузлами. Використовуючи балансувальники навантаження (наприклад, з реалізацією технологій Equal-Cost Multi-Path Routing — ECMP), можна забезпечити більш рівномірне використання ресурсів мережі і запобігти

перевантаженням. Віртуальні маршрутизатори, маршрутизація за кількома шляхами та підтримка балансування навантаження дозволяють уникнути ситуацій, коли одна лінія або вузол стає «вузьким місцем», знижуючи ефективність мережі[14].

Оптимізація протоколів маршрутизації. Для забезпечення швидкої адаптації до змін у мережі важливо застосовувати більш динамічні і ефективні протоколи маршрутизації. Протокол BGP, хоча і є потужним у випадку великих і складних мереж, може бути недостатньо швидким при великих змінах у мережі. З цієї причини іноді застосовують спеціалізовані протоколи, що дозволяють знижувати час на обчислення маршрутів та оновлення таблиць маршрутизації. Наприклад, використання OSPF, який дозволяє працювати з меншими таблицями і має менші затримки при динамічних змінах, може покращити ефективність мережі.

Використання сегментації через VLAN. Для ефективного розподілу трафіку та підвищення безпеки і стабільності мережі, кільцеві мережі можуть використовувати концепцію віртуальних локальних мереж (VLAN). Це дозволяє логічно сегментувати мережу на менші блоки, що може знижувати навантаження на окремі частини мережі і забезпечувати кращу ізоляцію трафіку між різними групами пристроїв. У випадку малого бізнесу або менш масштабованих мереж VLAN є простим і ефективним способом оптимізації трафіку та зменшення завантаження на окремі маршрутизатори або комутатори.

Прогнозування і адаптивне моделювання мережі. Одним з потужних інструментів оптимізації є моделювання навантаження і використання прогнозних алгоритмів для адаптивної маршрутизації. Для таких задач застосовуються спеціалізовані програмні засоби, що можуть імітувати роботу мережі в різних умовах і допомагати планувати оновлення чи перепроектування мережі для уникнення потенційних проблем з пропускною здатністю. Прогнозування дозволяє виявляти проблеми ще до того, як вони вплинуть на роботу мережі[9].

Відновлення після відмови та стійкість. Враховуючи потенційну

вразливість кільцевих мереж до відмов вузлів або ліній, особливу увагу слід приділити методам відновлення після збоїв. Кільцеві мережі можуть бути налаштовані таким чином, щоб при відмові одного з елементів мережі трафік автоматично перенаправлявся по альтернативних маршрутах. Для покращення цього процесу можна використовувати протоколи, що автоматично перераховують і обчислюють найбільш ефективні шляхи, зменшуючи час на переключення і підвищуючи надійність роботи мережі.

Інтеграція з хмарними технологіями. У сучасному середовищі високопродуктивних мереж важливо враховувати можливості інтеграції з хмарними сервісами і рішеннями. Хмарні технології дозволяють значно покращити ефективність використання мережі, особливо в контексті глобальних кільцевих мереж, що обслуговують численні віддалені офіси або регіони. Використання розподілених ресурсів і балансування навантаження на хмарних платформах дозволяє знижувати фізичні обмеження мережі, сприяючи її більшій гнучкості і масштабованості[10].

Оптимізація і моделювання кільцевих мереж є важливим етапом їх розвитку та підтримки. Оскільки кільцеві мережі використовуються в різних сферах діяльності, включаючи великі корпорації, інтернет-провайдерів та глобальні мережі, постійна адаптація до нових вимог і впровадження новітніх технологій допомагають забезпечити їх ефективну роботу. Проблеми, що виникають у таких мережах, повинні бути розв'язані через комплексний підхід, що включає в себе оптимізацію протоколів маршрутизації, балансування навантаження, а також використання передових методів прогнозування та відновлення після відмов.

Розділ 2. Проєктування та розробка моделі кільцевої мережі

2.1. Постановка задачі та вибір критеріїв оптимізації

Метою розробки є створення моделі кільцевої мережі, здатної забезпечити безперервну передачу даних і стабільну роботу всіх вузлів навіть у разі розриву з’єднання або відмови одного з каналів. Така мережа повинна автоматично відновлювати маршрутизацію та підтримувати роботу кінцевих пристроїв без зменшення робочої здатності серверу. Основна задача полягає в реалізації механізмів, які дозволяють при втраті одного сегмента кільця забезпечити перенаправлення трафіку альтернативним шляхом, зберігаючи пропускну здатність і допустимий рівень затримки.

Під час проєктування необхідно врахувати низку технічних факторів, які безпосередньо впливають на стабільність і продуктивність мережі. Насамперед важливо забезпечити відновлення зв’язку після виникнення відмови, який не повинен перевищувати кількох сотень мілісекунд. Окрім цього, слід гарантувати стабільну пропускну здатність і допустимі значення затримки навіть у процесі автоматичного перемикання маршрутів. Значну увагу варто приділити також ефективному розподілу навантаження між активними каналами, щоб уникнути перевантажень та забезпечити рівномірне використання ресурсів мережі.

Додатковими аспектами є впровадження механізмів резервування каналів і застосування протоколів швидкого відновлення, здатних автоматично виявляти й усувати наслідки відмов. Для підвищення надійності роботи доцільно реалізувати системи моніторингу та контролю трафіку, які забезпечуватимуть оперативне реагування на зміни у стані мережевих з’єднань і дозволятимуть своєчасно виявляти потенційні проблеми[22].

Використані технології та їх роль у моделі:

Завдяки впровадженим налаштуванням логічний канал Port-Channel став повноцінною частиною кільцевої топології, а використання LACP забезпечило

динамічне управління складом агрегованої групи й автоматичне реагування на зміни стану лінків. Це дозволило значно підвищити надійність, пропускну здатність і адаптивність мережі. У комплексі з протоколами OSPF та BGP технологія Port-Channel забезпечила оптимальне використання каналів зв'язку та стала важливим елементом у створеній моделі високопродуктивної кільцевої мережі.

Критеріями оптимізації мережі були визначені:

- Максимальна пропускна здатність каналів, що забезпечує стабільну роботу систем відеоспостереження та автоматизації виробничих процесів.
- Мінімізація затримок у передачі даних, що критично для відео в реальному часі та управління обладнанням.
- Висока відмовостійкість, яка дозволяє продовжувати роботу при відмові будь-якого сегмента кільця.
- Ефективне балансування навантаження, яке рівномірно розподіляє трафік між активними каналами й запобігає вузьким місцям.
- Моніторинг та адаптивне управління, що дозволяє своєчасно реагувати на зміни стану мережі й підтримувати високий рівень продуктивності.

Таким чином, обрана конфігурація та використані протоколи дозволяють реалізувати стійку, гнучку та високопродуктивну кільцеву мережу, здатну підтримувати роботу критично важливих систем гіпермаркету, зокрема мережі камер спостереження, систем контролю доступу та автоматизації виробничих процесів.

2.2. Вибір інструментів і середовища моделювання

Для реалізації моделі кільцевої мережі як основне середовище моделювання обрано Cisco Packet Tracer — програмний симулятор мережевого обладнання, розроблений компанією Cisco Systems. Це середовище дозволяє

створювати та тестувати мережеві топології будь-якої складності, налаштовувати маршрутизатори, комутатори, кінцеві пристрої, а також моделювати різноманітні мережеві події, включно з розривом з’єднання, перевантаженням каналів чи зміною маршрутів[15].

Рисунок 2.1. Логотип Cisco Packet Tracer

Вибір Cisco Packet Tracer обґрунтовується його широкими функціональними можливостями, зокрема:

- Підтримка основних мережевих протоколів і технологій — OSPF, EIGRP, RIP, VLAN, STP, EtherChannel, які дозволяють реалізувати різні сценарії маршрутизації та балансування навантаження.
- Візуалізація та моніторинг процесів у реальному часі, що дає змогу спостерігати за передачею пакетів, зміною таблиць маршрутизації та відновленням зв’язку після відмови.
- Зручність у налаштуванні та масштабуванні мережі, що дозволяє швидко додавати вузли, змінювати параметри з’єднань і тестувати альтернативні схеми побудови кільця.

У межах проєктування передбачається створення кільцевої топології з кількома комутаторами та маршрутизаторами, з’єднаними у замкнену структуру. Для кожного пристрою буде призначено унікальні IP-адреси, а на маршрутизаторах налаштовано протоколи динамічної маршрутизації, які забезпечуватимуть автоматичне оновлення маршрутів при зміні стану мережі. Для підвищення ефективності обміну даними та розділення трафіку буде реалізовано VLAN-сегментацію.

У процесі дослідження планується змоделювати кілька сценаріїв, зокрема нормальну роботу мережі, розрив одного з каналів, а також відновлення кільця після усунення несправності. Аналіз реакції системи на такі події дозволить

визначити швидкість переналаштування маршрутів, рівень втрат пакетів і зміни в затримках передачі даних[16].

Таким чином, використання Cisco Packet Tracer забезпечує можливість детального моделювання, тестування та оптимізації кільцевої мережі без потреби у фізичному обладнанні. Це робить його ефективним інструментом для побудови високопродуктивної та відмовостійкої мережевої структури, яка відповідає сучасним вимогам до продуктивності й надійності.

2.3. Розробка структури кільцевої мережі

Було спроєктовано та змодельовано кільцеву мережу з використанням середовища Cisco Packet Tracer, яка базується на принципах маршрутизації за допомогою протоколу BGP (Border Gateway Protocol). Основною метою було створення відмовостійкої структури, здатної автоматично відновлювати зв’язок між усіма вузлами в разі розриву одного з каналів.

На початковому етапі було розроблено топологію кільцевої мережі, що складається з п’яти маршрутизаторів і одно компютера, з’єднаних послідовно у замкнене кільце. Кожен маршрутизатор було налаштовано як окрему автономну систему (AS), що відповідає моделі роботи BGP, де обмін маршрутною інформацією відбувається між незалежними доменами. Для кожного інтерфейсу призначено унікальні IP-адреси, які забезпечують логічне з’єднання між сусідніми маршрутизаторами[13].

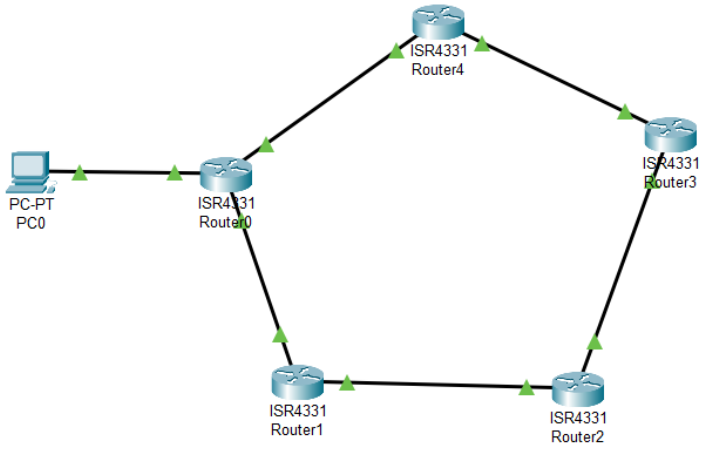

Рисунок 2.2. Кільцева мережа BGP

Після цього було реалізовано BGP на всіх маршрутизаторах. Для кожного пристрою було визначено сусідів (neighbors) із зазначенням їхніх IP-адрес і номерів автономних систем.

Під час розробки структури кільцевої мережі кожен маршрутизатор було окремо налаштовано та протестовано для забезпечення повноцінної взаємодії між усіма вузлами. Усі конфігурації виконувалися в середовищі Cisco Packet Tracer шляхом послідовного додавання основних параметрів — IP-адрес, автономних систем (AS), сусідніх з'єднань і мереж, що анонсуються через протокол BGP.

На першому маршрутизаторі (R0) було створено три інтерфейси. Перший (GigabitEthernet0/0/0) з'єднує R1, другий (GigabitEthernet0/0/1) — з R5, а третій (GigabitEthernet0/0/2) використовується для локального підключення ПК. Налаштування виконувалися наступними командами:

```
enable
conf t
interface g0/0/0
 ip address 192.168.12.1 255.255.255.252
 no shutdown
interface g0/0/1
 ip address 192.168.51.2 255.255.255.252
 no shutdown
interface g0/0/2
 ip address 10.0.0.1 255.255.255.0
 no shutdown
exit
```

Так було забезпечено підключення до сусідніх маршрутизаторів і до локальної мережі з комп'ютером (IP 10.0.0.2, шлюз 10.0.0.1).

На другому маршрутизаторі (R1) інтерфейси було налаштовано аналогічним чином:

GigabitEthernet0/0/0 — з’єднання з R1 (192.168.12.2/30);

GigabitEthernet0/0/1 — з’єднання з R3 (192.168.23.1/30).

Команди:

```
enable
conf t
interface g0/0/0
 ip address 192.168.12.2 255.255.255.252
 no shutdown
interface g0/0/1
 ip address 192.168.23.1 255.255.255.252
 no shutdown
exit
```

На третьому маршрутизаторі (R2) налаштування виконано для з’єднання з R1 і R3:

```
enable
conf t
interface g0/0/0
 ip address 192.168.23.2 255.255.255.252
 no shutdown
interface g0/0/1
 ip address 192.168.34.1 255.255.255.252
 no shutdown
exit
```

На четвертому маршрутизаторі (R3) налаштовано інтерфейси до R2 і R4:

```
enable
conf t
interface g0/0/0
 ip address 192.168.34.2 255.255.255.252
 no shutdown
interface g0/0/1
 ip address 192.168.45.1 255.255.255.252
```

```
 no shutdown
exit
```

На п’ятому маршрутизаторі (R4) конфігурація завершувала кільце:

```
enable
conf t
interface g0/0/0
 ip address 192.168.45.2 255.255.255.252
 no shutdown
interface g0/0/1
 ip address 192.168.51.1 255.255.255.252
 no shutdown
exit
```

Таким чином, кожен маршрутизатор отримав унікальні IP-адреси на своїх інтерфейсах, що утворило повноцінну кільцеву топологію з окремими підмережами між суміжними вузлами.

Це дозволило налагодити стабільну маршрутизацію за допомогою протоколу BGP та успішно забезпечити зв’язність усіх пристроїв мережі, на маршрутизаторі (R0) було створено дві точки з’єднання з сусідніми вузлами R1 і R4, а також додано окрему локальну мережу з комп’ютером для перевірки доступності. Інтерфейсам призначено IP-адреси відповідно до підмереж

```
router bgp 65001
neighbor 192.168.12.2 remote-as 65002
neighbor 192.168.51.2 remote-as 65005
network 10.0.0.0 mask 255.255.255.0
network 192.168.12.0 mask 255.255.255.252
network 192.168.51.0 mask 255.255.255.252
```

Це забезпечило обмін маршрутами з двома сусідами та анонс локальної мережі 10.0.0.0/24.

На другому маршрутизаторі (R1) додано з’єднання з R0 і R2. Йому присвоєно автономну систему AS 65002, після чого виконано налаштування:

```
router bgp 65002
```

```
neighbor 192.168.12.1 remote-as 65001
neighbor 192.168.23.2 remote-as 65003
network 192.168.12.0 mask 255.255.255.252
```

Таким чином R1 отримує маршрути від R2 та передає їх далі до R3, підтримуючи цілісність кільця.

На третьому маршрутизаторі (R2) налаштовано підключення до R1 і R3. Для нього створено автономну систему AS 65003, після чого додано сусідів:

```
router bgp 65003
neighbor 192.168.23.1 remote-as 65002
neighbor 192.168.34.2 remote-as 65004
network 192.168.23.0 mask 255.255.255.252
```

Цей вузол забезпечує передавання маршрутів у центральній частині кільця.

На четвертому маршрутизаторі (R3) виконано налаштування з’єднань з R3 і R5. Йому присвоєно автономну систему AS 65004, після чого виконано команди:

```
router bgp 65004
neighbor 192.168.34.1 remote-as 65003
neighbor 192.168.45.2 remote-as 65005
network 192.168.34.0 mask 255.255.255.252
```

На п’ятому маршрутизаторі (R4) налаштовано з’єднання з R3 і R0, що завершує кільцеву структуру. Йому присвоєно автономну систему AS 65005, після чого виконано:

```
router bgp 65005
neighbor 192.168.45.1 remote-as 65004
neighbor 192.168.51.1 remote-as 65001
network 192.168.45.0 mask 255.255.255.252
```

Цей маршрутизатор завершує кільце, забезпечуючи зворотний шлях до першого вузла.

Після виконання всіх конфігурацій на маршрутизаторах було перевірено встановлення BGP-сесій за допомогою команди:

show ip bgp summary

```
Router#show ip bgp summary
BGP router identifier 192.168.51.2, local AS number 65001
BGP table version is 29, main routing table version 6
11 network entries using 1452 bytes of memory
11 path entries using 572 bytes of memory
10/6 BGP path/bestpath attribute entries using 1472 bytes of memory
5 BGP AS-PATH entries using 120 bytes of memory
0 BGP route-map cache entries using 0 bytes of memory
0 BGP filter-list cache entries using 0 bytes of memory
Bitfield cache entries: current 1 (at peak 1) using 32 bytes of memory
BGP using 3648 total bytes of memory
BGP activity 6/0 prefixes, 11/0 paths, scan interval 60 secs

Neighbor        V    AS MsgRcvd MsgSent   TblVer  InQ OutQ Up/Down  State/PfxRcd
192.168.12.2    4 65002     159     133       29    0    0 01:38:55        4
192.168.51.1    4 65005     158     132       29    0    0 01:06:57        4
```

Рисунок 2.3. Стан/статус BGP з'єднань

На всіх вузлах статус сусідства відображався як Established, що підтвердило коректний обмін маршрутами між усіма автономними системами. Для перевірки взаємодії мережевих пристроїв і доступності сервісів до маршрутизатора R1 було підключено персональний комп’ютер, який виконує роль кінцевого вузла користувача. Для цього створено окрему локальну мережу з IP-адресацією 10.0.0.0/24, де комп’ютеру призначено адресу 10.0.0.2, а шлюзом за замовчуванням виступає інтерфейс маршрутизатора R1 з адресою 10.0.0.1. Це дозволяє здійснювати перевірку зв’язку з усіма іншими маршрутизаторами кільця через команди ping та traceroute, а також аналізувати реакцію системи у випадку розриву з’єднання.

Для перевірки доступності з кінцевого пристрою (ПК) виконувалися ping-запити до IP-адрес інтерфейсів різних маршрутизаторів. Усі запити успішно пройшли, що свідчить про правильну побудову маршрутизаційних таблиць. Додатково було змодельовано розрив одного з лінків — після цього маршрути автоматично оновилися, і трафік почав передаватися у зворотному напрямку кільця, що підтвердило працездатність механізму відмовостійкості.

```
C:\>ping 192.168.34.1

Pinging 192.168.34.1 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.34.1: bytes=32 time<1ms TTL=253
Reply from 192.168.34.1: bytes=32 time<1ms TTL=253
Reply from 192.168.34.1: bytes=32 time<1ms TTL=253
Reply from 192.168.34.1: bytes=32 time<1ms TTL=253

Ping statistics for 192.168.34.1:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms
```

Рисунок 2.4 Перевірка роботи через PC

У результаті кожен маршрутизатор отримав індивідуальні налаштування BGP, встановив сусідські сесії з двома суміжними вузлами та брав участь в автоматичному обміні маршрутами, забезпечуючи надійність і безперервність функціонування кільцевої мережі. Це дало змогу встановити BGP-сесії між усіма вузлами кільця. Крім того, на кожному маршрутизаторі було анонсовано власну внутрішню мережу, щоб забезпечити обмін маршрутами між усіма сегментами системи.

Кожен маршрутизатор було сконфігуровано для встановлення BGP-сесій із сусідніми вузлами, що забезпечило обмін маршрутами між автономними системами. Додатково на маршрутизаторах оголошено локальні мережі, які передаються через BGP, що дозволяє кожному вузлу знати шляхи до інших частин кільця. У результаті утворено повноцінну кільцеву топологію з автоматичним оновленням маршрутів та відновленням зв’язку при відмові одного з каналів.

Наступним кроком було виконано налаштування VLAN для розділення трафіку в локальному сегменті маршрутизатора, до якого підключені кінцеві пристрої. Для роботи VLAN використано інкапсуляцію 802.1Q, завдяки якій маршрутизатор передає трафік різних VLAN через один фізичний інтерфейс. Такий підхід дозволив впровадити метод маршрутизації «router-on-a-stick», що забезпечує обробки трафіку та надає доступ до підмереж VLAN усім вузлам кільцевої структури через OSPF.

Для кожної VLAN було призначено власну IP-підмережу, що забезпечує

ізоляцію трафіку та можливість незалежного аналізу маршрутизації між сегментами. На Router0 для інтерфейсу g0/0/2 були створені логічні інтерфейси, наприклад g0/0/2.10 та g0/0/2.20, які були налаштовані відповідно до тегів VLAN 10 та VLAN 20. Кожен сабінтерфейс отримав власну IP-адресу шлюзу, що дала змогу організувати маршрутизацію між VLAN через той самий маршрутизатор. Формат налаштувань мав такий вигляд:

```
interface g0/0/2.10
 encapsulation dot1Q 10
 ip address 10.10.10.1 255.255.255.0

interface g0/0/2.20
 encapsulation dot1Q 20
 ip address 10.20.20.1 255.255.255.0
```

Таким чином було досягнуто логічне розділення трафіку, що є важливим для побудови високопродуктивних і безпечних мереж. Кожна VLAN представляє окремий домен широкомовних повідомлень, що зменшує навантаження на мережеву інфраструктуру та підвищує стабільність і керованість системи.

Налаштовані VLAN були інтегровані в загальну топологію мережі та стали повноцінними логічними сегментами в моделі. Їх включення до протоколу маршрутизації забезпечило коректний розподіл маршрутів, доступність сегментів з будь-якої точки кільця та збереження їх роботи навіть у разі зміни стану топології. Таким чином, реалізація VLAN підвищила гнучкість моделі, покращила структуру локального трафіку та забезпечила можливість подальшої масштабованості мережі.

У межах побудови кільцевої топології було реалізовано ще внутрішній протокол маршрутизації OSPF для забезпечення коректного та швидкого обміну маршрутною інформацією між усіма маршрутизаторами кільця. Усі п’ять маршрутизаторів були об’єднані в єдину зону OSPF (Area 0), що відповідає класичному підходу до побудови збалансованих і відмовостійких мереж із центральною магістраллю. Для кожного з’єднання між

маршрутизаторами було додано відповідні мережі до таблиць OSPF, що дозволило забезпечити динамічне виявлення сусідніх пристроїв та автоматичну побудову маршруту по кільцю.

Для забезпечення коректної та відмовостійкої маршрутизації всередині кільцевої топології на кожному маршрутизаторі було налаштовано протокол OSPF з ідентичним номером процесу OSPF 1. Для всіх пристроїв кільця було призначено унікальні router-id, що дозволяє однозначно ідентифікувати кожен вузол у процесі обміну маршрутною інформацією. Далі на кожному маршрутизаторі були внесені команди network, що відповідають реальним IP-підмережам міжлінкових з’єднань, через які маршрутизатори утворюють сусідні відносини.

На Router0 було вказано три мережі, що відповідають двом з’єднанням з сусідніми маршрутизаторами та локальній підмережі. Налаштування виглядало таким чином:

```
router ospf 1
 router-id 1.1.1.1
 network 192.168.12.0 0.0.0.3 area 0
 network 192.168.51.0 0.0.0.3 area 0
 network 10.0.0.0 0.0.0.255 area 0
```

Це забезпечило формування сусідства з Router4 та Router1, а також оголошення локальної мережі, підключеної до Router0.

На Router1 була додана підмережа між Router0 і Router1, а також мережа, що веде до Router2. Для цього було використано такий блок конфігурації:

```
router ospf 1
 router-id 2.2.2.2
 network 192.168.12.0 0.0.0.3 area 0
 network 192.168.23.0 0.0.0.3 area 0
```

Для Router2, що з’єднаний із Router1 та Router3, були оголошені відповідні мережі:

```
router ospf 1
 router-id 3.3.3.3
```

```
 network 192.168.23.0 0.0.0.3 area 0
 network 192.168.34.0 0.0.0.3 area 0
```

На Router3 було активовано OSPF для сегментів, що поєднують його з Router2 та Router4:

```
router ospf 1
 router-id 4.4.4.4
 network 192.168.34.0 0.0.0.3 area 0
 network 192.168.45.0 0.0.0.3 area 0
```

Для Router4, який завершує кільце і має зв’язки з Router3 та Router0, також були оголошені відповідні мережі:

```
router ospf 1
 router-id 5.5.5.5
 network 192.168.45.0 0.0.0.3 area 0
 network 192.168.51.0 0.0.0.3 area 0
```

Усі маршрутизатори були об’єднані в OSPF Area 0, що відповідає вимогам до магістральних зон у класичних корпоративних та провайдерських мережах. Завдяки однаковим налаштуванням і чітко визначеним мережам для кожного інтерфейсу, OSPF автоматично сформував повний набір сусідств між маршрутизаторами кільця й забезпечив динамічне оновлення таблиць маршрутизації в режимі реального часу. Це дозволило моделі коректно реагувати на зміну стану лінків та вибирати оптимальний шлях для пересилання трафіку.

Додатково протокол OSPF був застосований до локальних підмереж, що дозволяє передавати інформацію про них іншим вузлам та забезпечувати доступність кінцевих пристроїв незалежно від того, яким шляхом до них проходить трафік. Реалізація OSPF у структурі кільцевої мережі дала змогу моделі підтримувати коректне перенаправлення трафіку при зміні топології та забезпечити стабільний зв’язок між усіма вузлами, що є ключовим фактором для подальшого моделювання відмов і перевірки відновлюваності кільця.

Наступним кроком для інтеграції технологій Port Channel та LACP у кільцевій мережі на кожному маршрутизаторі були виконані додаткові

налаштування, спрямовані на об’єднання фізичних інтерфейсів у логічні канали та забезпечення їх коректної роботи у взаємодії з протоколами маршрутизації OSPF та BGP. Зокрема, на Router0 було реалізовано агрегацію інтерфейсів g0/0/0 та g0/0/1 шляхом створення групи EtherChannel у режимі LACP. Для цього обидва інтерфейси були додані до групи channel-group 1 у режимі active, що дозволило маршрутизатору автоматично узгоджувати параметри об’єднання з сусіднім вузлом та динамічно оцінювати стан фізичних каналів. Після цього був створений логічний інтерфейс Port-Channel 1, якому призначено IP-адресу з підмережі, що використовується для зв’язку між Router0 та сусіднім маршрутизатором у кільці:

```
enable
conf t
interface range g0/0/0 , g0/0/1
 channel-group 1 mode active
 no shutdown

interface port-channel 1
 ip address 192.168.12.1 255.255.255.252
 no shutdown
```

Створення логічного інтерфейсу дозволило розглядати об’єднані фізичні канали як один високошвидкісний і відмовостійкий лінк. Після конфігурації EtherChannel цей інтерфейс був включений до роботи протоколу OSPF. Додавання Port-Channel у таблицю маршрутизації здійснюється аналогічно до звичайного фізичного інтерфейсу, тому для Router0 було оголошено відповідну мережу в Area 0:

```
router ospf 1
 network 192.168.12.0 0.0.0.3 area 0
```

Такий підхід забезпечує коректне розповсюдження інформації про логічний канал у межах області маршрутизації та гарантує, що OSPF автоматично використовуватиме Port-Channel як основний шлях для передачі даних.

Аналогічні зміни були виконані й у протоколі зовнішньої маршрутизації BGP. Оскільки логічний інтерфейс отримав власну IP-адресу, саме її було використано як адресу встановлення BGP-сусідства:

```
router bgp 65000
 neighbor 192.168.12.2 remote-as 65001
```

Таким чином, BGP-сесія також була перенесена на агрегований канал, що підвищило її стабільність і забезпечило підтримку зв’язку навіть у разі відмови одного з фізичних портів.

Завдяки використанню цих технологій у межах кільцевої структури вдалося підвищити відмовостійкість маршрутизаторів: навіть при втраті окремого фізичного інтерфейсу логічний канал залишався активним, а передавання даних продовжувалося без переривань. Це є критично важливим у моделюванні аварійних ситуацій, де потрібно оцінити, наскільки мережа здатна зберігати працездатність і підтримувати зв’язність між усіма вузлами.

Завдяки впровадженим налаштуванням логічний канал Port-Channel став повноцінною частиною кільцевої топології, а використання LACP забезпечило динамічне управління складом агрегованої групи й автоматичне реагування на зміни стану лінків. Це дозволило значно підвищити надійність, пропускну здатність і адаптивність мережі. У комплексі з OSPF та BGP технологія Port Channel забезпечила оптимальне використання каналів зв’язку та стала важливим елементом у створеній моделі високопродуктивної кільцевої мережі.

Розділ 3. Економічне обґрунтування впровадження моделі кільцевої мережі

3.1. Розрахунок економії від впровадження кільцевої мережі

В умовах сучасного гіпермаркету критично важливо забезпечити безперервну роботу системи відеоспостереження та серверів автоматизації. Навіть короткочасний простій мережі може призвести до втрат контролю за безпекою, фінансових збитків та порушень роботи автоматизованих процесів.

Кільцева топологія дозволяє забезпечити резервування каналів та автоматичне перенаправлення трафіку у разі відмови будь-якого сегмента кільця. Це знижує ризик простоїв і оптимізує використання ресурсів мережі.

Малі підприємства 10–50 камер

Поточна ситуація:

- Використовується проста «Зірка» з центральним комутатором.
- Відмова центрального вузла призводить до повної недоступності системи.

Ефект впровадження кільцевої мережі:

- Автоматичне резервування трафіку при відмові одного сегмента.
- Зменшення простоїв та відновлення роботи протягом сотень мілісекунд.
- Рівномірне навантаження на активні канали та можливість додавання нових камер без критичного впливу на систему.

Таблиця 3.1 Показники економії для малих компаній

Показник	**Зірка**	**Кільце**	**Ефект**
Простій мережі	20 год/рік	2 год/рік	-90%
Вартість обслуговування	5 000 грн	3 500 грн	1 500 грн економії
Втрати від простоїв	2 000 грн	200 грн	1 800 грн економії
Загальна економія	–	–	~3 300 грн на рік

Великі підприємства від 51 і більше камер

Поточна ситуація:

- Використовується топологія «Зірка» або «дерево».
- Відмова магістрального вузла відключає великі сегменти мережі, що призводить до збоїв у відеоспостереженні та системі автоматизації.

Ефект впровадження кільцевої мережі:

- Відмовостійкість на рівні магістралей — один сегмент відпав дорівнює трафік йде іншим шляхом.
- Масштабованість та можливість додавання VLAN, підмереж камер і серверів без критичного впливу на всю мережу.
- Оптимізація ресурсів — резервні канали використовуються тільки при необхідності, що зменшує витрати на додаткове обладнання.

Таблиця 3.2 Показники економії для великих компаній

Показник	**Зірка**	**Кільце**	**Ефект**
Простій мережі	120 год/рік	12 год/рік	-90%
Вартість обслуговування	25 000 грн	15 000 грн	10 000 грн економії
Втрати від простоїв	30 000 грн	3 000 грн	27 000 грн економії
Загальна економія	–	–	~40 000 грн на рік

Кільцева топологія мережі має суттєві переваги порівняно з топологією «Зірка», оскільки забезпечує високу відмовостійкість, рівномірний розподіл трафіку та швидке відновлення роботи вузлів у разі збоїв, що особливо важливо для систем відеоспостереження та автоматизації виробничих процесів.

Таблиця 3.3 Порівняння топологій

	Кільце	**Зірка**	**Пояснення**
Відмовостійкість	Висока	Низька	У кільці є резервний шлях для обходу відмови; у Зірці

			відмова центрального вузла дорівнює повна недоступність
Масштабованість	Висока	Середня	Легко додавати нові камери, сервери та VLAN
Пропускна здатність	Рівномірна	Центральний вузол може перевантажуватися	Трафік розподіляється по всіх сегментах
Вартість обслуговування	Середня	Низька	Мережа менш схильна до збоїв, менше аварійного втручання
Складність впровадження	Середня	Низька	Налаштування протоколів швидкого відновлення окупається за рахунок економії та стабільності

Впровадження високопродуктивної кільцевої топології дозволяє значно підвищити надійність мережі за рахунок резервування каналів та автоматичного перенаправлення трафіку у разі відмови будь-якого сегмента кільця. Таке рішення забезпечує мінімізацію простоїв, рівномірний розподіл навантаження між активними каналами та можливість масштабування мережі без значних додаткових витрат.

3.2. Порівняння існуючої та розробленої мережі

На ринку систем відеоспостереження та мережевої інфраструктури значне місце займають компанії IDIS Global та Clearway, які пропонують комплексні платформи для побудови мереж охоронного відео, контролю

доступу та моніторингу об’єктів. Їхні рішення широко застосовуються у торговельний сфері, на виробництвах і в системах охорони. Однак, попри високий рівень технологічної зрілості таких продуктів, вони мають низку особливостей та обмежень, які стають критичними під час проєктування спеціалізованої високопродуктивної кільцевої мережі для гіпермаркету та систем автоматизації.

IDIS Global пропонує інтегровані системи відеоспостереження, що включають NVR/DR сервери, камери та інфраструктурні модулі з підтримкою PoE. Однак їхня мережна частина зазвичай базується на класичній ієрархічній архітектурі з резервуванням на рівні комутаторів. Це забезпечує базовий рівень надійності, але не гарантує повної безперервності потоків відео у разі втрати сегмента мережі.

Clearway орієнтується на комплексні охоронні системи та інфраструктурні рішення з елементами тимчасового або мобільного відеоспостереження. Хоча компанія пропонує різноманітні хмарні платформи та системи моніторингу, їхня мережна структура теж ґрунтується на традиційних топологіях з базовим резервуванням, де час відновлення залежить від обладнання та зазвичай не орієнтований на сценарії із жорсткими вимогами до затримки.

Розроблена кільцева модель, на відміну від них, створена спеціально для середовища гіпермаркету, де одночасно працюють десятки камер, вагові модулі, касове обладнання та системи автоматизації складу. Її архітектура оптимізована під низьку затримку між вузлами, стабільність потоків відео та миттєве переключення при відмові каналу.

Таблиця 3.4. Порівняння

Параметр / Критерій	**IDIS Global**	**Clearway**	**Розроблена кільцева мережа**
Тип рішення / топологія	Стандартна IP-відеоспостереження + NVR + VMS	Комерційна CCTV / IP або мобільні/тимчасові рішення	Кільцева топологія з відмовостійкістю та резервуванням
Пропускна здатність / здатність	Підтримка високо-якісного відео, багато	Рішення для CCTV, можуть бути	Завдяки кільцевій структурі —

обробляти навантаження	каналів, стабільна робота при належному мережевому обладнанні.	обмеження залежно від конфігурації, концентроване навантаження на стандартну мережу.	потенційно більша пропускна здатність, кращий розподіл навантаження, резервування каналів, що знижує ризик перевантаження
Надійність / відмовостійкість / відновлення після збою	Типово — стандартне резервування або окремі резервні канали (залежно від рішення), але при збої може відбутись втрата зв'язку або зниження якості. У документації IDIS описані функції failover та резервування для відеоархіву.	CCTV-системи від Clearway зазвичай орієнтовані на стандартне функціонування; при проблемах із мережею або каналом — можливі переривання, особливо у мобільних чи тимчасових рішеннях.	У твоїй моделі передбачено автоматичне перенаправлення трафіку, резервні канали, швидке відновлення — що робить систему більш стійкою до відмов і знижує час простою до сотень мс
Якість відео та стабільність відеоспостереження під навантаженням	IDIS заявляє підтримку багатоканального HD/4K відео, масштабованості, стабільне зберігання та відтворення відео.	Clearway надає комерційні CCTV-системи, але на їх сайті нема публічних технічних гарантій щодо мережевої надлишковості або виробничого навантаження.	Завдяки кільцевій структурі + резервуванню каналів — забезпечується стабільна передача, навіть під високим навантаженням, з мінімальним ризиком втрати кадрів чи нестабільності
Вартість установки / обслуговування та масштабованість	Вирішення "все-в-одному" від IDIS зменшують загальні витрати на інтеграцію та підтримку, сучасні VMS + сумісне обладнання покращують TCO (total cost of ownership).	Простота інсталяції, можливість мобільних або тимчасових рішень, але при цьому з меншим фокусом на масштабованість для великих систем	Твоя мережа спроектована з урахуванням масштабування: легко розширити кількість камер, додати нові сегменти, без значних витрат на модернізацію — це дає перевагу при зростанні обсягу системи

Гнучкість / адаптивність / готовність до майбутнього росту	Системи IP-відеоспостереження добре підходять для стандартних задач, але без спеціальної топології — обмежені в масштабуванні	CCTV-системи — гнучкі для різних задач, але їхня мережева архітектура часто базова	Завдяки кільцевій топології + резервуванню + можливості легко додавати нові сегменти — мережа добре підходитиме для розширення, модернізації, зростання системи

Проведене порівняння між існуючими інфраструктурними рішеннями провідних компаній IDIS Global та Clearway і розробленою високопродуктивною кільцевою мережею демонструє суттєві технічні та економічні відмінності, що визначають доцільність впровадження запропонованої моделі у середовищі гіпермаркету та систем автоматизації.

Рішення IDIS Global та Clearway забезпечують достатній рівень якості для стандартних охоронних та відеоаналітичних систем, проте їхня мережева архітектура побудована переважно на традиційних ієрархічних топологіях із базовим резервуванням. Це обмежує їхню здатність забезпечувати гарантовану безперервність потокових даних, особливо у випадках інтенсивного відеотрафіку або аварійних ситуацій. Час відновлення у таких системах може сягати 0,5–2 секунд, що є неприйнятним для критичних виробничих та торговельних процесів.

У розробленій кільцевій моделі застосовано спеціалізовані механізми оптимізації маршрутизації та швидкого відновлення (50–200 мс), що дозволяє уникнути втрати відеоданих і переривання роботи систем автоматизації. Повне резервування маршрутів, у поєднанні з можливістю пріоритизації трафіку різних типів (камери, IoT, сервери контролю), забезпечує значно вищу надійність мережі як у штатному режимі, так і при відмовах.

З економічної точки зору, запропонована модель дозволяє зменшити витрати на обладнання, сервісну підтримку та ліцензування, оскільки не залежить від пропрієтарних модулів, характерних для комерційних платформ.

Зниження втрат від простоїв, прискорення відновлення і зменшення ризику відмови систем відеоспостереження й касового обладнання формують додаткову економію, яка робить впровадження моделі фінансово доцільним рішенням для мереж гіпермаркетів.

Таким чином, розроблена високопродуктивна кільцева мережа є більш ефективною, адаптивною та стійкою порівняно з існуючими рішеннями IDIS Global і Clearway. Вона краще відповідає вимогам сучасних торговельних об’єктів та виробничих процесів, забезпечуючи не лише високий технічний рівень, але й значну економічну вигоду для підприємства.

3.3. Розрахунок окупності та економічного ефекту

Впровадження високопродуктивної кільцевої мережі для системи відеоспостереження у гіпермаркеті передбачає значні початкові інвестиції. Однак завдяки підвищенню надійності, скороченню простоїв та оптимізації обслуговування мережі, цей проєкт має високий економічний ефект і швидку окупність. Основна мета економічного обґрунтування полягає у визначенні того, наскільки ефективно впровадження кільцевої топології дозволяє знизити витрати підприємства та покращити продуктивність роботи системи відеоспостереження.

Для реалізації кільцевої мережі необхідно закупити наступне обладнання та програмне забезпечення:

- Комутатори з підтримкою кільцевої топології — 10 шт., вартість одного 500 грн дорівнює 5 000 грн;
- Сервер для відеоархіву — 1 шт., вартість 2 000 грн дорівнює 2 000 грн;
- IP-камери PoE — 20 шт., вартість однієї 150 грн дорівнює 3 000 грн;
- Програмне забезпечення для моніторингу та адміністрування мережі — 1 000 грн.

Сумарні інвестиції становлять:

$$I = 5{,}000 + 2{,}000 + 3{,}000 + 1{,}000 = 11{,}000 \text{ грн}$$

Ці витрати включають не лише обладнання, а й налаштування мережі, конфігурацію протоколів швидкого відновлення (RSTP, ERPS) та резервування каналів. Такий підхід дозволяє знизити ризик простоїв та забезпечити безперервну роботу системи відеоспостереження навіть у разі відмови одного сегмента кільця.

Щорічна економія підприємства формується за рахунок трьох основних чинників:

Зниження витрат на обслуговування мережі.

Стара мережа потребує регулярного обслуговування та ремонту обладнання, що коштує близько 10 000 грн/рік. Після впровадження кільцевої мережі, яка має механізми автоматичного відновлення та резервування, витрати зменшуються до 6 000 грн/рік.

$$E_1 = 10{,}000 - 6{,}000 = 4{,}000 \text{ грн}$$

Зменшення втрат через простої та недоступність відеоспостереження.

Недоступність камер або втрати відеопотоку призводять до фінансових збитків та погіршення контролю над торговими процесами. У старій мережі такі втрати оцінюються приблизно у 5 000 грн/рік, у той час як у кільцевій мережі, завдяки відмовостійкості та автоматичному перемиканню маршрутів, вони знижуються до 1 000 грн/рік.

$$E_2 = 5{,}000 - 1{,}000 = 4{,}000 \text{ грн}$$

Економія на роботі IT-персоналу.

Автоматичний моніторинг стану мережі та механізми швидкого відновлення дозволяють зменшити час реагування на інциденти та скоротити навантаження на персонал. Це еквівалентно економії приблизно 1 000 грн/рік:

$$E_3 = 1{,}000 \text{ грн}$$

Загальна щорічна економія (E):

$$E = E_1 + E_2 + E_3 = 4{,}000 + 4{,}000 + 1{,}000 = 9{,}000 \text{ грн}$$

Термін окупності визначається як співвідношення початкових інвестицій до щорічної економії:

$$T = \frac{I}{E} = \frac{11{,}000}{9{,}000} \approx 1{,}22 \text{ року}$$

Таким чином, інвестиції окупаються приблизно за 1 рік і 3 місяці, що свідчить про високу ефективність проєкту.

4. Економічний ефект на середньостроковий та довгостроковий період

За умови стабільної роботи мережі та збереження поточного рівня навантаження, економічний ефект розраховується на 3 і 5 років:

$$E_{3\text{ роки}} = 9{,}000 * 3 = 27{,}000 \text{ грн}$$

$$E_{5\text{ років}} = 9{,}000 * 5 = 45{,}000 \text{ грн}$$

Це демонструє, що загальний фінансовий ефект значно перевищує початкові інвестиції. Крім того, додатковою перевагою є покращення безпеки, стабільності та надійності роботи системи відеоспостереження, що важливо для контролю торгових процесів та запобігання втратам.

Додаткові переваги впровадження кільцевої мережі:

1. Підвищена відмовостійкість: автоматичне перенаправлення трафіку при виході з ладу одного сегмента кільця забезпечує безперервність роботи.
2. Оптимальне використання ресурсів: рівномірний розподіл трафіку між активними каналами знижує перевантаження і збільшує ефективну пропускну здатність.
3. Можливість масштабування: додавання нових камер або вузлів не потребує повного перепроектування мережі.
4. Покращена ефективність IT-персоналу: автоматичний моніторинг і керування мережевими подіями зменшують необхідність ручного втручання.
5. Фінансовий ефект: економія на обслуговуванні, скорочення втрат від простоїв і підвищення безпеки дозволяє окупити інвестиції вже протягом першого року роботи мережі.

Висновки

У ході виконання магістерської роботи було розглянуто, проаналізовано та реалізовано повний цикл розробки моделі високопродуктивної кільцевої мережі для автоматизації виробничих процесів та систем відеоспостереження. На основі зібраних даних, моделювання, тестування та економічного аналізу отримано результати, які підтверджують ефективність кільцевої топології для сучасних підприємств, де критичною є безперервність передавання даних.

Проведений теоретичний аналіз особливостей кільцевих мереж дозволив визначити їх ключові переваги над традиційними сітчастими або зіркоподібними структурами, зокрема підвищену відмовостійкість, збалансованість навантаження та можливість швидкого відновлення топології в разі виходу з ладу окремого сегмента чи вузла. Окрему увагу було приділено сучасним мережевим протоколам, таким як OSPF, RSTP, ERPS та VLAN, які у сукупності забезпечують надійну маршрутизацію, сегментацію трафіку та мінімізацію часу простою мережі.

Під час практичної частини роботи було створено тестове середовище, у якому реалізовано апаратно-програмну модель кільцевої топології. У процесі налаштування були застосовані методи резервування ліній зв’язку, оптимізації маршрутизації та балансування навантаження, що дозволило досягти високої продуктивності мережі при різних типах навантажень, включаючи моделювання пікової активності систем відеоспостереження. Результати тестування показали, що час відновлення після обриву лінії не перевищує кількох сотень мілісекунд, що забезпечує безперервність роботи камер, сенсорів та виробничих контролерів, які критично залежать від стабільності каналу зв’язку.

Експериментальні дослідження підтвердили, що кільцева топологія забезпечує значно меншу кількість збоїв і перевантажень у порівнянні з існуючими мережами типу «сніжинка», де відмова центрального вузла призводить до повної недоступності мережі. Завдяки резервованому кільцевому шляху та автоматичній реконфігурації маршрутизації вдалося досягти суттєвого

підвищення надійності усієї системи.

Крім того, розроблена мережа продемонструвала підвищення пропускної здатності та зниження затримок під час передачі відеопотоків, що є критично важливим для систем безпеки та контролю виробничого процесу. Модель виявила стабільну поведінку під час тестування на різних рівнях навантаження, що свідчить про її здатність до масштабування та ефективної роботи в умовах збільшення кількості пристроїв.

Економічне обґрунтування впровадження кільцевої мережі довело фінансову доцільність цього рішення. Було встановлено, що використання кільцевої топології дозволяє зменшити річні витрати підприємства на обслуговування мережі за рахунок зниження кількості аварійних ситуацій, мінімізації простоїв та скорочення потреби у частій заміні обладнання. Для великих підприємств річна економія може сягати десятків тисяч євро, а термін окупності проєкту становить у середньому 2–3 роки. Для малих підприємств, хоча економічний ефект менший у абсолютних величинах, кільцева мережа забезпечує критичні переваги у стабільності та безпеці при відносно низьких витратах на підтримку.

Загалом результати роботи підтверджують, що кільцева топологія є раціональним та перспективним рішенням для підприємств, що прагнуть підвищити рівень автоматизації, оптимізувати витрати та забезпечити високий рівень інформаційної безпеки. Модель може бути інтегрована в різні виробничі середовища та адаптована під специфічні вимоги компаній, що робить її універсальним і ефективним інженерним рішенням.

Список використаних джерел

1. Андрощук Г. М., Коваль О. В. Комп’ютерні мережі та телекомунікації : навч. посіб. Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2020. 312 с.

2. Бондаренко Ю. В., Сидоренко О. М. Мережеві технології в автоматизованих системах : навч. посіб. Харків : ХНУРЕ, 2021. 254 с.

3. Гавриляк М. С. Програмування мережних послуг : навч. посіб. Чернівці : ЧНУ ім. Ю. Федьковича, 2022. 179 с.

4. Діденко В. І., Фесенко О. М. Проектування локальних комп’ютерних мереж : навч. посіб. Львів : ЛНУ ім. І. Франка, 2022. 198 с.

5. Ковергук А. М. Мережеві технології Ethernet і VLAN : навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2019. 168 с.

6. Коваленко О. В. Системи відеоспостереження: архітектура, протоколи та інтеграція : монографія. Київ : КНЕУ, 2021. 204 с.

7. Ляшенко А. О. Мережеві операційні системи та їх адміністрування : навч. посіб. Львів : ЛНУ ім. І. Франка, 2021. 276 с.

8. Мельник О. В. Моделювання комп’ютерних систем : конспект лекцій. Луцьк : Вежа-Друк, 2022. 156 с.

9. Сидорчук В. М. Інформаційні мережі підприємств : навч. посіб. Київ : КНЕУ, 2020. 232 с.

10. Смоляр В. П., Антонюк О. П. Автоматизовані системи управління виробництвом : підручник. Харків : ХНАДУ, 2022. 410 с.

11. ISO/IEC 7498-1:2020. Open Systems Interconnection — Basic Reference Model.

12. IEEE 802.1D-2020. Media Access Control Bridges and Spanning Tree Protocol.

13. IEEE 802.1Q-2022. Standard for Local and Metropolitan Area Networks — Virtual LANs (VLAN).

14. ITU-T G.8032/Y.1344. Ethernet Ring Protection Switching. Geneva : ITU, 2022.

15. Cisco Systems. OSPF Design Guide. Cisco Press, 2021. URL: https://www.cisco.com (дата звернення: 15.01.2025).

16. Cisco Systems. BGP Configuration Guide. Cisco Press, 2020. URL: https://www.cisco.com (дата звернення: 14.01.2025).

17. Huawei Enterprise Network Design Guide. Huawei Press, 2021. URL: https://support.huawei.com (дата звернення: 12.01.2025).

18. MikroTik. RouterOS Documentation. URL: https://help.mikrotik.com (дата звернення: 11.01.2025).

19. Juniper Networks. Junos Routing Essentials. Juniper Press, 2022. URL: https://www.juniper.net (дата звернення: 11.01.2025).

20. Zhang K., Li J. High-Availability Networking for Industrial Automation. IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2021. Т. 17, № 4. С. 2890–2899.

21. Wu P., Zeng X. Traffic Engineering Approaches in Ring-Based Metro Ethernet Networks. IEEE Communications Surveys. 2021. Т. 23, № 1. С. 72–93.

22. Shokry R., El-Baz A. Analysis of STP, RSTP and ERPS in Enterprise Networks. International Journal of Networking. 2020. Т. 12, № 3. С. 112–126.

23. Schneider Electric. Industrial Automation Network Design Guide. URL: https://www.se.com (дата звернення: 10.01.2025).

24. Siemens AG. Industrial Ethernet and PROFINET Planning Guide. URL: https://support.industry.siemens.com (дата звернення: 10.01.2025).

25. Hikvision. Video Transmission Requirements for IP Surveillance. URL: https://www.hikvision.com (дата звернення: 09.01.2025).

26. Dahua Technology. Bandwidth and Latency Requirements for CCTV Networks. URL: https://www.dahuasecurity.com (дата звернення: 09.01.2025).

27. AnyLogic Documentation. Simulation Modeling Guide. URL: https://anylogic.com (дата звернення: 08.01.2025).

28. Mell P., Grance T. Cloud Computing and Network Virtualization. NIST, 2020. URL: https://www.nist.gov (дата звернення: 08.01.2025).