

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
РАДІОТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
кафедра РАДІОІНЖЕНЕРІЇ

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

До захисту допущено:  
В.о. завідувача кафедри  
\_\_\_\_\_ Сергій МАРТИНЮК  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**Магістерська дисертація**  
**на здобуття ступеня магістра**  
**за освітньо-професійною програмою**  
**«Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія»**  
**зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»**  
**на тему: «Метод удосконалення управління ресурсами за допомогою**  
**мережі використовуючи якість обслуговування»**

Виконав студент II курсу, групи PI-21 мп

Восковий Владислав Володимирович  
(прізвище, ім'я, по-батькові)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Науковий керівник:

Кандидат технічних наук Літвінцев Сергій Миколайович  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент:

Старший викладач, PhD каф. РТС Мирончук Олександр Юрійович  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.  
Студент Восковий В.В.

Київ – 2024

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Радіотехнічний факультет  
Кафедра радіоінженерії**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)  
Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»  
Освітньо-професійна програма «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
В.о.зав. кафедри РІ  
Сергій МАРТИНЮК

«13» листопада 2023 року

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію студенту**

**ВОСКОВИЙ Владислав Володимирович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема дисертації** Метод удосконалення управління ресурсами за допомогою мережі використовуючи якість обслуговування

науковий керівник дисертації

ЛІТВІНЦЕВ Сергій Миколайович кандидат технічних наук

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «09» листопада 2023 р. №5206-с

**2. Термін подання студентом дисертації**

**3. Об'єкт дослідження:** система управління мережними ресурсами.

**4. Вихідні дані:**

Повнозв'язна топологія QoS. Хронометричний діапазон від 0 мс до 2400 мс, моделювання повнозв'язної топології з використанням 8, 16, 24 персональних комп'ютерів, Продуктивність процесорів 1, 2, 3, 5 ГФлопс/с

**5. Перелік завдань, які потрібно розробити:**

1. Інформаційно-аналітичний огляд щодо методів удосконалення управління мережними ресурсами: загальні принципи керування мережними ресурсами; огляд організаційних схем з улаштування

мережних ресурсів; аналіз дослідження щодо удосконалення управління мережними ресурсами;

2. Моделювання системи управління мережними ресурсами: параметризація процесів управління мережними ресурсами; математичне моделювання системи управління мережними ресурсами; моделювання системи управління мережними ресурсами;
3. Проектування системи управління мережними ресурсами: аналіз результатів моделювання системи управління мережними ресурсами; інтеграція інструментів якості обслуговування в проектну систему управління мережними ресурсами; тестування та оцінка якості проектних рішень.

**6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:** слайди для презентації результатів роботи над магістерською дисертацією.

**7. Консультанти розділів дисертації:** науково-педагогічні працівники радіотехнічного факультету.

**8. Дата видачі завдання:** 14 листопада 2023 р.

#### Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації                                       | Термін виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------|
| 1     | Усвідомлення завдання на виконання кваліфікаційної роботи                             | 14 листопада по 18 листопада 2023р.              |          |
| 2     | Робота над 1 розділом кваліфікаційної роботи                                          | 18 листопада 2023р. по 1 грудня 2023 р.          |          |
| 3     | Робота над 2 розділом кваліфікаційної роботи                                          | 1 грудня 2023 р по 7 грудня 2023 року            |          |
| 4     | Робота над 3 розділом кваліфікаційної роботи                                          | 7 грудня 2023 року по 14 грудня 2023 року        |          |
| 5     | Робота над 4 розділом кваліфікаційної роботи                                          | 14 грудня 2023 року по 25 грудня 2023            |          |
| 6     | Оформлення кваліфікаційної роботи у відповідності до вимог та методичних рекомендацій | 25 грудня 2023 р. по 05 січня 2024 року          |          |
| 7     | Подання кваліфікаційної роботи керівнику на підготовку відгука                        | 05 січня 2024 року                               |          |
| 8     | Підготовка матеріалів та результатів роботи до попереднього захисту                   | 06 по 07 січня 2024 року                         |          |

|    |                                                                                      |                  |  |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--|
| 9  | Попередній захист результатів дисертаційних досліджень                               | 08 січня 2024р.  |  |
| 10 | Подання кваліфікаційної роботи на рецензію                                           | 09 січня 2024 р. |  |
| 11 | Подання кваліфікаційної роботи для перевірки на дотримання академічної доброчесності | 10 січня 2024 р. |  |

Студент

(підпис)

Владислав ВОСКОВИЙ

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Науковий керівник

(підпис)

Сергій ЛІТВІНЦЕВ

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Текстова частина дипломної роботи містить: 108 с., 62 рис., 28 табл., перелік використаних джерел.

Робота присвячена методу удосконалення управління ресурсами за допомогою мережі використовуючи якість обслуговування.

Були розроблені моделі для дослідження QoS для різних типів топологій та налаштувань мережі, на базі програмного середовища ParaLab. Основою виступала повнозв'язна топологія мережі для дослідження часових характеристик, а саме: характеристика прискорення динаміки задіяних вузлів при моделюванні мережі за різного рівня масштабу мережі; характеристик прискорення для продуктивності модельованої повнозв'язної топології мережі за різного рівня пропускної здатності мережі; продуктивності модельованої мережі за різного рівня обчислювальної потужності процесорів комп'ютерних вузлів

Метою є розробка методу удосконалення управління мережними ресурсами за допомогою інструментів якості обслуговування та ефективність паралельних обчислень та роботи мережі в цілому. На основі отриманих залежностей проведено їх порівняння та зроблені відповідні висновки.

**Ключові слова:** інструменти QoS, ParaLab, повнозв'язна топологія, Математичне моделювання SFR та CSR.

**METHOD FOR IMPROVING NETWORK RESOURCE  
MANAGEMENT USING QUALITY OF SERVICE  
ANNOTATION**

The text part of the thesis contains: 108 p., 62 figures, 28 tables, 62 references.

The work is devoted to the method of improving resource management through the network using the quality of service.

The models for studying QoS for different types of topologies and network settings were developed based on the ParaLab software environment. The basis was the full-connected network topology for the study of time characteristics. We investigate the acceleration characteristics of the involved nodes when modeling the network at different levels of network scale; acceleration characteristics for the performance of the simulated full-connected network topology at different levels of network bandwidth; performance of the simulated network at different CPU number in computer nodes.

The aim is to develop the method for improving the management of network resources using quality of service tools and the efficiency of parallel computing and network operation in general. Based on the obtained dependencies, their comparison is carried out and relevant conclusions are presented.

Keywords: QoS tools, ParaLab, fully connected topology, SFR mathematical modeling, CSR mathematical modeling.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП .....                                                                                                                   | 8  |
| 1. ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЩОДО МЕТОДІВ<br>УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖНИМИ РЕСУРСАМИ.....                                         | 11 |
| 1.1 Загальні принципи керування мережними ресурсами .....                                                                     | 11 |
| 1.2 Огляд організаційних схем з улаштування мережних ресурсів.....                                                            | 29 |
| 1.3 Аналіз досліджень щодо управління мережними ресурсами.....                                                                | 36 |
| 2. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖНИМИ<br>РЕСУРСАМИ.....                                                                 | 42 |
| 2.1 Параметризація процесів управління мережними ресурсами.....                                                               | 42 |
| 2.2 Математичне моделювання системи управління мережними<br>ресурсами .....                                                   | 47 |
| 2.3 Моделювання системи управління мережними ресурсами.....                                                                   | 55 |
| 3. РОЗРОБКА РІШЕНЬ З УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖНИМИ<br>РЕСУРСАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНСТРУМЕНТІВ ЯКОСТІ<br>ОБСЛУГОВУВАННЯ.....  | 71 |
| 3.1 Аналіз результатів моделювання системи управління мережними<br>ресурсами .....                                            | 71 |
| 3.2 Інтеграція рішень з удосконалення управління мережними ресурсами<br>за допомогою інструментів якості обслуговування ..... | 75 |
| 3.3 Тестування та оцінка якості проєктних рішень .....                                                                        | 79 |
| 4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ .....                                                                                              | 84 |
| 4.1 Опис стартап проєкту .....                                                                                                | 84 |
| 4.2 Аналіз технічної реалізованості та можливостей ідеї проєкту .....                                                         | 86 |
| 4.3 Оцінка ринкових можливостей для впровадження стартап-проєкту<br>.....                                                     | 87 |

|                                                                                                                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4 Оцінка перспектив ринкового запуску стартап-проекту "OptiNet QoS": .....                                                                                                                                                     | 88  |
| 4.5 Розгортання стратегії входження на ринок для стартап-проекту ....                                                                                                                                                            | 96  |
| 4.5 Створення маркетингової стратегії для впровадження стартап-проекту .....                                                                                                                                                     | 98  |
| Таблиця 4.14 надає короткий огляд формування системи збуту для проекту "OptiNet QoS", що спрямований на впровадження інноваційного методу управління ресурсами в мережах з використанням технології якості обслуговування (QoS). |     |
| 4.6 Висновок до 4 розділу: .....                                                                                                                                                                                                 | 98  |
| ВИСНОВОК.....                                                                                                                                                                                                                    | 100 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....                                                                                                                                                                                                           | 101 |

## ВСТУП

*Напрямок роботи* – метод удосконалення управління мережними ресурсами за допомогою інструментів якості обслуговування.

*Актуальність поточного дослідження* виходить з пошуку практичних рішень щодо упорядковування, систематизації, узгодження та підготовки до використання великих інформаційних масивів даних, об'єми яких стрімко ростуть та потребують оптимальної інфраструктури з відповідною якістю мережного забезпечення. Зокрема про це свідчить наступна галузева статистика:

- за оцінками Statista **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, Global Digital Insights **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, DemandSage **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, Financesonline.com **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, Our World in Data **Ошибка! Источник ссылки не найден.** та дослідників Y. Toraman, B. B. Geçit **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, M. Chaqfeh et al. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, P. Lorenz-Spreen et al. **Ошибка! Источник ссылки не найден.** за останнє десятиліття (2010/2022) кількість активних користувачів мережі Інтернет зросла в 2,675 рази (2010 – 1,981 млрд користувачів / 2022 – 5,3 млрд користувачів), а до 2025 очікується збільшення популяції інтернет-користувачів до 6,54 млрд (збільшення в 3,3 рази проти даних 2010 року);
- за оцінками Statista **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, EarthWeb **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, Kerpis Datareportal **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, Sigma Computing **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, ITU **Ошибка!**

**Источник ссылки не найден.** та дослідників V. Jayagopal, K. K. Basser **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, M. Naeem et al. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, R. Rossi, K. Hirama **Ошибка! Источник ссылки не найден.** за останнє десятиліття (2010/2022) кількість інформаційних даних, які генерує у свої діяльності людство збільшилась в 48,5 разів (2010 – 2,0 ZiB / 2022 – 97,0 ZiB), а до 2025 року загальний об'єм світової інформації буде становити – 181 ZiB (збільшення в 90,5 разів проти даних 2010 року).

Базуючись на ключових аспектах динаміки розвитку мережі Інтернет, обґрунтованим та доцільним є завдання з пошуку рішень щодо оптимізації та удосконалення інфраструктури та систем керування мережними ресурсами і сервісами. Одним з таких рішень є дослідження, впровадження та розвиток системи якості керування мережними сервісами та ресурсами – Quality of Service (QoS).

QoS представляє собою комплекс технологій та механізмів у галузі комп'ютерних мереж, спрямованих на забезпечення заздалегідь визначеного рівня якості обслуговування для передачі даних. Основною метою QoS є створення оптимальних умов для різних типів трафіку, таких як голос, відео та дані, для ефективного конкурування за обмежені ресурси мережі. QoS набуває особливого значення в мережах, які обслуговують різноманітні додатки, такі як голосова та відеокommунікація, де вимоги до якості обслуговування можуть значно відрізнятися. Впровадження механізмів QoS передбачає використання різних протоколів та алгоритмів, таких як Differentiated Services (DiffServ) та Integrated Services (IntServ), для здійснення політик, пріоритезації трафіку та розподілу ресурсів з розумінням. Дослідження методів удосконалення управління ресурсами з використанням інструментів QoS є важливим для оптимізації мережевої продуктивності, виконання вимог до рівнів обслуговування та адаптації до змін у вимогах

сучасних додатків та технологій зв'язку **Ошибка! Источник ссылки не найден.** – **Ошибка! Источник ссылки не найден..**

Таким чином, дослідження системних рішень та інструментів QoS дозволить отримати оптимізовану структуру управління мережними ресурсами, що вкрай актуально за динамічного розвитку мережі Інтернет і необхідності розвитку адекватної інфраструктури та комунікацій.

*Мета дослідження* – розробка методів удосконалення управління мережними ресурсами за допомогою інструментів якості обслуговування та ефективність паралельних обчислень та роботи мережі в цілому.

*Завдання дослідження:*

- інформаційно-аналітичний огляд щодо методів удосконалення управління мережними ресурсами: загальні принципи керування мережними ресурсами; огляд організаційних схем з улаштування мережних ресурсів; аналіз дослідження щодо удосконалення управління мережними ресурсами;
- моделювання системи управління мережними ресурсами: параметризація процесів управління мережними ресурсами; математичне моделювання системи управління мережними ресурсами; моделювання системи управління мережними ресурсами;
- проєктування системи управління мережними ресурсами: аналіз результатів моделювання системи управління мережними ресурсами; інтеграція інструментів якості обслуговування в проєктну систему управління мережними ресурсами; тестування та оцінка якості проєктних рішень.

*Об'єкт дослідження* – система управління мережними ресурсами.

*Предмет дослідження* – інструменти QoS.

*Методи дослідження:* інформаційний пошук, аналітичні узагальнення, компаративний аналіз, моделювання, техніко-технологічні розрахунки з проєктування доцільних рішень щодо удосконалення управління мережними ресурсами за допомогою інструментів якості обслуговування.

*Практичне значення* розробки методів удосконалення управління мережними ресурсами через QoS полягає в забезпеченні оптимальної працездатності мережі, високої якості обслуговування для користувачів та здатності адаптуватися до динамічного середовища. Це особливо важливо в умовах зростаючого обсягу даних та різноманіття трафіку в мережах сучасного інформаційного середовища.

*Апробація результатів роботи.*

*Структура роботи.* Робота складається з вступу, 3 розділів, висновків та переліку посилань.

## **1. ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЩОДО МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖНИМИ РЕСУРСАМИ**

### **1.1 Загальні принципи керування мережними ресурсами**

Система керування мережними ресурсами та сервісами (Network Resource and Service Management System) – це комплексна інфраструктура, яка визначається як сукупність програмних та апаратних засобів, спрямованих на ефективне управління різноманітними ресурсами та послугами у комп'ютерних мережах. Основна мета такої системи полягає в забезпеченні оптимального використання мережевих ресурсів, гарантуванні високої якості обслуговування та вирішенні завдань (QoS), пов'язаних із задоволенням бізнес-потреб користувачів та організацій **Ошибка! Источник ссылки не найден. – Ошибка! Источник ссылки не найден..**

Склад системи керування мережними ресурсами передбачає застосування багатокomпонентного комплексного рішення, основні аспекти якого позначено нижче – Табл. 1.1.

Табл. 1.1 – Аспекти улаштування системи керування мережними ресурсами та сервісами **Ошибка! Источник ссылки не найден. – Ошибка! Источник ссылки не найден.**

| Аспект                                 | Зміст аспекту                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Моніторинг та аналіз ресурсів          | Моніторинг включає систематичне спостереження за станом мережевих ресурсів, таких як пропускна здатність, завантаження обладнання, стан каналів тощо. Аналіз використовується для отримання висновків щодо ефективності та виявлення можливих проблем                                      |
| Конфігураційне управління              | Цей аспект передбачає ефективне управління конфігурацією мережевого обладнання та програмного забезпечення. Це включає в себе встановлення, налаштування та моніторинг параметрів, спрямованих на оптимізацію роботи мережі                                                                |
| Планування та масштабування            | Планування ресурсів передбачає аналіз тенденцій у використанні та потребах користувачів для уникнення перевантажень та забезпечення оптимального розподілу ресурсів. Масштабування включає стратегії розширення мережі для забезпечення високої продуктивності при зростанні обсягів даних |
| Управління якістю обслуговування (QoS) | Цей аспект визначає та гарантує параметри якості обслуговування для різних типів трафіку. Це включає в себе пріоритетизацію, контроль затримок та мінімізацію втрат пакетів для підтримки реального часу та інших чутливих до затримок додатків                                            |
| Резервування та аварійне відновлення   | Механізми резервування передбачають наявність альтернативних шляхів передачі даних та резервних ресурсів для забезпечення неперервності сервісів у випадку виникнення неполадок чи аварій                                                                                                  |
| Безпека та управління ідентифікацією   | В цьому аспекті реалізуються заходи безпеки для захисту мережевих ресурсів від несанкціонованого доступу. Управління ідентифікацією включає в себе системи аутентифікації та авторизації користувачів                                                                                      |
| Управління життєвим циклом послуг      | Цей аспект охоплює всі етапи життєвого циклу мережевих послуг, включаючи їх створення, тестування, впровадження, моніторинг та підтримку. Головна мета – забезпечити постійну готовність та оптимальну ефективність послуг                                                                 |
| Логування та аудит                     | У цьому аспекті забезпечується система логування та аудиту, яка фіксує події та дії в мережі. Це важливо для моніторингу, аналізу подій та виявлення потенційних загроз безпеці                                                                                                            |

Перелічені аспекти (Табл. 1.1.) узгоджено функціонують у системі керування мережними ресурсами та сервісами для забезпечення ефективності, стабільності та безпеки мережевого середовища.

Система керування мережними ресурсами та сервісами складається з ряду ключових компонентів, які спільно працюють для ефективного управління ресурсами та послугами у комп'ютерних мережах – Табл. 1.2.

Табл. 1.2 – Опис складових системи керування мережними ресурсами та сервісами **Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.**

| Складові системи керування мережними ресурсами та сервісами                    | Завдання                                                                              | Функції                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Елемент моніторингу (Monitoring Component)                                     | Забезпечення постійного моніторингу мережних ресурсів та інфраструктури.              | Збір та аналіз параметрів ресурсів (пропускна здатність, завантаження, стан каналів). Виявлення аномалій, визначення паттернів використання ресурсів.             |
| Компонент конфігураційного управління (Configuration Management Component)     | Ефективне управління конфігурацією мережевого обладнання та програмного забезпечення. | Налаштування та зміна параметрів мережевого обладнання. Зберігання конфігураційних даних та відстеження їх змін.                                                  |
| Планувальний та масштабувальний компонент (Planning and Scalability Component) | Розробка стратегій планування та масштабування ресурсів.                              | Аналіз тенденцій використання ресурсів для прогнозування майбутніх потреб. Розробка стратегій масштабування для забезпечення оптимального розподілу навантаження. |
| Компонент управління якістю обслуговування (QoS Management Component)          | Визначення та гарантування параметрів якості обслуговування для різних типів трафіку. | Пріоритезація трафіку відповідно до вимог користувачів та типів послуг. Моніторинг та контроль затримок, джиттеру та інших параметрів QoS.                        |
| Компонент резервування та відновлення                                          | Забезпечення надійності та стійкості мережі через                                     | Визначення альтернативних маршрутів передачі даних.                                                                                                               |

| Складові системи керування мережними ресурсами та сервісами                          | Завдання                                                                                                        | Функції                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Resilience and Recovery Component)                                                  | механізми резервування та аварійного відновлення.                                                               | Автоматичне відновлення після виникнення аварій чи перебоїв.                                                     |
| Компонент безпеки та ідентифікації (Security and Identity Management Component)      | Захист мережних ресурсів від несанкціонованого доступу та ефективне управління ідентифікацією користувачів.     | Застосування заходів безпеки, таких як шифрування та аутентифікація. Управління доступом користувачів та ролей.  |
| Компонент управління життєвим циклом послуг (Service Lifecycle Management Component) | Забезпечення повного циклу управління послугами, включаючи їх створення, впровадження, моніторинг та оновлення. | Розробка нових мережних послуг та їх впровадження. Моніторинг та аналіз продуктивності послуг.                   |
| Компонент логування та аудиту (Logging and Auditing Component)                       | Фіксація подій та дій в мережі для подальшого аналізу та моніторингу.                                           | Запис подій, змін та активності в мережі. Аудит та аналіз журналів для виявлення аномалій чи потенційних загроз. |

Перелічені компоненти (Табл. 1.2) взаємодіють для забезпечення оптимального використання ресурсів, гарантування високої якості обслуговування та вирішення завдань, пов'язаних із задоволенням бізнес-потреб користувачів та організацій.

Таким чином, принципи керування мережними ресурсами та сервісами є головними засобами, що визначають стратегічний підхід до ефективного управління інфраструктурою та послугами в комп'ютерних мережах – Табл. 1.3.

Табл. 1.3 – Характеристика принципів керування мережними ресурсами та сервісами **Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.**

| Принципи керування мережними ресурсами та сервісами                               | Зміст                                                                                         | Реалізація                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Принцип цільового управління (Goal-Oriented Management)                           | Орієнтація на досягнення конкретних цілей та бізнес-вимог організації.                        | Визначення конкретних метрик ефективності та встановлення механізмів контролю для досягнення цілей: визначення конкретних цілей для мережі, таких як забезпечення певного рівня доступності, ефективне використання ресурсів та висока якість обслуговування.   |
| Принцип прозорості (Transparency Principle)                                       | Максимальне спрощення та зрозумілість управління для операторів та адміністраторів мережі.    | Розробка інтерфейсів та засобів доступу, які спрощують взаємодію операторів та адміністраторів із системою управління: забезпечення доступу до інформації про стан мережі, конфігурації та логів, що дозволяє операторам легко розуміти та впроваджувати зміни. |
| Принцип гнучкості (Flexibility Principle)                                         | Здатність системи адаптуватися до змін в умовах експлуатації та бізнес-потреб.                | Розробка модульних та легко розширюваних систем, які можуть швидко адаптуватися до нових технологій та вимог користувачів: розробка систем, які легко масштабуються, інтегрують нові технології та адаптуються до зростаючих вимог користувачів.                |
| Принцип оптимізації ресурсів (Resource Optimization Principle)                    | Ефективне використання доступних мережевих ресурсів.                                          | Застосування алгоритмів та стратегій оптимізації, що максимізують використання пропускну здатності та обчислювальних потужностей: використання алгоритмів та стратегій, які максимізують використання пропускну здатності, енергії та обчислювальних ресурсів.  |
| Принцип синхронізації та автоматизації (Synchronization and Automation Principle) | Спрощення управління через впровадження автоматизованих процесів та синхронізацію дій систем. | Використання систем автоматизації та впровадження синхронізованих процесів для підтримки ефективності та надійності: використання систем автоматизації, а також узгодження процесів управління для уникнення конфліктів та забезпечення точності виконання дій. |

| Принципи керування мережними ресурсами та сервісами                | Зміст                                                                                                          | Реалізація                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Принцип інтеграції (Integration Principle)                         | Співпраця та інтеграція різних компонентів системи для створення єдиної та добре координованої інфраструктури. | Розробка стандартів та інтерфейсів для взаємодії між компонентами та зовнішніми системами: розробка інтерфейсів та механізмів інтеграції між різними компонентами, а також сторонніми системами.                  |
| Принцип безпеки (Security Principle)                               | Захист мережі від несанкціонованого доступу та забезпечення конфіденційності та цілісності даних.              | Впровадження механізмів шифрування, систем аутентифікації та авторизації: використання механізмів шифрування, систем аутентифікації та авторизації для запобігання загрозам безпеки.                              |
| Принцип якості обслуговування (Quality of Service, QoS Principle)  | Забезпечення заданих рівнів якості обслуговування для різних видів трафіку та сервісів.                        | Встановлення параметрів QoS, таких як пріоритети та затримки, для гарантування визначених рівнів обслуговування: визначення та гарантування параметрів QoS, таких як пріоритети, затримки та пропускна здатність. |
| Принцип моніторингу та аналізу (Monitoring and Analysis Principle) | Систематичний моніторинг та аналіз параметрів для виявлення проблем та оптимізації роботи мережі.              | Використання систем моніторингу та аналізу для постійного контролю та виявлення аномалій.                                                                                                                         |

Виявлені принципи (Табл. 1.3) визначають стратегічний підхід до керування мережними ресурсами та сервісами, сприяючи ефективності, стабільності та відповідності бізнес-потреbam організації.

У фокусі дослідження – інструменти QoS. Якість обслуговування (Quality of Service, QoS) в контексті мережевого управління – це концепція, що визначає і гарантує різні рівні ефективності та надійності для різних видів трафіку в мережі передачі даних. QoS орієнтована на забезпечення оптимальних параметрів обслуговування, таких як пропускна здатність, затримка, джиттер і низький рівень втрат даних (Рис. 1.1) **Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден..**

QoS є критично важливою концепцією для мереж, особливо для тих, які підтримують різноманітні види трафіку, такі як голосова і відеоінформація, дані в реальному часі та інтернет-трафік. Забезпечення високого рівня QoS допомагає уникнути проблем, пов'язаних із затримками та перебоями в мережевому обслуговуванні, що може суттєво погіршити якість спілкування та взаємодії в мережі **Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.** – Рис. 1.2, Рис. 1.3.

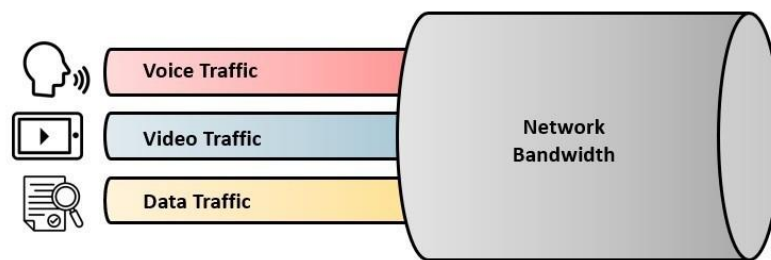


Рис. 1.1 – Концептуалізація різновидів дата-трафіку в загальній мережі  
**Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.**

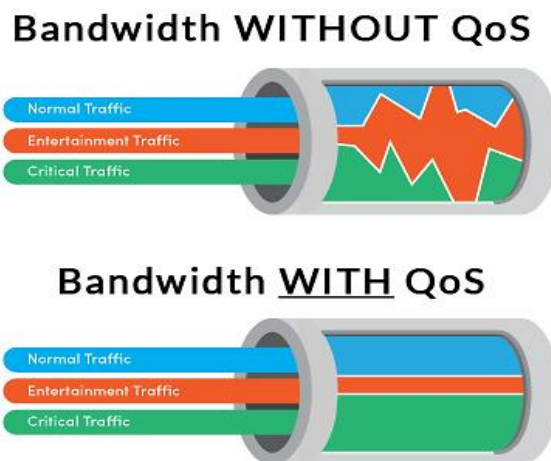


Рис. 1.2 – Концептуалізація впливу інструментів QoS на стабільність функціонування мережі з різними типами трафіку **Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.**

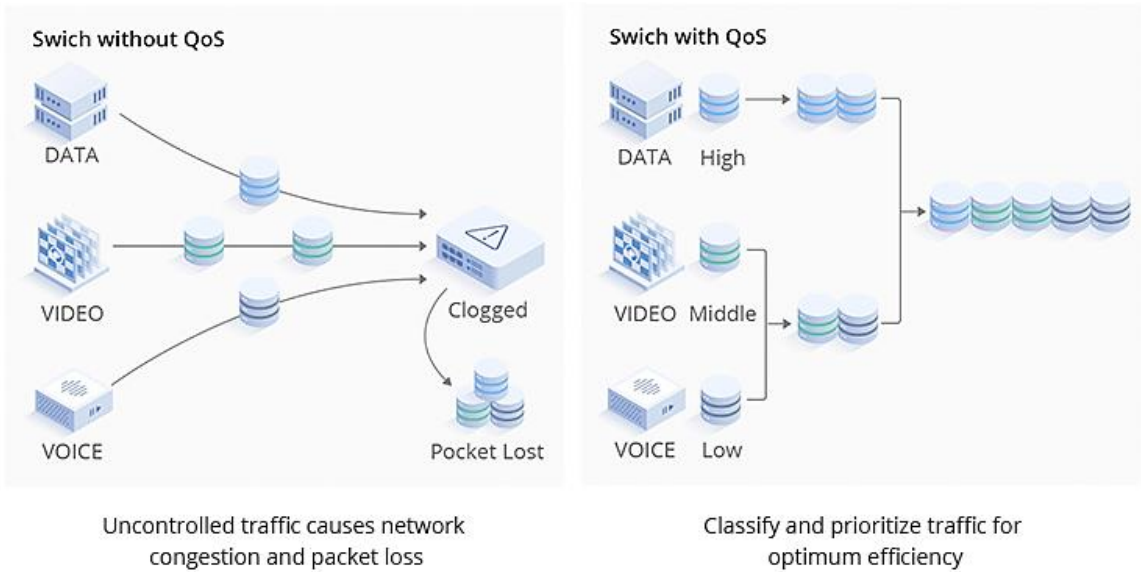


Рис. 1.3 – Концептуалізація принципів функціонування системи QoS

**Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.**

У рамках QoS використовуються різні механізми, такі як пріоритезація трафіку, резервування пропускної здатності, управління затримками та інші стратегії для того, щоб забезпечити оптимальні умови для різних видів даних. Це робиться з метою вдосконалення користувацького досвіду та забезпечення високої ефективності мережі в цілому. QoS в мережах передачі даних складається з ряду ключових параметрів, які спрямовані на забезпечення ефективності, надійності та задоволення бізнес-потреб користувачів – Табл. 1.4.

Табл. 1.4 – Характеристика параметрів QoS

**Ошибка! Источник ссылки не найден. – Ошибка! Источник ссылки не найден.**

| Параметри QoS                   | Характеристика параметру                                                                     | Значення для забезпечення стандартів QoS                      |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Пропускна здатність (Bandwidth) | Пропускна здатність визначає кількість даних, які можуть бути передані через мережу протягом | Забезпечення достатньої пропускної здатності дозволяє уникати |

| Параметри QoS                                                      | Характеристика параметру                                                                                                                                                                            | Значення для забезпечення стандартів QoS                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                    | певного часу. Вона є основним фактором для визначення можливостей мережі щодо обсягу та швидкості передачі даних.                                                                                   | перевантажень та забезпечує потрібний рівень продуктивності.                                                                           |
| Затримка (Latency)                                                 | Затримка визначає час, який потрібний для передачі сигналу від відправника до отримувача через мережу. Вона включає час передачі, обробки та очікування на вузлах мережі.                           | Мінімізація затримки є критично важливою для додатків реального часу, таких як голос та відеоконференції.                              |
| Джиттер (Jitter)                                                   | Джиттер представляє собою нерегулярність у часовому інтервалі між пакетами даних при їх передачі через мережу. Великий джиттер може призводити до нерівномірності та нестабільності передачі даних. | Контроль джиттера є важливим для забезпечення стабільності реального часу та підтримки послуг з аудіо та відеокommunікації.            |
| Втрати пакетів (Packet Loss)                                       | Втрати пакетів відбуваються, коли передані дані не досягають призначеного пункту прийому. Це може бути викликано перевантаженням мережі, помилками в передачі чи іншими факторами.                  | Мінімізація втрат пакетів є важливою для забезпечення цілісності та повноти передачі даних.                                            |
| Пріоритезація трафіку (Traffic Prioritization)                     | Пріоритезація трафіку визначає надання важливішим видам даних вищого пріоритету перед іншими. Це дозволяє гарантувати важливі послуги при наявності обмежених ресурсів.                             | Забезпечення пріоритету для критичних додатків, наприклад, VoIP чи відеоконференцій, забезпечує стабільність та якість обслуговування. |
| Управління потоком (Traffic Shaping)                               | Управління потоком використовується для контролю розподілу пропускнуої здатності між різними видами трафіку, забезпечуючи більш ефективне використання ресурсів.                                    | Цей механізм важливий для вирішення конфліктів і забезпечення рівномірного розподілу ресурсів.                                         |
| Керування помилками та відновлення (Error Management and Recovery) | Ця складова включає в себе механізми виявлення та виправлення помилок в передачі даних для забезпечення цілісності та достовірності інформації.                                                     | Забезпечення надійності передачі даних через коректне виявлення та виправлення помилок.                                                |
| Управління потоками даних (Data Flow Management)                   | Управління потоками даних включає в себе стратегії для оптимізації розподілу та обробки даних в мережі з метою забезпечення ефективності використання ресурсів.                                     | Ця складова сприяє оптимальному використанню мережевих ресурсів та покращенню продуктивності.                                          |

| Параметри QoS                             | Характеристика параметру                                                                                                                    | Значення для забезпечення стандартів QoS                                     |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Адаптивні механізми (Adaptive Mechanisms) | Адаптивні механізми дозволяють мережевій інфраструктурі адаптуватися до змін у навантаженні, топології мережі та інших умовах експлуатації. | Забезпечення гнучкості та ефективного функціонування в різноманітних умовах. |

Перелічені складові параметричного опису системи контролю якості QoS (Табл. 1.4) взаємодіють, створюючи комплексну систему, яка забезпечує високий рівень якості обслуговування в мережах передачі даних.

QoS використовується для надання різних пріоритетів різним видам трафіку з метою контролю затримок та мінімізації втрати пакетів. QoS забезпечує нормальну передачу критичного бізнес-трафіку у випадку перевантаження чи конгестії мережі (*Конгестія в механізмах QoS - це стан, при якому мережевий ресурс перевантажується або стає недоступним для задоволення потреб мережевого трафіку*). QoS представляє собою комплекс технік для управління пропускнуою здатністю, затримками, мінімізацією змін стану та втратою пакетів у мережі. Усі механізми QoS розроблені з метою впливу хоча б на одну або навіть всі вищезазначені характеристики.

Система підтримує три типи QoS: застосунковий QoS, IP QoS та рольовий QoS **Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.:**

1. Застосунковий QoS: керує пропускнуою здатністю, якою користуються додатки.
2. IP QoS: керує пропускнуою здатністю визначених IP-адрес.
3. Рольовий QoS: керує пропускнуою здатністю визначених ролей. Якщо інтерфейс або зона пов'язані як із правилами застосункового QoS, так і з правилами IP QoS, пріоритет надається застосунковому QoS. Таким чином, потоки даних спочатку обробляються застосунковим QoS, залишаючи неважливі дані (наприклад, P2P) відхилені або затримані, щоб важливі дані (наприклад, ігри, VoIP тощо) могли бути прискорені.

Таким чином, різні потоки даних застосовуються з різними пріоритетами, і вони контролюються вдале за допомогою IP QoS.

Якщо інтерфейс або зона пов'язані як з правилами застосункового QoS, так і з правилами IP QoS, пріоритет буде наданий застосунковому QoS. Таким чином, дані спочатку обробляються застосунковим QoS, при цьому менш важливі дані (наприклад, P2P) відкидаються чи затримуються, щоб важливі дані (наприклад, ігри, VoIP і т. д.) могли бути прискорені. Отже, різні потоки даних застосунків мають різні пріоритети, і вони будуть вдале контрольовані за допомогою IP QoS.

Зона, в даному випадку, визначається як логічно обмежена область мережі, яка може мати спільні характеристики, політики безпеки чи інші параметри. Це може бути, наприклад, фізичний порт чи VLAN (віртуальна локальна мережа). Інтерфейс або зона не можуть бути пов'язані одночасно із IP QoS і рольовим QoS, а лише з одним з них.

Для налаштування QoS можна використовувати WebUI чи CLI, проте ці два методи несумісні між собою. Тому рекомендується обрати лише один спосіб, і використання WebUI настійно рекомендується.

Спектр механізмів QoS наступний **Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.** (Рис. 1.4):

- механізми класифікації та маркування (Classification and Marking Mechanisms);
- механізми поліціювання та формування (Policing and Shaping Mechanisms);
- механізми управління та уникнення конгестії (Congestion Management and Avoidance Mechanism).

Загальна схема функціонування механізмів QoS (Рис. 1.4) ілюструє, що пакети класифікуються та маркуються після входження в систему через інтерфейс вхідного трафіку. Під час цього процесу механізм поліціювання

відкине деякі пакети. Потім пакети будуть знову категоризовані згідно їхніх маркувань. Механізми управління конгестією та уникнення конгестії надають різні пріоритети різним типам пакетів, щоб пакети з вищим пріоритетом могли проходити через шлюз раніше в разі мережевої конгестії. Наприкінці система відправить пакети, які були оброблені механізмами QoS, через інтерфейси виходу.

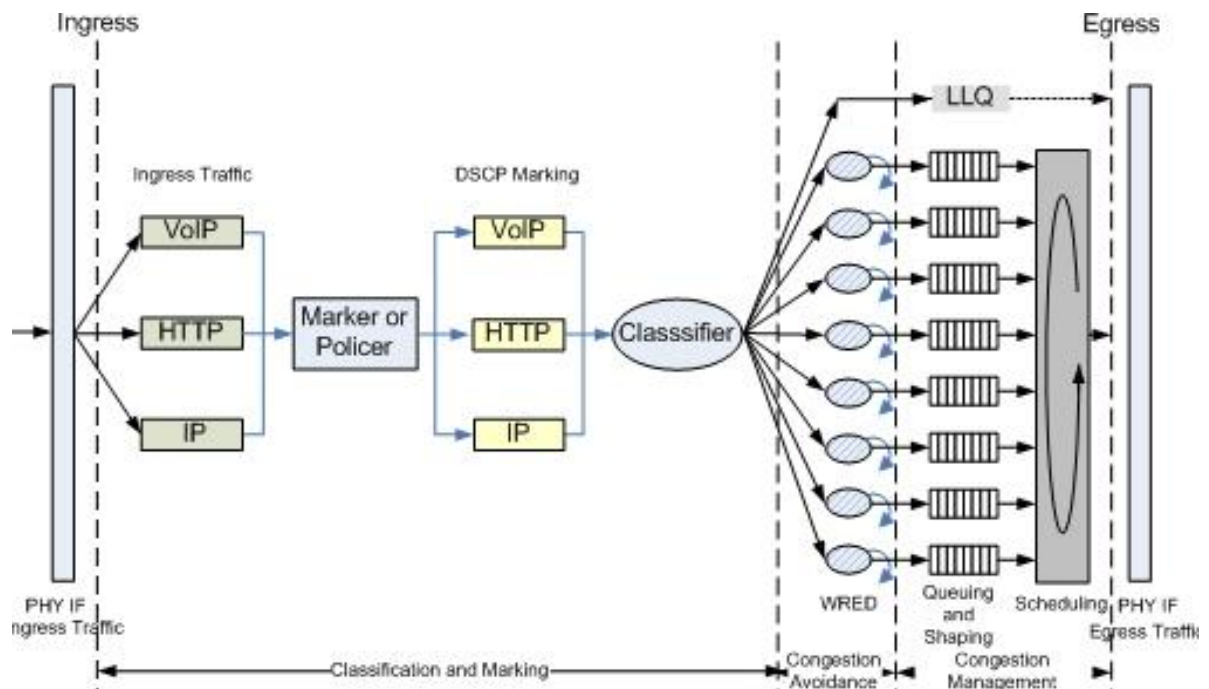


Рис. 1.4 – Загальна схема функціонування механізмів QoS

**Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.**

*Механізми класифікації та маркування (Classification and Marking Mechanisms).* Класифікація та маркування – це процес визначення пріоритету кожного пакета. Це перший крок у керуванні QoS і має бути виконаним близько до джерела відправлення **Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден..**

Зазвичай пакети класифікуються за їхніми заголовками. Заголовки пакетів детально перевіряються згідно з правилами, вказаними на зображенні нижче – Рис. 1.5.

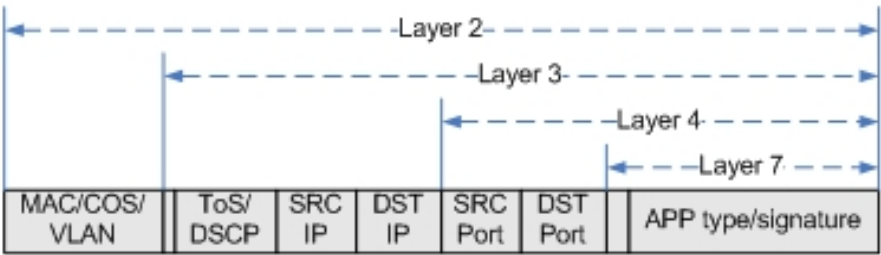


Рис. 1.5 – Правила класифікації та типізації пакетів в системі QoS під час виконання механізмів класифікації та маркування (Classification and Marking Mechanisms) **Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.**

У таблиці нижче наведено критерії класифікації – Табл. 1.5.

Табл. 1.5 – Критерії класифікації пакетів в системі QoS під час виконання механізмів класифікації та маркування (Classification and Marking Mechanisms) **Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.**

| Шар   | Опис                                                                                 |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 шар | Фізичний інтерфейс і підінтерфейс                                                    |
| 2 шар | MAC-адреса, бітовий рядок класифікації обслуговування (CoS) 802.1Q/p і позначка VLAN |
| 3 шар | Пріоритет IP-адреси, кодова точка DiffServ (DSCP) і група IP-адрес джерела/приймача  |
| 4 шар | Номер порту (TCP або UDP)                                                            |
| 7 шар | Тип програми або підпис програми                                                     |

Поля, які можуть містити позначки, включають **Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.:**

- поле маркування шару 2: 802.1Q/p;
- поле маркування шару 3: пріоритет IP і DSCP.

Кадри Ethernet позначаються шляхом визначення пріоритету користувача (CoS) 802.1p заголовка 802.1Q. Кадр Ethernet рівня 2 має лише вісім типів послуг (від 0 до 7) – Табл. 1.6.

Табл. 1.6 – Типізація послуг Ethernet в системі QoS під час виконання механізмів класифікації та маркування (Classification and Marking Mechanisms)

**Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.**

| Значення<br>CoS/пріоритет IP | Застосування               |
|------------------------------|----------------------------|
| 7                            | Зарезервований             |
| 6                            | Зарезервований             |
| 5                            | Голос                      |
| 4                            | Відеоконференція           |
| 3                            | Сигналізація виклику       |
| 2                            | Дані з високим пріоритетом |
| 1                            | Дані середнього пріоритету |
| 0                            | Дані найкращих зусиль      |

Подібно до CoS, пріоритет IP можна позначити 8 типами послуг (від 0 до 7) (Табл. 1.6).

DSCP (точка коду DiffServ) надає 6-бітове поле для маркування QoS, серед яких 3 біти відповідають пріоритету IP, а інші 3 біти є полями ToS. Таким чином, діапазон значень DSCP становить від 0 до 63.

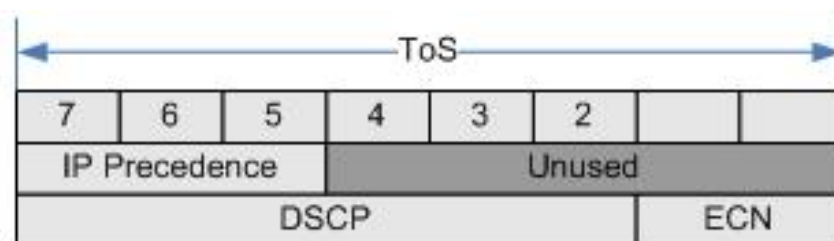


Рис. 1.6 – Біти пріоритету DSCP та IP в системі QoS під час виконання механізмів класифікації та маркування (Classification and Marking)

Mechanisms) **Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Значення DSCP може бути представлено у двох формах: цифровій і ключовій. Ключова форма значення DSCP також відома як Per-Hop Behavior (PHB). Дотепер існує три типи визначених PHB: Best-Effort (BE або DSCP 0), Assured Forwarding (AF) і Expedited Forwarding (EF). Для отримання додаткової інформації перегляньте RFC2547, 2597 і 3246. Значення DSCP відіграє важливу роль у подальшій обробці QoS.

*Механізм поліціювання та формування (Policing and Shaping Mechanisms).* Механізми контролю якості обслуговування та формування використовуються для виявлення порушень трафіку та реагування. Поліція та шейпінг використовують однакові алгоритми для виявлення порушень формування та руху трафіку, але реагують по-різному **Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден..**

Механізм контролю перевіряє трафік у режимі реального часу та негайно вживає заходів відповідно до налаштувань, коли виявляє порушення. Наприклад, механізм контролю може визначити, чи корисне навантаження трафіку перевищує визначену швидкість потоку трафіку, а потім вирішити повторно позначити або видалити надмірні частини. Він може контролювати трафік як вхідного, так і вихідного напрямків.

Механізм формування працює разом із механізмом масового обслуговування. Він надсилає весь трафік на один інтерфейс і гарантує, що трафік ніколи не перевищуватиме визначену швидкість потоку, щоб трафік міг безперешкодно проходити через цей інтерфейс. Механізм формування зазвичай застосовується до вихідного напрямку.

Відмінності між поліцейською діяльністю та шейпінгом перераховані нижче – Табл. 1.7.

Табл. 1.7 – Компаративний аналіз механізмів поліціювання та формування (Policing and Shaping Mechanisms) в системі QoS **Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.**

| Поліціювання                                    | Формування                                                     |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Повторне підключення TCP через скидання пакетів | Зазвичай затримка трафіку, але рідко повторне підключення TCP. |
| Негнучкий і неадаптивний                        | Механізм черги може зменшити перевантаження мережі.            |
| Контроль вхідного та вихідного інтерфейсів      | Контроль вихідного інтерфейсу                                  |
| Немає кешу чи обмеження швидкості               | Обмеження кешу та швидкості                                    |

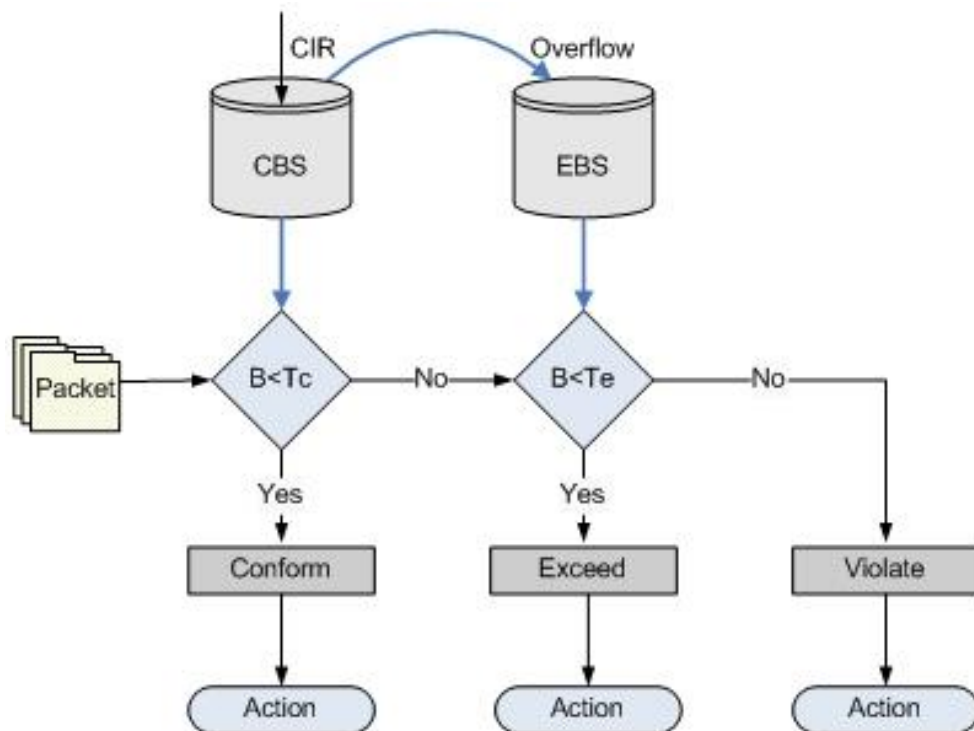
Механізми поліціювання та формування (Policing and Shaping Mechanisms) використовують алгоритм бака з токенами для визначення того, чи порушено правила мережевого трафіку. Бак із токенами є абстрактним контейнером, який містить токени. Система розміщує токени в баку з визначеною швидкістю. Коли бак повний, токени переливаються, і кількість tokenів у баку не змінюється. Бак із токенами використовує свої токени для передачі пакетів. Коли в баку достатньо tokenів для передачі пакетів, бак вважається відповідним правилу, в іншому випадку він перевищує правило.

Параметри оцінки трафіку включають **Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.:**

- CIR (Committed Information Rate): швидкість розміщення tokenів, тобто середня швидкість передачі даних.
- CBS (Committed Burst Size): розмір першого пакета маркерів, тобто максимальний обсяг трафіку, дозволений у кожному пакеті. Це значення має бути більшим за довжину найбільшого пакета. Цей бакет токена скорочено називається C-bucket.

- EBS (Excess Burst Size): розмір другого сегмента маркерів, тобто максимальне дозволене значення перевищеного трафіку. Цей токен скорочено називається E-bucket.

Під час оцінки трафіку контрольні операції можуть відрізнятися від різних ситуацій, які включають: 1) C-bucket має достатньо токенів; 2) маркерів C-bucket недостатньо, але E-bucket достатньо; 3) і C-bucket, і E-bucket не мають достатньо токенів – Рис. 1.7.



*B* — це розмір пакета даних; *Tc* — кількість токенів CBS; *Te* — кількість токенів EBS

Рис. 1.7 – Алгоритм з подвійним бакеном токенів механізмів поліціювання та формування (Policing and Shaping Mechanisms) в системі QoS **Ошибка!**

**Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Відповідно до логіки наведеного вище алгоритму (Рис. 1.7), якщо розмір CBS перевищує розмір пакета, пакет відповідає вимогам і буде оброблено відповідно до параметрів системи; коли CBS менше розміру пакета, система буде EBS; якщо розмір EBS перевищує розмір пакета, пакет перевищує його та буде оброблено відповідно до налаштувань системи; але якщо EBS менший

за розмір пакета, пакет порушує правило та буде оброблено відповідно до інших параметрів.

*Механізми управління та уникнення конфесії (Congestion Management and Avoidance Mechanism)* (або механізм управління перевантаженням) є одним з найважливіших інструментів контролю якості обслуговування. Він використовує теорію масового обслуговування для вирішення проблем у перевантажених інтерфейсах. Оскільки швидкість передачі даних може відрізнятися в різних мережах, перевантаження може виникнути як у глобальній мережі (WAN), так і в локальній мережі (LAN). Тільки коли інтерфейс перевантажений, теорія масового обслуговування почне працювати. Система підтримує зважену справедливую чергу на основі класу CBWFQ (Class-Based Weighted Fair Queuing) і чергу з низькою затримкою LLQ (Low Latency Queuing).

CBWFQ - заснований на класах чи категоріях трафіку, які можуть бути визначені залежно від різних параметрів, таких як протоколи, IP-адреси, порти і т. д.

Weighted Fair Queuing забезпечує справедливую обробку пакетів у кожному класі за допомогою вагових коефіцієнтів, які визначають пріоритет та відносну частку ресурсів для кожного класу.

CBWFQ (Class-Based Weighted Fair Queuing) опис:

CBWFQ розділяє мережевий трафік на класи і використовує ваговий підхід для визначення пріоритету кожного класу. Це дозволяє більш гнучко керувати трафіком в мережі та надає можливість встановлювати пріоритети для різних видів трафіку.

LLQ (Low Latency Queuing):

Low Latency: Низька затримка, спрямований на забезпечення мінімальної затримки для важливих трафіків.

Queuing: Система чергування, яка дозволяє керувати порядком обробки пакетів в черзі.

Опис:

LLQ призначений для забезпечення низької затримки для важливих трафіків, таких як голосовий чи інші чутливі до затримок дані. Він використовує пріоритетне чергування для надання високого пріоритету важливим пакетам, уникненням їх затримок в черзі.

- CBWFQ: дозволяє користувачам налаштувати мінімальну пропускну здатність певного типу трафіку.
- LLQ: комбінація алгоритмів PQ, CQ і WFQ. LLQ зазвичай використовується в голосовому та інтерактивному відео. Під час налаштування всі додатки типу LLQ можуть займати не більше 33% загальної пропускну здатності.

Таким чином, розглянуті загальні принципи керування мережними ресурсами та сервісами з фокусуванням на досліджуваній системі контролю якості QoS, що містить характерні параметри і складові (пропускну здатність (Bandwidth), затримка (Latency), джиттер (Jitter), втрати пакетів (Packet Loss), пріоритетизація трафіку (Traffic Prioritization), управління потоком (Traffic Shaping), керування помилками та відновлення (Error Management and Recovery), управління потоками даних (Data Flow Management), адаптивні механізми (Adaptive Mechanisms)), а також відповідний інструментарій та механізми для здійснення характерних функцій з забезпечення оптимальних параметрів мережного обслуговування (механізми класифікації та маркування (Classification and Marking Mechanisms), механізми поліціювання та формування (Policing and Shaping Mechanisms), механізми управління та уникнення конгестії (Congestion Management and Avoidance Mechanism)).

Принципи керування мережними ресурсами та впровадження системи QoS спрямовані на забезпечення ефективного та відповідного розподілу ресурсів для різних типів трафіку в мережі з метою забезпечення заданих рівнів обслуговування.

## 1.2 Огляд організаційних схем з улаштування мережних ресурсів

Організаційні схеми з улаштування мережних ресурсів відіграють ключову роль у забезпеченні ефективного та надійного функціонування мереж. Нижче подано компаративний аналіз організаційних схем, які найчастіше використовуються для керування мережними ресурсами – Табл. 1.8.

Табл. 1.8 – Компаративний аналіз організаційних схем, які найчастіше використовуються для керування мережними ресурсами **Ошибка! Источник ссылки не найден.** – **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

| Тип організаційної системи керування мережними ресурсами | Опис організаційної системи керування мережними ресурсами                                                                                          | Переваги                                                                                                         | Недоліки                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Централізована організаційна схема                       | Управління мережними ресурсами зосереджено в одному центральному пункті. Всі рішення та конфігурації здійснюються з центрального пункту керування. | Простота управління та моніторингу, єдина точка керування.                                                       | Можливість затримок та проблем у випадку відмови центрального пункту, обмежена гнучкість для розширення. |
| Розподілена організаційна схема                          | Керування ресурсами рішення та конфігурації розподілені між кількома пунктами в мережі.                                                            | Більша гнучкість, зменшення залежності від одного центрального пункту, підтримка географічно розподілених мереж. | Складніше управління та відслідковування, можливість виникнення неоднорідностей у конфігураціях.         |
| Ієрархічна організаційна схема                           | Організація мережі у вигляді ієрархії з різними рівнями керування та відповідальності. Нижчі рівні керують меншими                                 | Ефективне управління для різних рівнів мережі, забезпечення                                                      | Збільшення складності управління, можливість неефективності в                                            |

| Тип організаційної системи керування мережними ресурсами | Опис організаційної системи керування мережними ресурсами                                                | Переваги                                                                                                             | Недоліки                                                                                            |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                          | ділянками мережі, а вищі рівні координують загальну стратегію.                                           | спільної стратегії та стандартів на вищих рівнях.                                                                    | разі несумісності стратегій на різних рівнях.                                                       |
| Віртуалізована організаційна схема                       | Використання віртуалізації для створення віртуальних екземплярів мережевих ресурсів та окремих сервісів. | Гнучкість управління, зменшення залежності від конкретного обладнання, можливість швидкої реакції на зміни в мережі. | Потреба в потужних ресурсах для віртуалізації, можливість проблем з безпекою віртуальних середовищ. |

Вказані організаційні схеми (Табл. 1.8) можуть використовуватися окремо чи комбінуватися в залежності від вимог та характеристик конкретної мережі. Правильний вибір організаційної схеми дозволяє ефективно використовувати мережеві ресурси та забезпечувати якість обслуговування відповідно до вимог користувачів.

В основі організаційних схем з улаштування мережних ресурсів закладено відповідні топологічні принципи **Ошибка! Источник ссылки не найден. – Ошибка! Источник ссылки не найден.:**

1. Лінійна топологія (*Point-to-Point, Daisy Chain*) – у цьому типі топології кожен комп'ютер підключений до попереднього та наступного комп'ютера, що створює лінію. Якщо один з комп'ютерів вийде з ладу, то вся система буде недоступною – Рис. 1.8, Рис. 1.9.

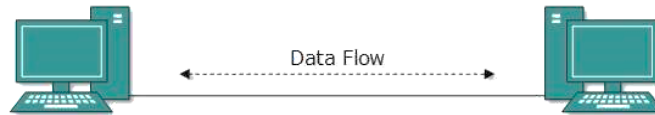


Рис. 1.8 – Лінійна топологія (*Point-to-Point*) **Ошибка! Источник ссылки не найден. – Ошибка! Источник ссылки не найден.**



Рис. 1.9 – Лінійна топологія (*Daisy Chain*) **Ошибка! Источник ссылки не найден. – Ошибка! Источник ссылки не найден.**

2. Зіркова топологія (*Star Topology*) – у цьому типі топології кожен комп'ютер підключений до центрального комутатора, що забезпечує зв'язок між комп'ютерами. У разі виходу з ладу одного з комп'ютерів, інші комп'ютери продовжують працювати – Рис. 1.10.

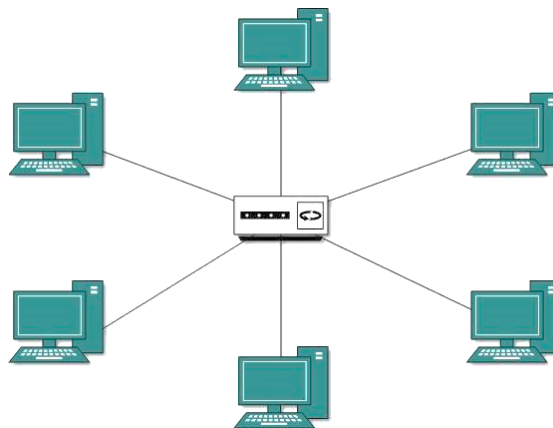


Рис. 1.10 – Зіркова топологія (*Star Topology*) **Ошибка! Источник ссылки не найден. – Ошибка! Источник ссылки не найден.**

3. Кільцева топологія (*Ring Topology*) – у цьому типі топології кожен комп'ютер підключений до двох сусідніх комп'ютерів, створюючи кільце. Якщо один з комп'ютерів вийде з ладу, то зв'язок між іншими комп'ютерами не буде перервано – Рис. 1.11.

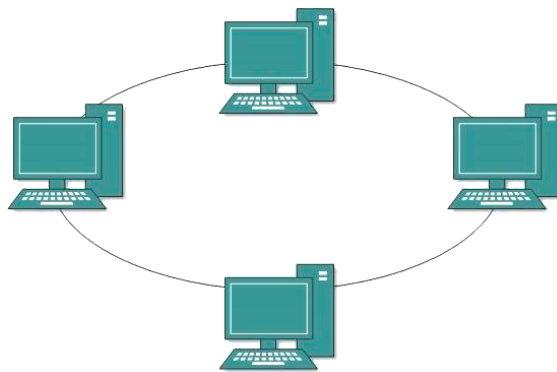


Рис. 1.11 – Кільцева топологія (*Ring Topology*) **Ошибка! Источник ссылки не найден.** – **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

4. Шина (*Bus Topology*) – у цьому типі топології всі комп'ютери підключені до спільної шини. Якщо один з комп'ютерів вийде з ладу, то це може спричинити проблеми зі зв'язком всієї системи – Рис. 1.12.

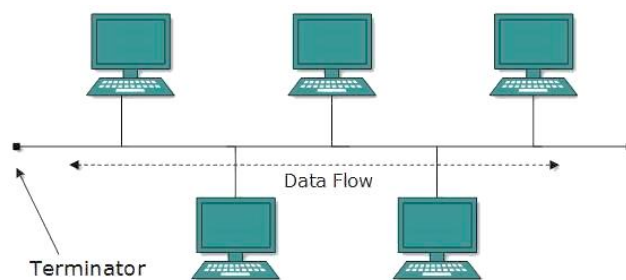


Рис. 1.12 – Шина (*Bus Topology*) **Ошибка! Источник ссылки не найден.** – **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

6. Повнозв'язна топологія (*Fully Connected Topology, Mesh Topology*) – у цьому типі топології кожен комп'ютер підключений до всіх інших комп'ютерів, що створює повнозв'язну мережу. Це дозволяє кожному комп'ютеру зв'язуватися з будь-яким іншим комп'ютером безпосередньо. Однак, цей тип топології є дуже складним для реалізації та дорогим. Меш топологія – цей тип топології базується на ідеї повнозв'язної топології, але з меншою кількістю зв'язків між комп'ютерами. Комп'ютери організовані у вигляді сітки, де кожен комп'ютер має зв'язок зі своїми сусідами усіх сторін, що створює мережу, яка забезпечує високу міцність та надійність – Рис. 1.13.

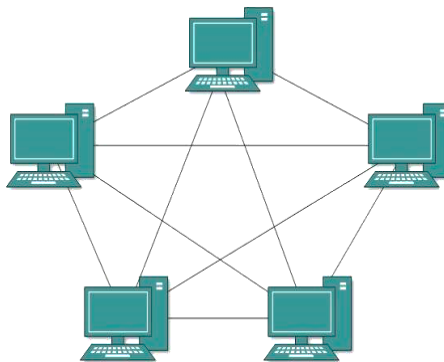


Рис. 1.13 – Повнозв'язна топологія (*Fully Connected Topology, Mesh Topology*)

**Ошибка! Источник ссылки не найден. – Ошибка! Источник ссылки не найден.**

7. Деревоподібна топологія (*Tree Topology*) – у цьому типі топології комп'ютери організовані у вигляді дерева, де головний комутатор забезпечує зв'язок між підключеними до нього вузлами, але вузли можуть також мати свої підвузли. Якщо один з комп'ютерів вийде з ладу, то це може вплинути лише на підключені до нього вузли – Рис. 1.14.

Кожна з цих типів топологій має свої переваги та недоліки, що залежать від конкретного застосування та вимог до мережі. Для прикладу, зіркова

топологія є простою та ефективною для невеликих мереж, а повнозв'язна топологія є надійною та швидкою для великих мереж з високими вимогами до швидкості та міцності. Залежно від вимог до мережі, може бути вибрано один з цих типів топологій або їх комбінацію для забезпечення максимальної ефективності та надійності системи – Рис. 1.15.

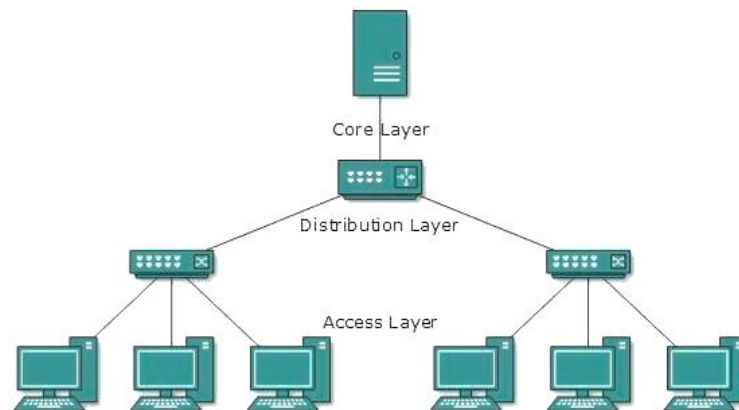


Рис. 1.14 – Деревоподібна топологія (*Tree Topology*) **Ошибка! Источник ссылки не найден.** – **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

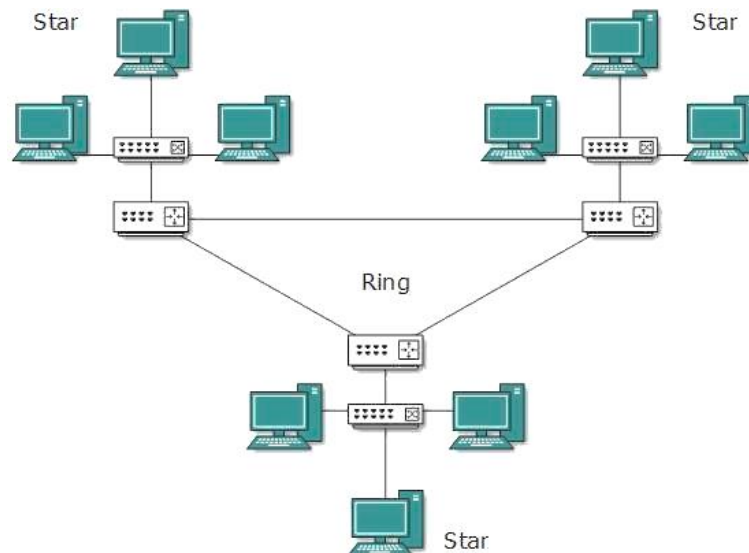


Рис. 1.15 – Гібридна топологія **Ошибка! Источник ссылки не найден.** – **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

QoS та топологія мережі взаємодіють у визначенні та забезпеченні якості обслуговування в мережі. Топологія мережі визначає фізичну та логічну структуру, а QoS визначає, як ці ресурси використовуються для забезпечення заданих рівнів обслуговування для різних видів трафіку. Розглянемо деякі аспекти їх взаємодії:

1. Пропускна здатність та топологія:

- в топології зірки, всі пристрої зазвичай з'єднані з центральним вузлом. Забезпечення достатньої пропускної здатності центрального вузла може бути вирішальним для забезпечення QoS для всіх пристроїв в мережі.
- у топології кільця чи магістралі, пропускна здатність кільця чи основної лінії може бути обмеженою, і це впливає на можливості забезпечення високої якості обслуговування.

2. Затримки та топологія:

- топологія мережі може впливати на затримки відправки та отримання пакетів. Наприклад, у топології зірки затримки можуть бути меншими порівняно з топологією кільця чи шини.
- забезпечення низьких затримок може бути важливим аспектом QoS, особливо для реального часу, такого як голосовий чи відео трафік.

3. Надійність та топологія:

- топологія мережі також впливає на надійність передачі даних. Наприклад, у топології зірки, відмова одного вузла не впливає на решту мережі, що може полегшити забезпечення надійності та QoS.

4. Керування конгестією та топологія:

- топологія також визначає шляхи передачі даних, які можуть бути більш або менш схильні до конгестії. У складних топологіях,

таких як мережі з областями або гілками, керування конгестією може бути складніше.

#### 5. Класифікація та маркування в топології:

- топологія мережі також впливає на необхідність та ефективність класифікації та маркування трафіку. У складних топологіях може бути важче однозначно визначити та обробляти різні види трафіку.

Таким чином, вибір та організація топології мережі повинні враховувати вимоги до QoS для забезпечення ефективного та стабільного функціонування мережі відповідно до потреб користувачів та сервісів.

### 1.3 Аналіз досліджень щодо управління мережними ресурсами

В фокусі поточного дослідження методи управління мережними ресурсами за допомогою інструментів QoS в кореляції з оптимальними топологічними рішеннями. Відповідно розглянемо релевантні публікації.

У статті **Ошибка! Источник ссылки не найден.** було представлено програмний інструмент, здатний передбачати кінцеву якість послуг Triple Play, використовуючи найбільш поширені метрики оцінки. Якість звуку та відео в мережевому середовищі стає ростучою проблемою для всіх постачальників інтернет-послуг, які пересилають мультимедійний трафік без зайвих затримок та втрат, які погіршують сприйняття якості мультимедійного контенту кінцевими користувачами. Математична модель передбачення ґрунтується на результатах, отриманих у багатьох тестових сценаріях, які моделюють реальну поведінку в мережі

На основі запропонованої моделі обчислюється якість мови чи відео з урахуванням політик, застосованих до обробки пакетів маршрутизаторами та рівня використання загальної мережі. Застосована програма може не лише передбачати параметри QoS, але і генерувати вихідний код конкретного

встановлення політики QoS відповідно до взаємодії з користувачем і застосовувати політику до маршрутизаторів у мережі. Внесок роботи полягає в створенні нового програмного інструменту, який дозволяє мережевим адміністраторам та дизайнерам ефективно покращувати та оптимізувати мережевий трафік – Рис. 1.16.

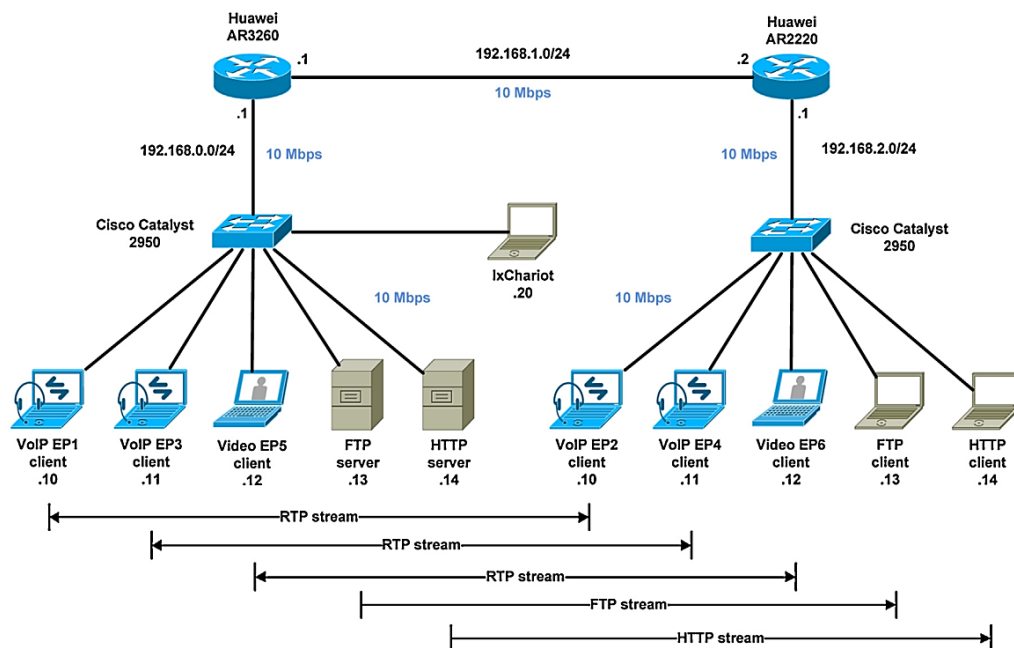


Рис. 1.16 – Топологічне рішення мережі для тестування інструментів QoS, що використана у дослідженні **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

У публікації **Ошибка! Источник ссылки не найден.** висвітлено основні аспекти, пов'язані з потребою в швидких мережевих послугах, стабільною мережею та відповідністю використовуваних технологій, що є ключовими вимогами сучасної громади. Технологічний прогрес інтегрується у всі сфери життя, особливо в освітньому процесі, де Інтернет відіграє важливу роль.

Аналіз якості обслуговування (QoS) виявив, що використання цього підходу дозволяє визначити якість мережевої топології Інтернету, що сприяє підвищенню продуктивності та ефективності системи. Виявлено недоліки у

раніше використовуваний топології, зокрема непослідовність у доставці пакетів призводила до втрат.

У контексті впровадження маршрутизаторів на мережевих топологіях підтверджено, що це не завжди гарантує підтримку якості обслуговування. Зазначено, що розподіл пропускної здатності і використання апаратного забезпечення також впливають на якість QoS – Рис. 1.17.

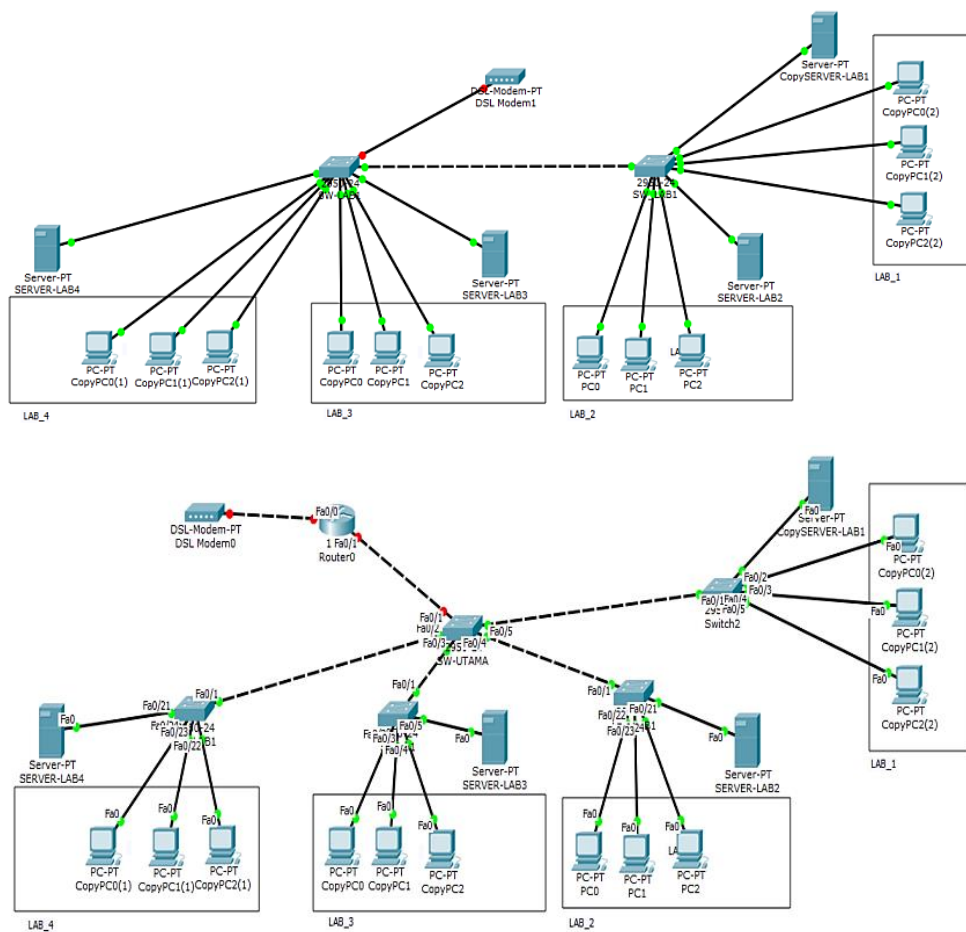


Рис. 1.17 – Початкова та розширена топологія мережі, оптимізована за допомогою механізмів QoS у дослідженні **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Отже, систематичний аналіз та оптимізація ресурсів, зокрема застосування аналізу QoS, має ключове значення для досягнення високої якості мережевих послуг та покращення ефективності мережі.

У дослідженні **Ошибка! Источник ссылки не найден.** була спроєктована та симульована локальна мережа з метою вивчення впливу якості обслуговування (QoS) на ефективність мережі. Експеримент охоплював два сценарії: без використання QoS та з використанням QoS. В якості параметрів ефективності використовувалися такі характеристики, як джиттер голосу, середня оцінка голосового відгуку, затримка відправлення пакету голосу, варіація затримки пакету голосу, отриманий обсяг голосового трафіку та відправлений обсяг голосового трафіку. Результати свідчать про значущу різницю між ефективністю обох сценаріїв. Таким чином, використання якості обслуговування (QoS) покращило загальну ефективність мережі. Як підкреслено в цьому експерименті, використання QoS в локальній мережі суттєво підвищує її ефективність – Рис. 1.18.

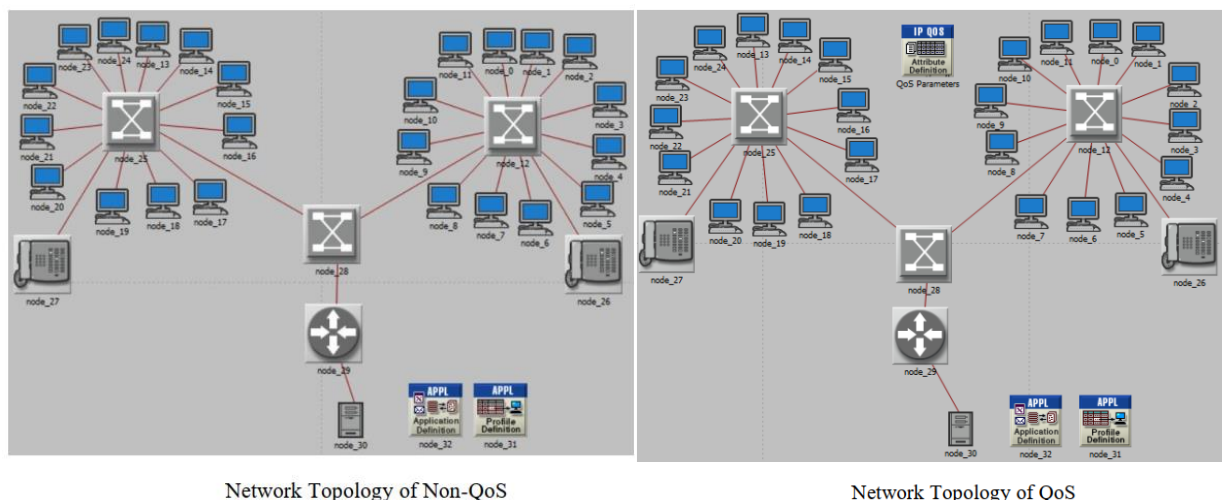


Рис. 1.18 – Топологічне рішення мережі, оптимізоване засобами QoS у дослідженні **Ошибка! Источник ссылки не найден.** до (зліва) та після (справа) інтеграції відповідних інструментів QoS

Були виміряні характеристики, такі як джиттер голосу, середня оцінка голосового відгуку, затримка відправлення пакету голосу, варіація затримки пакету голосу, отриманий обсяг голосового трафіку та відправлений обсяг голосового трафіку. Очевидно, що використання QoS гарантує швидкі відповіді і суттєво покращує використання ресурсів мережі.

Обґрунтувавши результати розгляду публікацій, можна зробити висновок, що впровадження якості обслуговування (QoS) в мережевих топологіях виявляє суттєвий вплив на їхню ефективність та продуктивність. Аналіз QoS дозволяє систематично визначати та оптимізувати різні параметри, такі як пропускна здатність, затримка, втрати пакетів та інші, для забезпечення оптимальної якості обслуговування.

У розглянутих дослідженнях показано, що використання QoS у локальних мережах та інших топологічних рішеннях призводить до покращення параметрів, таких як джиттер голосу, затримка пакетів, та інші, що визначають якість обслуговування.

Подальше дослідження QoS, зокрема параметрів, таких як втрати пакетів, пропускна здатність та затримка в черзі, може розширити розуміння впливу QoS на топологічні рішення мережі та сприяти їхньому подальшому вдосконаленню. У цілому, враховуючи аспекти забезпечення якості обслуговування, можна стверджувати, що QoS виступає ключовим інструментом для оптимізації та підвищення ефективності мережевих рішень.

## 2. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖНИМИ РЕСУРСАМИ

### 2.1 Параметризація процесів управління мережними ресурсами

Топологічні рішення в сучасних мережах є ключовими елементами, які визначають ефективність та управління ресурсами, зокрема в контексті системи управління якістю обслуговування (QoS). Пропускна здатність топології визначається її структурою, де, наприклад, топологія «зірка» може виявитися обмеженою центральним комутатором, тоді як топологія «кільце» може мати більшу пропускну здатність завдяки обходженню даних в обидві сторони.

Час затримки для топологічного рішення мережі також визначається її структурою, де ієрархічна топологія може забезпечити меншу затримку завдяки коротшим шляхам передачі даних. Сітчаста мережа, з іншого боку, може забезпечити мінімальну затримку, але вимагає більше ресурсів для підтримки такої конфігурації.

Маршрутизаційна ефективність тісно пов'язана з характеристиками топології. Так, централізована топологія може поліпшити ефективність маршрутизації через центральний пункт, в той час як децентралізована мережа може вимагати більше обчислювальних ресурсів для забезпечення оптимальних маршрутів.

Витрати на обладнання є ще однією важливою характеристикою. Зіркова топологія може вимагати менше обладнання, але мати недоліки при відмові центрального комутатора. Сітчаста мережа може забезпечити більшу надійність за рахунок багатократних з'єднань, але при цьому вимагає більше ресурсів

**Ошибка! Источник ссылки не найден. – Ошибка! Источник ссылки не найден..**

Топологічні рішення мережі впливають на параметри якості обслуговування (QoS), визначаючи ефективність та ресурсне управління. Однією з ключових характеристик є час передачі даних, який залежить від вибору методу маршрутизації – store-and-forward routing (SFR) або cut-through routing (CTR).

У випадку SFR, де дані повністю отримуються перед їхнім відправленням, отже може збільшуватися затримка передачі. З іншого боку, CTR дозволяє відправити пакети якнайшвидше, чим може зменшити затримку, але це може призвести до вищої ймовірності виникнення помилок.

Затримка часу передачі даних в мережі також є важливим показником, і тут вплив топології є суттєвим. Ієрархічні топології зазвичай забезпечують меншу затримку завдяки коротшим шляхам передачі даних, що може бути важливим для забезпечення низької затримки в мережі.

Обчислювальна складність паралельного алгоритму може залежати від топології, оскільки вона визначає, як ефективно розподіляються завдання між вузлами мережі. Ефективність паралельного алгоритму також пов'язана з показниками прискорення, що може залежати від можливостей топології обробляти одночасно багато завдань.

Змінюючи топологічні рішення, можна впливати на пропускну здатність мережі. Так, централізована топологія може мати обмежену пропускну здатність через центральний вузол, тоді як децентралізована мережа може забезпечити більшу пропускну здатність завдяки розподілу завдань між вузлами.

Узагальнюючи, вибір топології мережі визначає взаємозв'язок параметрів QoS, визначаючи, наскільки ефективно мережа забезпечує високу якість обслуговування у контексті передачі даних, затримки та розподілу завдань між вузлами **Ошибка! Источник ссылки не найден. – Ошибка! Источник ссылки не найден..**

Оптимізація топології мережі з використанням системи QoS передбачає ретельне управління ресурсами та пропускнуою здатністю відповідно до вимог різних видів трафіку. Це може бути досягнуто за допомогою кількох ключових підходів, які враховують важливість різних видів даних та ефективно використовують існуючих мережевих маршрутів **Ошибка! Источник ссылки не найден.** – **Ошибка! Источник ссылки не найден.** – Рис. 2.1.

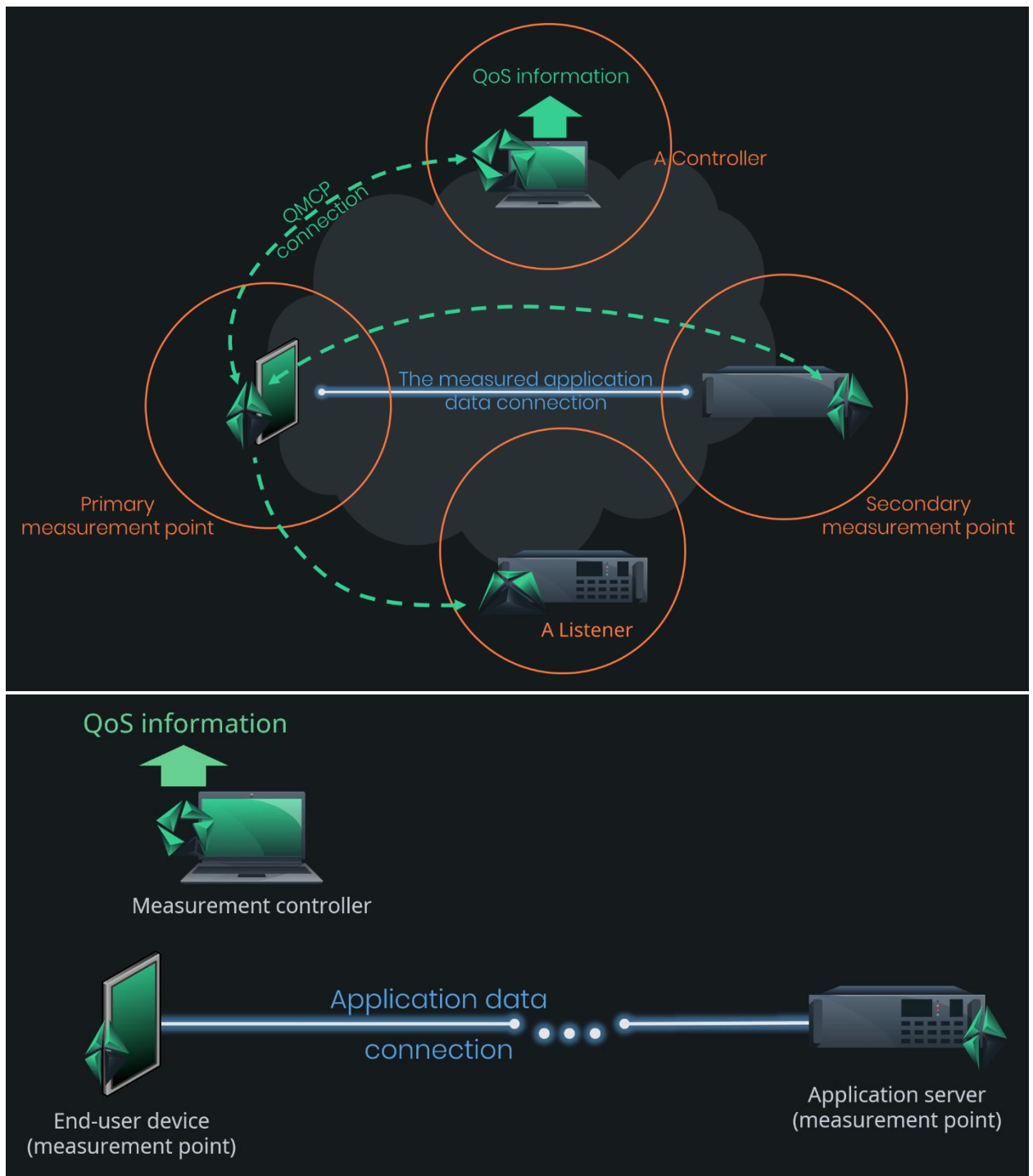


Рис. 2.1 – Загальна концепція оптимізації топологічних рішень за допомогою інструментів QoS **Ошибка! Источник ссылки не найден. – Ошибка!**  
**Источник ссылки не найден.**

QoS дозволяє призначити пріоритети різним видам трафіку в залежності від їхньої важливості. Голосовий чи відеотрафік, який є чутливим до затримок, може бути відзначений вищим пріоритетом, щоб мати перевагу у використанні ресурсів та пропускної здатності **Ошибка! Источник ссылки не найден.** – **Ошибка! Источник ссылки не найден.** – Рис. 2.2.

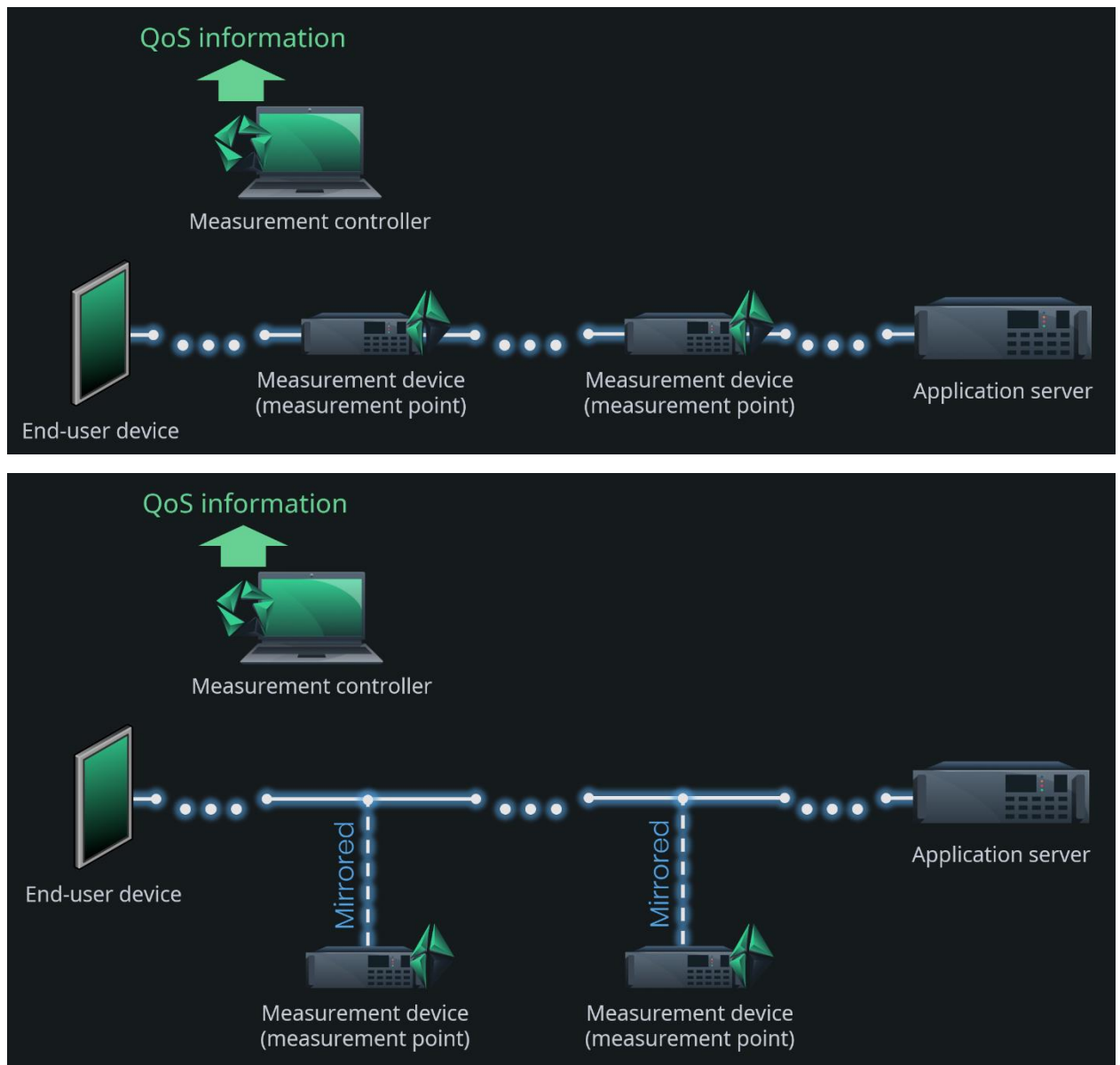


Рис. 2.2 – Варіації топологічних рішень мережі, оптимізованих за допомогою інструментів та механізмів QoS **Ошибка! Источник ссылки не найден.** – **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Системи QoS можуть впливати на вибір оптимального маршруту для різних видів трафіку. Вони можуть враховувати не лише найкоротший шлях, але й стан мережі та її завантаженість, розподіляючи трафік через менш завантажені сегменти **Ошибка! Источник ссылки не найден. – Ошибка! Источник ссылки не найден..**

Застосування QoS дозволяє активно контролювати затримку часу передачі даних в мережі. Це особливо важливо для додатків, які вимагають реального часу, таких як голосові чи відеоконференції.

QoS дозволяє мережі адаптуватися до змін у її навантаженості та об'єму трафіку. Система може автоматично реагувати на зміни у вимогах та пристосовувати розподіл ресурсів для забезпечення оптимальної продуктивності. QoS може бути налаштовано для забезпечення параметрів якості обслуговування на різних рівнях мережі. Наприклад, визначення пріоритетів та контроль затримки може здійснюватися на рівні комутаторів, маршрутизаторів та інших мережевих пристроїв.

За допомогою QoS можна ефективно управляти пропускною здатністю мережі, регулюючи доступ до ресурсів для різних видів трафіку. Це дозволяє уникати перевантажень та забезпечує рівномірний доступ до мережевих ресурсів. QoS може використовуватися для динамічного адаптивного керування мережевими ресурсами в реальному часі. Системи автоматично можуть перерозподіляти ресурси відповідно до змін у трафіку та вимогах додатків.

Використання QoS також може поліпшити безпеку мережі, забезпечуючи пріоритетну обробку важливого та критичного трафіку. Це може зменшити ризик атак та забезпечити надійність комунікацій.

Ці підходи спільно допомагають створити мережеву топологію, яка ефективно відповідає вимогам конкретних додатків та користувачів, забезпечуючи високу якість обслуговування при оптимальному використанні

ресурсів мережі. Загалом, оптимізація топології мережі за допомогою QoS є комплексним підходом, який сприяє покращенню якості обслуговування, ефективному використанню ресурсів та адаптації до змін у середовищі мережі. Впровадження такої системи дозволяє створити високоефективну та надійну мережеву інфраструктуру для різноманітних завдань та вимог користувачів.

## 2.2 Математичне моделювання системи управління мережними ресурсами

Сформуємо математичний апарат для моделювання системи управління мережними ресурсами за допомогою інструментів QoS.

Основна характеристика модельованого топологічного рішення мережної структури – час передачі даних між елементами мережі.

У випадку передачі пакетів інформації, як неподільних (атомарних) блоків інформації (store-and-forward routing (SFR)) зазначений час передачі даних між елементами мережі визначається за (2.1) **Ошибка! Источник ссылки не найден. – Ошибка! Источник ссылки не найден.:**

$$t_{no} = t_n + \left( \frac{m}{R} \right) \times l, \quad (2.1)$$

де  $t_n$  – затримка часу передачі даних в модельованій мережі: час затримки, що виникає при передачі даних через мережу від відправника до отримувача.  $m$  – розмір пакетів даних;  $R$  – пропускна здатність мережі: (*throughput*) – максимальний обсяг даних, який може бути переданий протягом одиниці часу по одному каналу передачі даних [біт/с],  $l$  – довжина маршруту передачі даних.

Затримка часу охоплює різні етапи процесу передачі, такі як обробка даних відправником, їх передача через мережу, обробка отримувачем та інші часові витрати, пов'язані із передачею і отриманням інформації. Однією з ключових характеристик затримки є її вплив на якість обслуговування (QoS) мережі. Наприклад, для додатків реального часу, таких як голосова чи відеокommунікація, низька затримка є важливою для забезпечення ефективності та плавності комунікації. Мінімізація затримки сприяє швидшій доставці та обробці даних, що робить мережу більш ефективною для вимог користувачів. Поняття затримки може бути розглянуте з різних точок зору, включаючи односторонню затримку (час відправлення або отримання в один бік) та кількість затримки (час відправлення і отримання в обидва боки). Визначення та контроль затримки є важливими аспектами управління якістю мережі з метою забезпечення оптимальної продуктивності та задоволення потреб користувачів.

Пропускна здатність мережі є критичним показником, який визначає швидкість передачі даних між різними вузлами чи пристроями в мережі. Цей параметр визначає, наскільки ефективно та швидко можуть обмінюватися інформацією пристрої та користувачі мережі. Вимірювання та управління пропускнуою здатністю важливі для ефективного планування та розгортання мережі. Збільшення пропускнуої здатності може вимагати оптимізації апаратної конфігурації, використання швидших технологій передачі даних та впровадження високопродуктивних мережових рішень.

Описуючи моделювання мережі, використовують технологію «точка-до-точки», де мережний елемент, який має вихідний пакет інформації, готує весь обсяг даних для передачі, визначає транзитний елемент, через який дані можуть бути доставлені до цільового елемента, і запускає операцію передачі даних. Елемент, до якого направлено пакет інформації, в першу чергу отримує всі передані дані, а потім розпочинає передачу отриманого пакету інформації далі за маршрутом.

Другий спосіб комунікації передбачає поділ вихідного пакету інформації на менші блоки даних, що дозволяє зменшити величину передаваної інформації. При такому методі передачі транзитний елемент може відправляти пакети даних на наступні елементи мережі вже після отримання першого пакету, не чекаючи завершення приймання всього обсягу інформації. Цей метод комунікації називається «cut-through routing» або CTR.

Час передачі даних для CTR **Ошибка! Источник ссылки не найден. – Ошибка! Источник ссылки не найден. – (2.2):**

$$t_{nd} = t_n + \frac{V}{R} \times \left( l + \left\lceil \frac{m}{V - V_0} \right\rceil \right) = t_n + \frac{V}{R} \times (l + n - 1), \quad (2.2)$$

де  $V$  – обсяг пакету даних;

$V_0$  – обсяг службової інформації, що визначається у кожному пакеті даних – «заголовок пакету»;

$n$  – кількість пакетів даних, що підлягають процедурі передачі **Ошибка! Источник ссылки не найден. – Ошибка! Источник ссылки не найден. – (2.3):**

$$n = \left\lceil \frac{m}{V - V_0} \right\rceil + 1, \quad (2.3)$$

де  $\lceil \cdot \rceil$  – операція до цілого з надлишком.

З метою визначення QoS-оптимізації різних топологічних рішень модельованої мережі застосовуються наступні завдання **Ошибка! Источник ссылки не найден. – Ошибка! Источник ссылки не найден. Основні**

операції в мережі, які ми будемо перевіряти в подальшому представлені в табл. 1.9

Табл. 1.9 - Математичні задачі що вирішуються в мережі

| Завдання з тестування мережі                                                                                              | Математичне формулювання                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Множення матриці на вектор з отриманням скалярного добутку для кожного рядку матриці, що розміщується на векторі множення | $c_i = a_i, b = \sum_{j=1}^n a_{ij} \times b_j, 1 \leq i \leq m,$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Перемноження матриць з використанням стрічкового та блочного (Фокса та Кеннона) алгоритмів                                | $\begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{k1} & A_{k2} & \dots & A_{kk} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} & \dots & B_{1k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_{k1} & B_{k2} & \dots & B_{kk} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{k1} & C_{k2} & \dots & C_{kk} \end{pmatrix} \Rightarrow$ $\Rightarrow C_{ij} = \sum_{l=1}^k A_{il} \times B_{lj}.$ |
| Вирішення системи лінійних рівнянь за допомогою методу Гауса та методу сполучних градієнтів                               | $\begin{array}{ccccccc} a_{0,0}x_0 & +a_{0,1}x_1 & +\dots & +a_{0,n-1}x_{n-1} & = & b_0; \\ a_{1,0}x_0 & +a_{1,1}x_1 & +\dots & +a_{1,n-1}x_{n-1} & = & b_1; \\ \dots & \dots & & \dots & & \dots \\ a_{n-1,0}x_0 & +a_{n-1,1}x_1 & +\dots & +a_{n-1,n-1}x_{n-1} & = & b_{n-1}. \end{array}$                                                                                                                                                                                                 |
| Сортування / вирішення диференційних рівнянь                                                                              | $S = \{a_1, a_2, \dots, a_n\} \Rightarrow$ $\Rightarrow S \sqsubseteq S' = \{a'_1, a'_2, \dots, a'_n\} : a'_1 \leq a'_2 \leq \dots \leq a'_n.$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

|  |                                                                                                                                                                                |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | $\begin{cases} \frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} = f(x, y) \Rightarrow (x, y) \in D; \\ u(x, y) = g(x, y) \Rightarrow (x, y) \in D^0. \end{cases}$ |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- множення матриці на вектор з отриманням скалярного добутку для кожного рядку матриці, що розміщується на векторі множення **Ошибка! Источник ссылки не найден. – Ошибка! Источник ссылки не найден.** – (2.4):

$$c_i = a_i, b = \sum_{j=1}^n a_{ij} \times b_j, 1 \leq i \leq m, \quad (2.4)$$

де  $a_i$  –  $i$ -й рядок матриці  $A$ , що має розмірність  $m \times n$ ;

$b$  – вектор, що складається з  $n$  елементів;

$c_i$  – результуючий вектор добутку матриці  $A$  (у формі рядка  $a_i$ ) та початкового вектору  $b$ , що має розмірність  $m$ ;

- перемноження матриць з використанням стрічкового та блочного (Фокса та Кеннона) алгоритмів **Ошибка! Источник ссылки не найден. – Ошибка! Источник ссылки не найден.** має вигляд:

$$\begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{k1} & A_{k2} & \dots & A_{kk} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} & \dots & B_{1k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_{k1} & B_{k2} & \dots & B_{kk} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{k1} & C_{k2} & \dots & C_{kk} \end{pmatrix} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C_{ij} = \sum_{l=1}^k A_{il} \times B_{lj}.$$

(2.5)

- вирішення системи лінійних рівнянь за допомогою методу Гауса та методу сполучних градієнтів **Ошибка! Источник ссылки не найден.** – **Ошибка! Источник ссылки не найден.** представляється як:

$$\begin{array}{ccccccc}
 a_{0,0}x_0 & +a_{0,1}x_1 & +\dots + a_{0,n-1}x_{n-1} & = b_0; \\
 a_{1,0}x_0 & +a_{1,1}x_1 & +\dots + a_{1,n-1}x_{n-1} & = b_1; \\
 \dots & \dots & \dots & \dots \\
 a_{n-1,0}x_0 & +a_{n-1,1}x_1 & +\dots + a_{n-1,n-1}x_{n-1} & = b_{n-1}.
 \end{array} \tag{2.6}$$

- сортування є однією з типових проблем обробки даних і зазвичай розуміється як завдання розміщення елементів неупорядкованого набору значень  $S$  у порядку монотонного зростання чи спадання  $S \sqsubseteq S'$ . При цьому використовуються методи бульбашкового сортування та сортування Шелла **Ошибка! Источник ссылки не найден.** – **Ошибка! Источник ссылки не найден.:**

$$\begin{aligned}
 S &= \{a_1, a_2, \dots, a_n\} \Rightarrow \\
 \Rightarrow S &\sqsubseteq S' = \{a'_1, a'_2, \dots, a'_n\} : a'_1 \leq a'_2 \leq \dots \leq a'_n.
 \end{aligned} \tag{2.7}$$

- обробка графів: графові математичні моделі є дуже поширеними у моделюванні різноманітних явищ, процесів і систем. Це дозволяє вирішувати багато теоретичних та прикладних задач шляхом аналізу графових моделей. Серед цих процедур можна виділити набір типових алгоритмів обробки графів, які застосовуються для розв'язання різних задач;

- вирішення диференціальних рівнянь, як приклад це проблема чисельного розв'язання задачі Діріхле для рівняння Пуассона  
**Ошибка! Источник ссылки не найден. – Ошибка! Источник ссылки не найден.:**

$$\begin{cases} \frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} = f(x, y) \Rightarrow (x, y) \in D; \\ u(x, y) = g(x, y) \Rightarrow (x, y) \in D^0. \end{cases} \quad (2.8)$$

- вирішення задач багатоекстремальної оптимізації: у всіх сферах їх діяльності виникає проблема вибору найкращого рішення з усіх можливих. Наприклад, в економіці – це управління економічними об'єктами, а в техніці – вибір оптимальної конструкції. До числа найпоширеніших моделей раціонального вибору належать математичні задачі оптимізації, коли потрібно максимізувати або мінімізувати деякий функціонал за умови наявності обмежень у вигляді нерівностей. При цьому виконання обмежень для деякого вектора параметрів, що визначає рішення, розуміється як допустимість цього рішення, тобто як можливість його реалізації за наявних ресурсів. Теорію та методи знаходження мінімумів функцій багатьох змінних за наявності додаткових обмежень на ці змінні зазвичай розглядають як окрему дисципліну – математичне програмування.

Розглянемо показники ефективності QoS-оптимізованої мережі на прикладі операції множення матриці на вектор, відповідно до (2.4).

У випадку, коли матриця  $A$  є квадратною (розмірність  $m \times m$ ), послідовний алгоритм множення матриці на вектор має складність  $T_1 = n^2$ . У випадку паралельних обчислень, кожен мережний елемент множить лише

частину (смугу) матриці  $A$  на вектор  $b$ , розмір цих смуг дорівнює  $n/p$  рядків. При обчисленні скалярного добутку одного рядка матриці та вектору необхідно здійснити  $n$  операцій множення та  $(n-1)$  операцій додавання. Отже, обчислювальна складність паралельного алгоритму, що реалізується в модельованій мережі засобами пріоритезації трафіку за допомогою QoS-інструментів визначається виразом **Ошибка! Источник ссылки не найден.**  
– **Ошибка! Источник ссылки не найден.:**

$$T_p = \frac{n^2}{p}. \quad (2.9)$$

З урахуванням цієї оцінки показники прискорення та ефективності паралельного алгоритму мають вигляд **Ошибка! Источник ссылки не найден.** – **Ошибка! Источник ссылки не найден.:**

$$\begin{aligned} S_p &= [n^2 / (n^2 / p)] = p; \\ E_p &= \{n^2 / [p \cdot (n^2 / p)]\} = 1. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Попередньо розглянуті оцінки часу обчислень виражені у кількості операцій і не враховують витрат на передачу даних. Використали раніше сформульовані припущення про те, що операції множення і додавання мають однакову тривалість. Крім того, припускаємо, що обчислювальна система є однорідною, тобто всі мережеві елементи, що складають цю систему, мають однакову продуктивність. З урахуванням введених припущень час виконання паралельного алгоритму, пов'язаний безпосередньо з обчисленнями, та складає **Ошибка! Источник ссылки не найден.** – **Ошибка! Источник ссылки не найден.:**

$$T_p(calc) = (n / p) \times (2n - 1) \times \tau. \quad (2.11)$$

Оцінка трудомісткості операції загального збору даних може бути визначена за  $\log_2 p$  ітерацій. На першій ітерації взаємодіючі пари мережних елементів обмінюються пакетом інформації об'ємом  $w[n / p]$ , де  $w$  є розміром одного елемента вектору у байтах. На другій ітерації цей обсяг збільшується удвічі і стає рівним  $2 \times w[n / p]$  і т. д. Як результат, тривалість виконання операції збору даних при використанні моделі Хокні може бути визначена за допомогою наступного виразу **Ошибка! Источник ссылки не найден. – Ошибка! Источник ссылки не найден.:**

$$\begin{aligned} T_p(comm) &= \sum_{i=1}^{\log_2 p} (\alpha + 2^{i-1} w[n / p] / \beta) = \\ &= \alpha \log_2 p + w[n / p](2^{\log_2 p} - 1) / \beta, \end{aligned} \quad (2.12)$$

де  $\alpha$  – затримка часу передачі даних в мережі;

$\beta$  – пропускна здатність мережі.

Таким чином, загальний час виконання паралельного алгоритму складає **Ошибка! Источник ссылки не найден. – Ошибка! Источник ссылки не найден. :**

$$T_p = (n / p) \times (2n - 1) \times \tau + \alpha \log_2 p + w(n / p)(p - 1) / \beta \quad (2.13)$$

Таким чином отриманий математичний апарат для оптимізації мережі за допомогою інструментів QoS, що включають формулювання для визначення головного критерію ефективності мережі – часу передачі даних між елементами мережі SFR CTR при вирішенні завдань, що потребують

щільної взаємодії елементів та складових модельованої мережі (множення матриці на вектор, перемноження матриць з використанням стрічкового та блочного (Фокса та Кеннона) алгоритмів, вирішення системи лінійних рівнянь за допомогою методу Гауса та методу сполучних градієнтів та ін.), які визначають обчислювальне навантаження та дозволяють отримати оптимізовані параметри: розміри пакетів даних, пропускну здатність мережі, довжину маршруту передачі даних, тощо.

### 2.3 Моделювання системи управління мережними ресурсами

Моделювання мережної топології та системи управління мережними ресурсами є важливим інструментом для дослідження та оптимізації роботи таких систем. Для досягнення максимальної ефективності необхідно розуміти, як взаємодіють процесори між собою та які чинники впливають на продуктивність системи в цілому.

Моделювання дозволяє виконувати різноманітні експерименти та аналізувати результати, що допомагає виявляти проблемні місця та знаходити шляхи їх вирішення. Зокрема, можна досліджувати різні алгоритми та розподіли ресурсів між процесорами, щоб визначити, який підхід дає найкращі результати для конкретної задачі.

Моделювання QoS-оптимізації мереж є важливим етапом в процесі проєктування та розробки нових систем, а також для оптимізації вже наявних систем. При цьому необхідно брати до уваги різні параметри, такі як швидкість процесорів, кількість процесорів, розподіл пам'яті та інші фактори, які можуть впливати на продуктивність системи.

У якості програмного середовища для моделювання QoS-оптимізації мережі обрано програмний комплекс ParaLab **Ошибка! Источник ссылки не найден..** ParaLab пропонує аналіз топологічних рішень QoS-оптимізованих мереж – Рис. 2.3.

З метою виявлення найефективнішої топології QoS-оптимізованих мереж (з урахуванням параметрів, описаних в п. 2.2 поточного дослідження) виконаємо порівняння кожного топологічного рішення на однакових умовах, з метою досягнення кореляційної чистоти модельного експерименту.

Встановлюємо середні показники моделювання, що будуть однаковими для кожного топологічного рішення QoS-оптимізованих мереж:

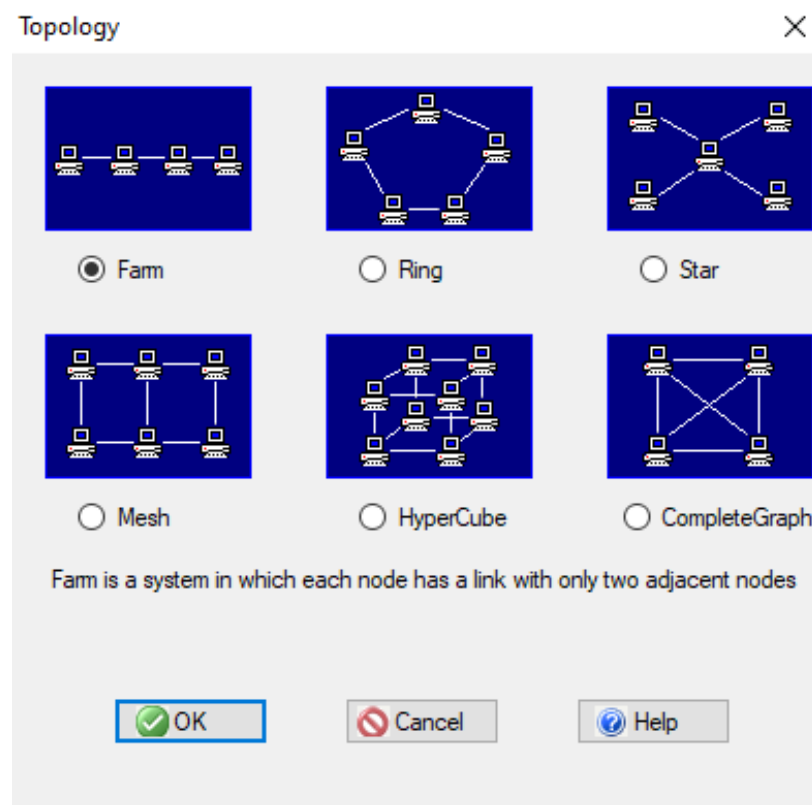


Рис. 2.3 – Топологічні рішення QoS-оптимізованих мереж, що можуть бути змодельовані в програмі ParaLab **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

- кількість комп'ютерів мережі та ядерність кожного процесору – Рис. 2.4;

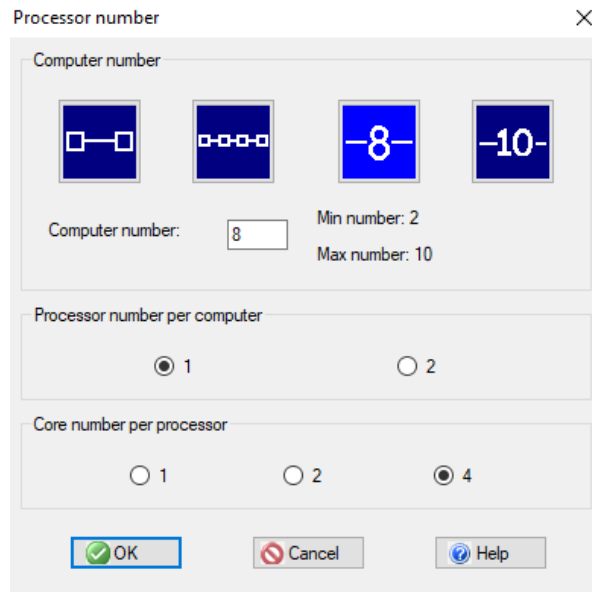


Рис. 2.4 – Комп’ютерно-процесорні параметри модельного експерименту

- продуктивність процесорів, що будуть використані в моделюванні топологічних рішень – Рис. 2.5;

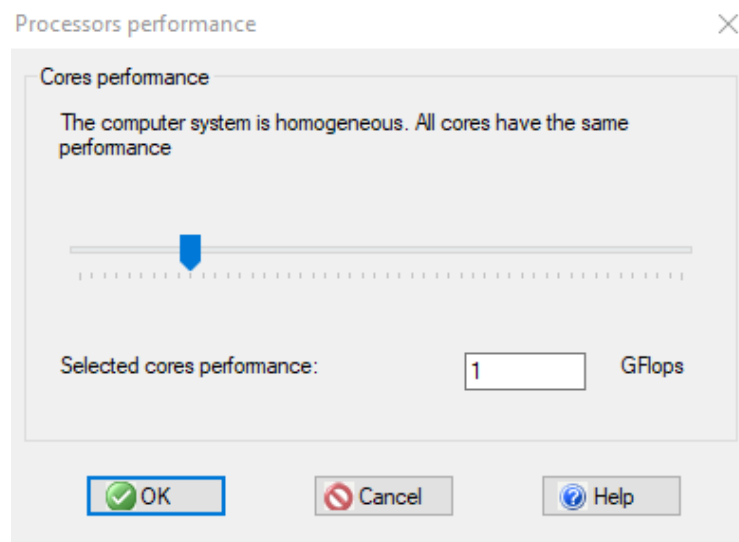


Рис. 2.5 – Встановлення однакової продуктивності процесорів

- параметри затримки та пропускної здатності модельованих топологічних рішень QoS-оптимізованих мереж (з урахуванням положень та параметрів п. 2.2 поточного дослідження) – Рис. 2.6;

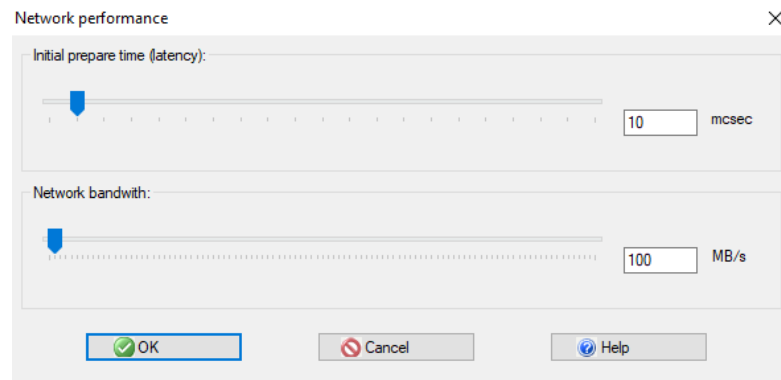


Рис. 2.6 – Мережні параметри моделей

- метод передачі даних між комп'ютерами кожного топологічного рішення QoS-оптимізованих мереж – Рис. 2.7;

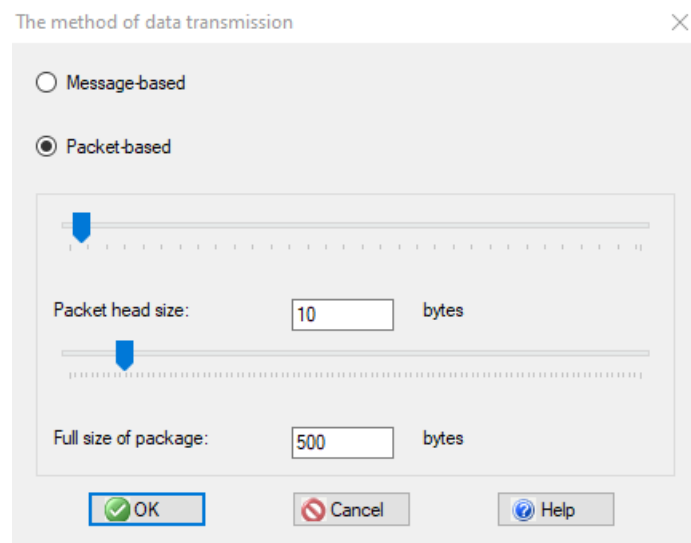


Рис. 2.7 – Параметри методу передачі даних між елементами мережі

- розміри масиву також встановлюються однаковими – Рис. 2.8;

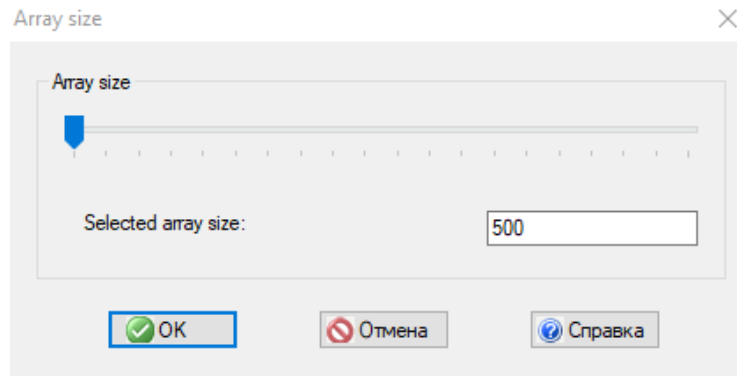


Рис. 2.8 – Параметри масиву

- приймається типове обчислювальне завдання – сортування (опис математичної моделі, якого наводиться в п. 2.2 поточного дослідження) – Рис. 2.9;

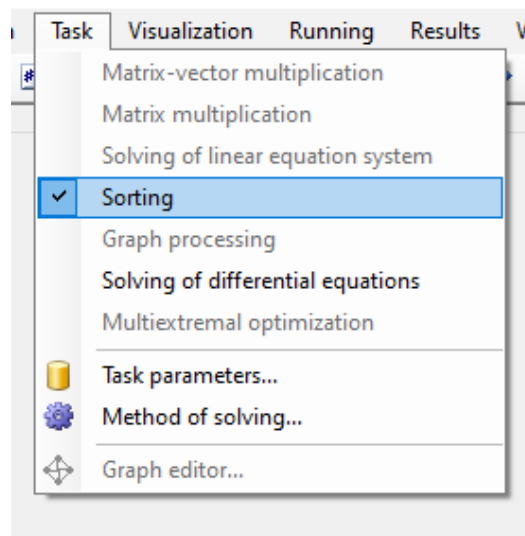


Рис. 2.9 – Встановлення типового обчислювального завдання

- визначаємо один метод виконання сортування – Рис. 2.10;

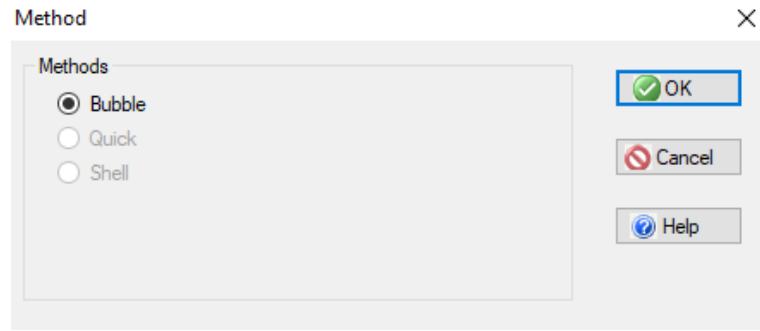


Рис. 2.10 – Встановлення однакового методу сортування даних

Далі наводимо результати моделювання для кожного топологічного рішення QoS-оптимізованих мереж – Рис. 2.11 – Рис. 2.15.

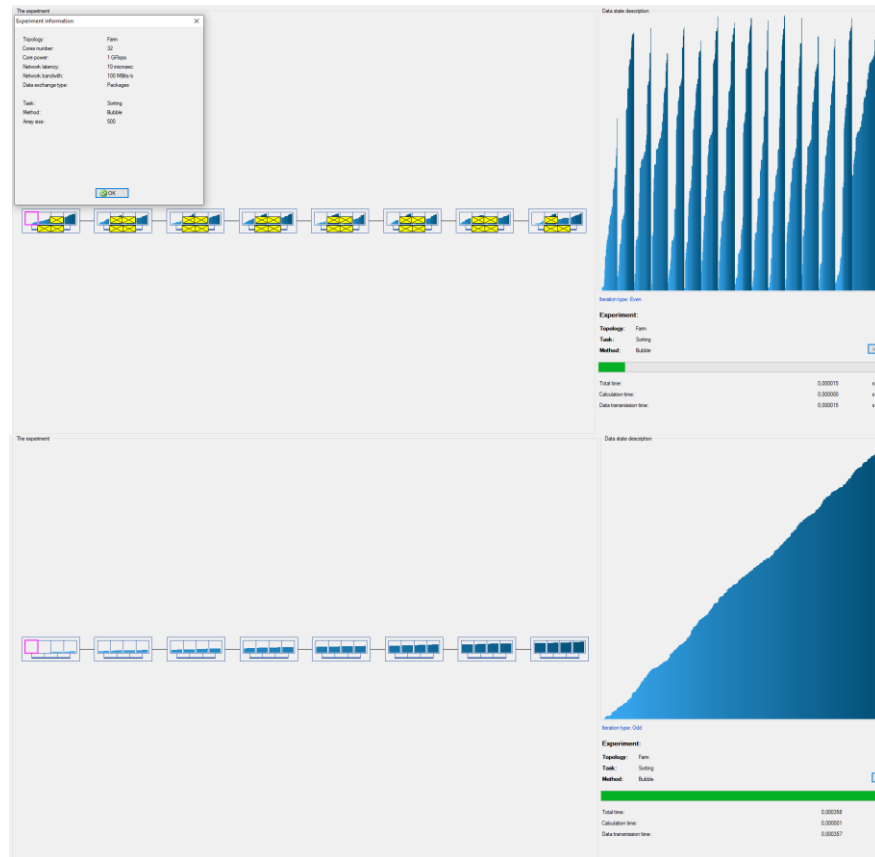


Рис. 2.11 – Моделювання лінійної топології QoS-оптимізованої мережі

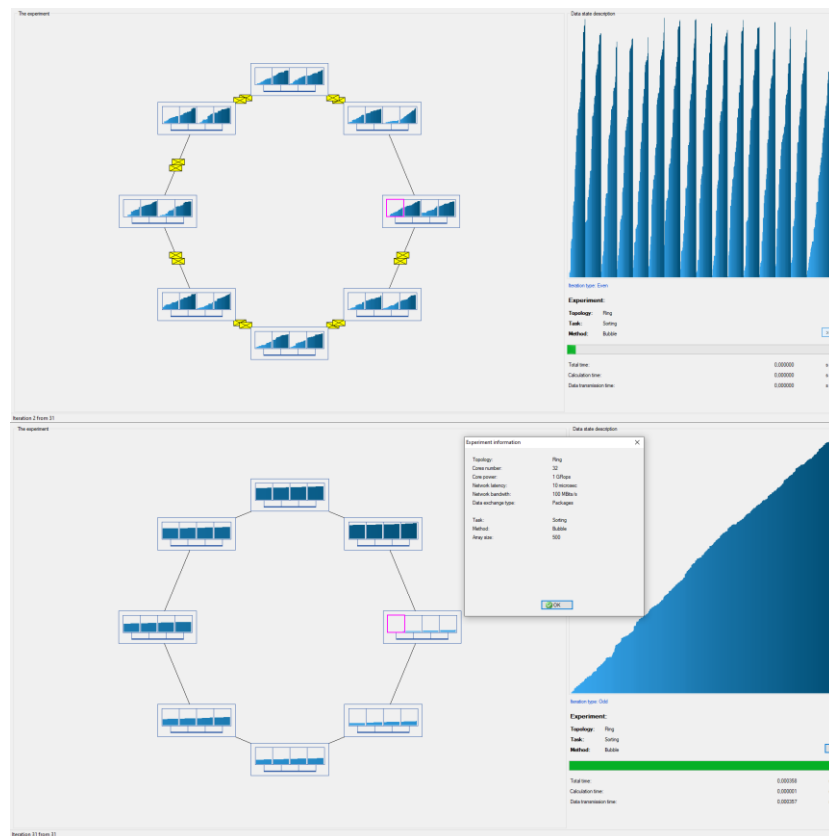


Рис. 2.12 – Моделювання кільцевої топології QoS-оптимізованої мережі

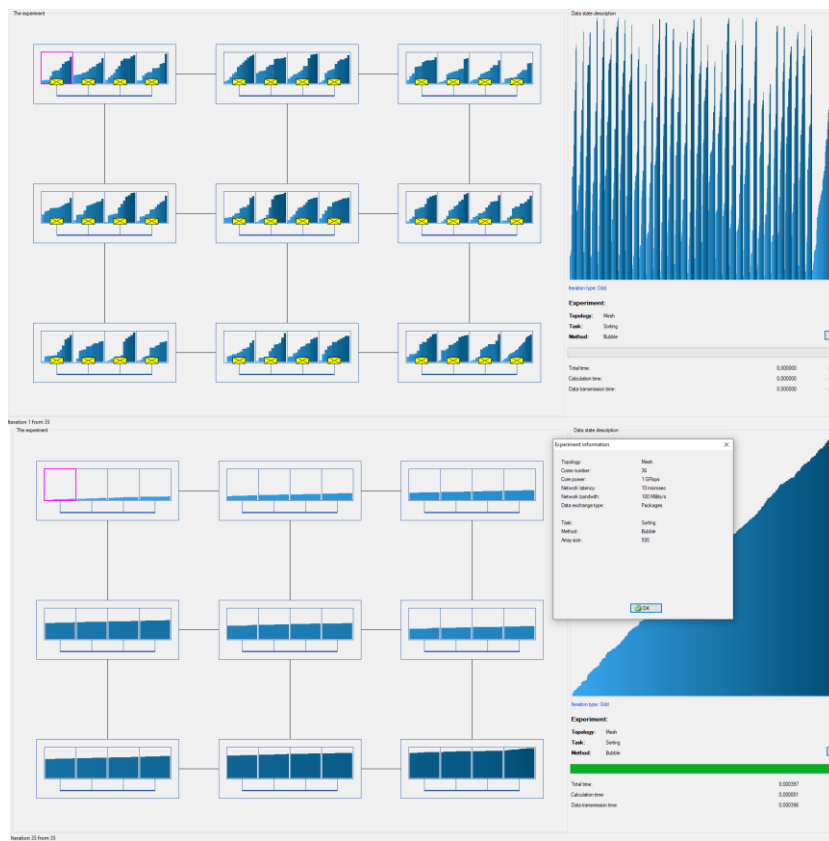


Рис. 2.13 – Моделювання сіткової топології QoS-оптимізованої мережі

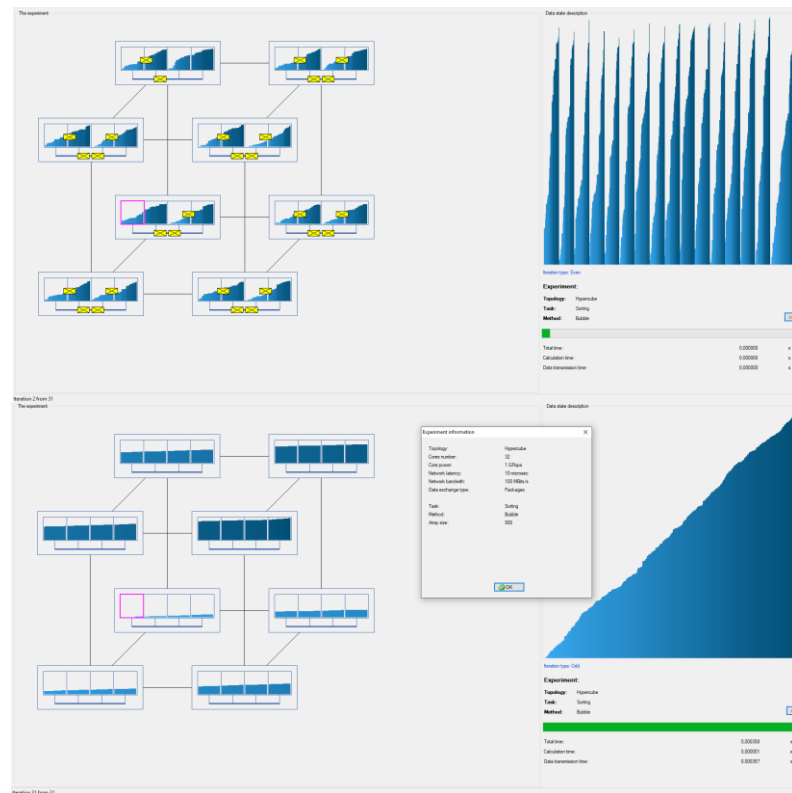


Рис. 2.14 – Моделювання кубічної топології QoS-оптимізованої мережі

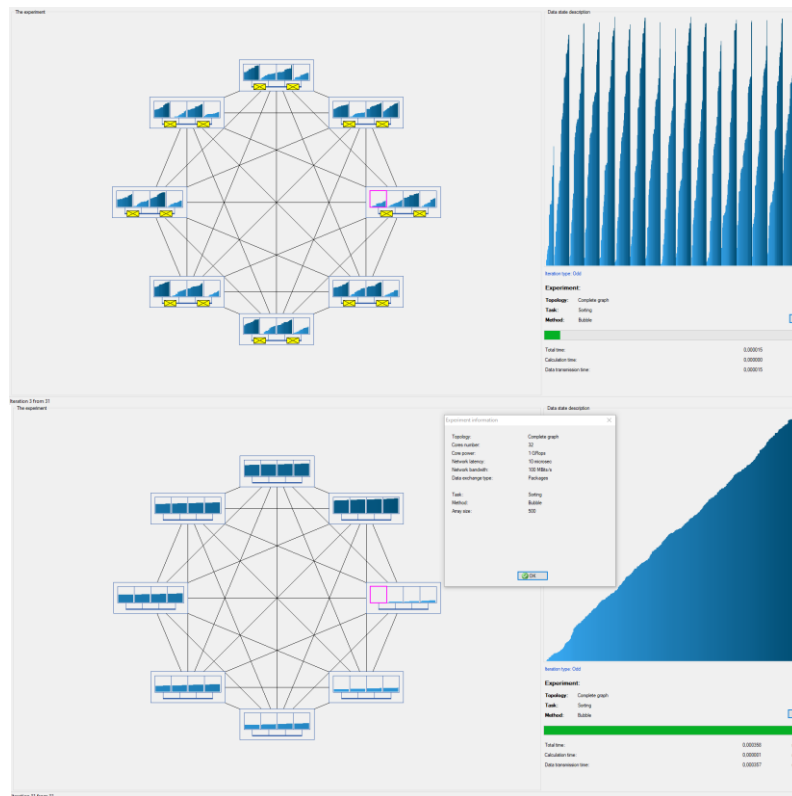
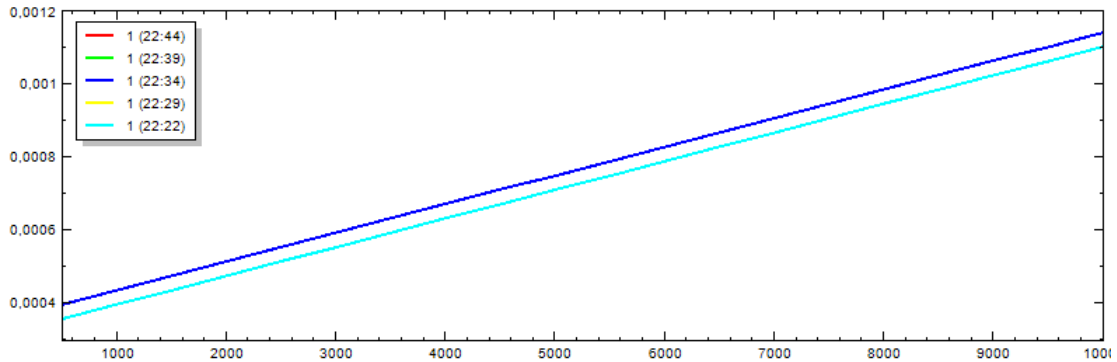


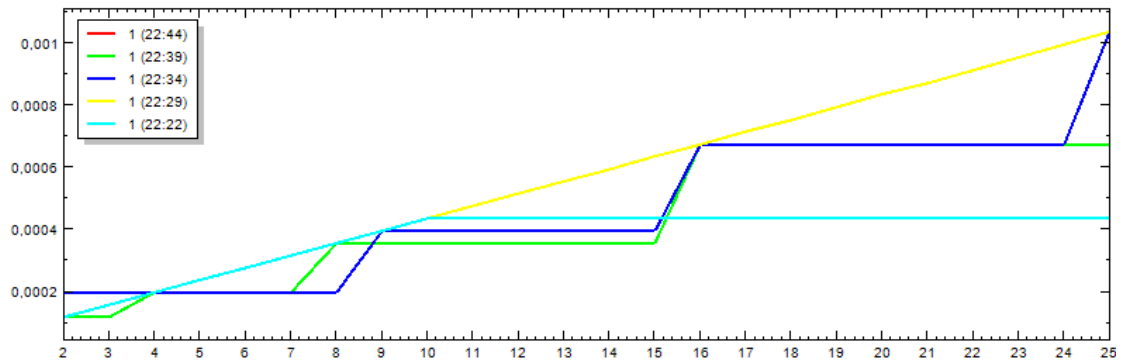
Рис. 2.15 – Моделювання повнозв'язної топології QoS-оптимізованої мережі

Порівняння топологічних рішень QoS-оптимізованої мережі за часовими графами наводиться нижче – Рис. 2.16 – Рис. 2.22.



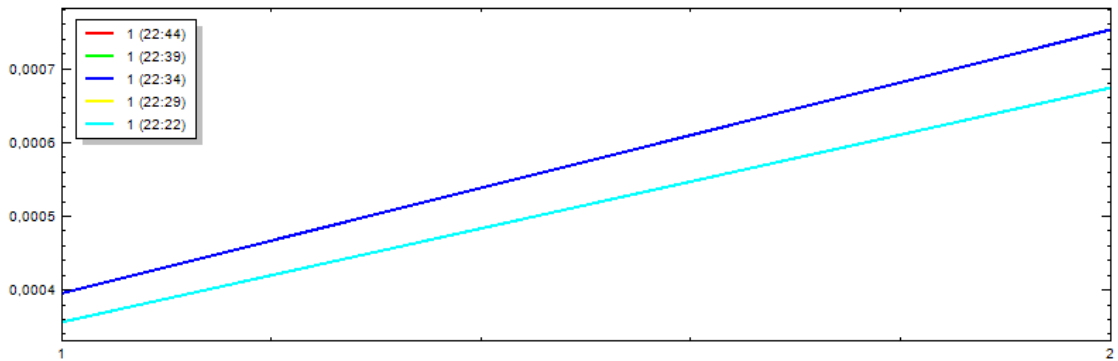
1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв'язна топологія (бірюзова лінія)

Рис. 2.16 Часова характеристика об'єму вихідних даних (по осі абсцис – об'єм вихідних даних [байт]; по осі ординат – час виконання дослідів [с])



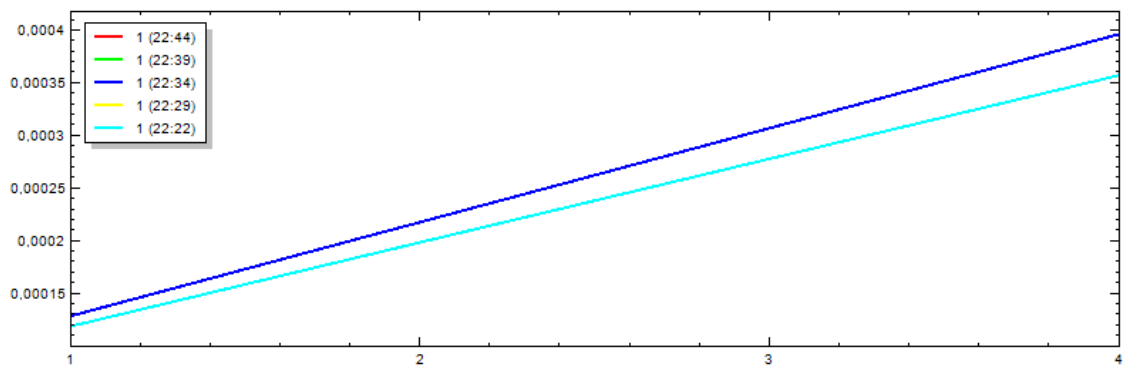
1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв'язна топологія (бірюзова лінія)

Рис. 2.17 – Часова характеристика динаміки завантаження вузлів (по осі абсцис – вузли мережі [вузли]; по осі ординат – час виконання дослідів [с])



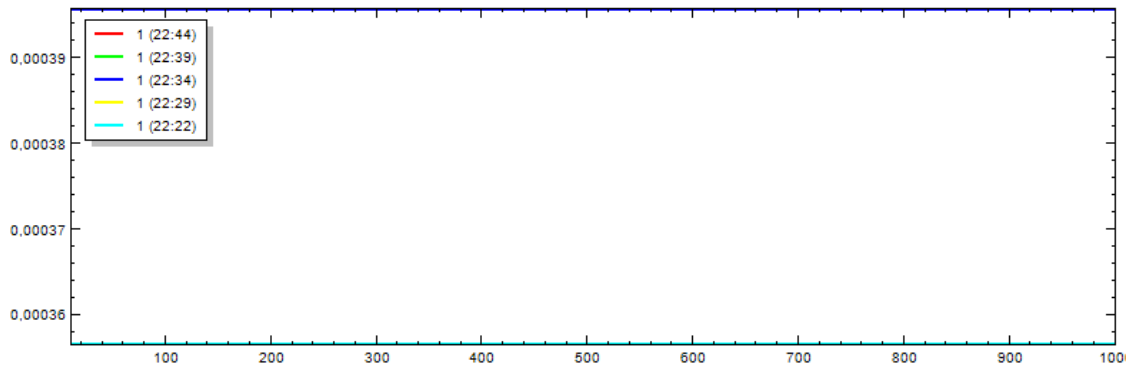
1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв'язна топологія (бірюзова лінія)

Рис. 2.18 – Часова характеристика динаміки завантаженості процесорів у вузлах (по осі абсцис – кількість процесорів, що завантажуються у вузлах мережі; по осі ординат – час виконання дослідів [с])



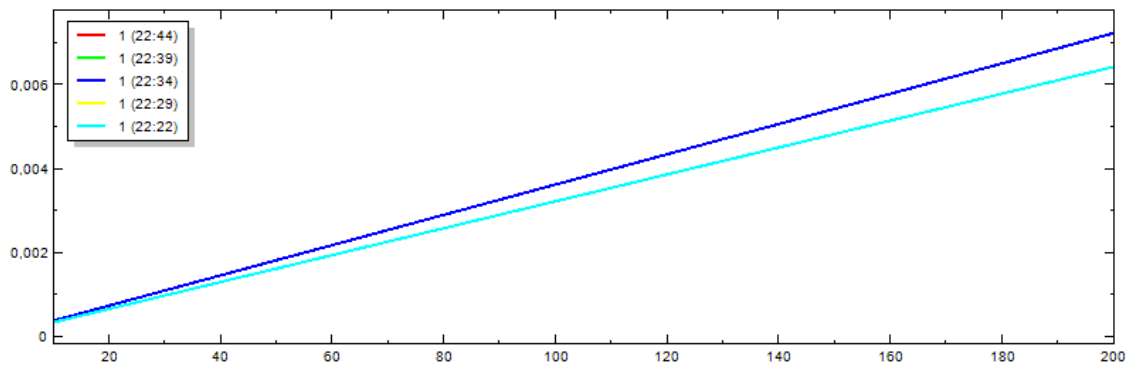
1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв'язна топологія (бірюзова лінія)

Рис. 2.19 – Часова характеристика динаміки завантаженості ядер в процесорах (по осі абсцис – кількість ядер в процесорах, що завантажуються у вузлах мережі; по осі ординат – час виконання дослідів [с])



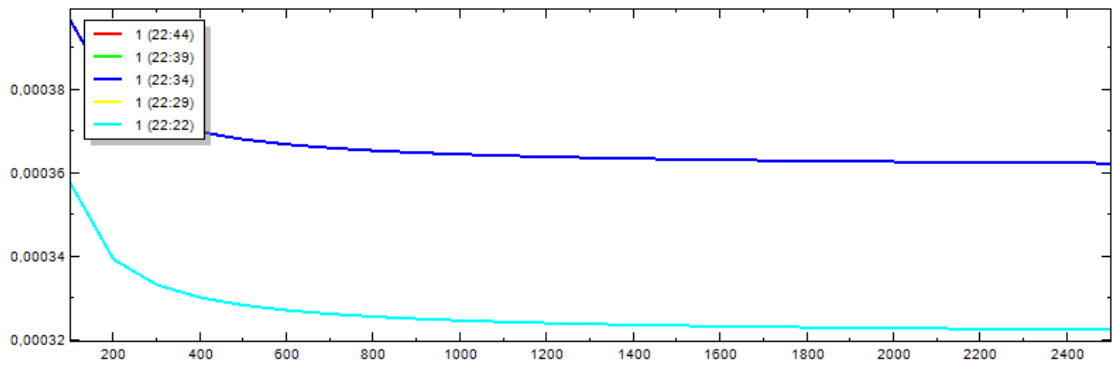
*1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв'язна топологія (бірюзова лінія)*

Рис. 2.20 – Часова характеристика продуктивності (по осі абсцис – продуктивність вузлів мережі, ГФлопс/с; по осі ординат – час виконання дослідів, с)



*1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв'язна топологія (бірюзова лінія)*

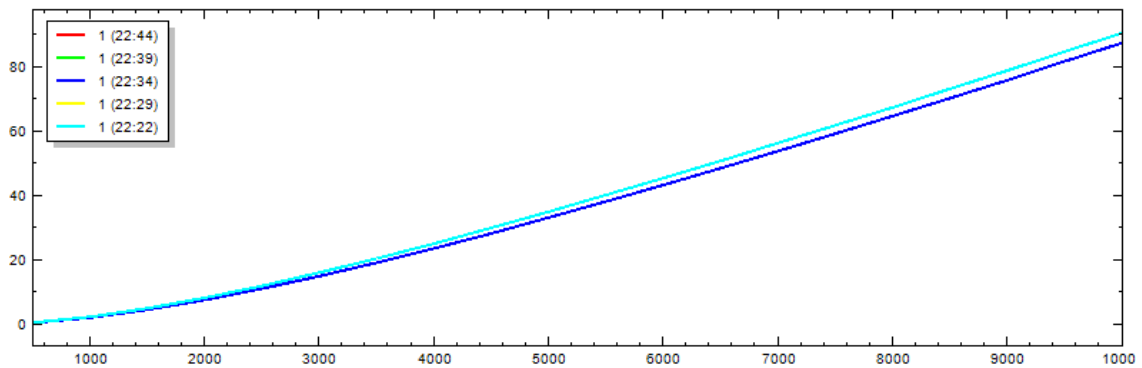
Рис. 2.21 – Часова характеристика затримки (по осі абсцис – час затримки, с; по осі ординат – час виконання дослідів, с)



*1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв'язна топологія (бірюзова лінія)*

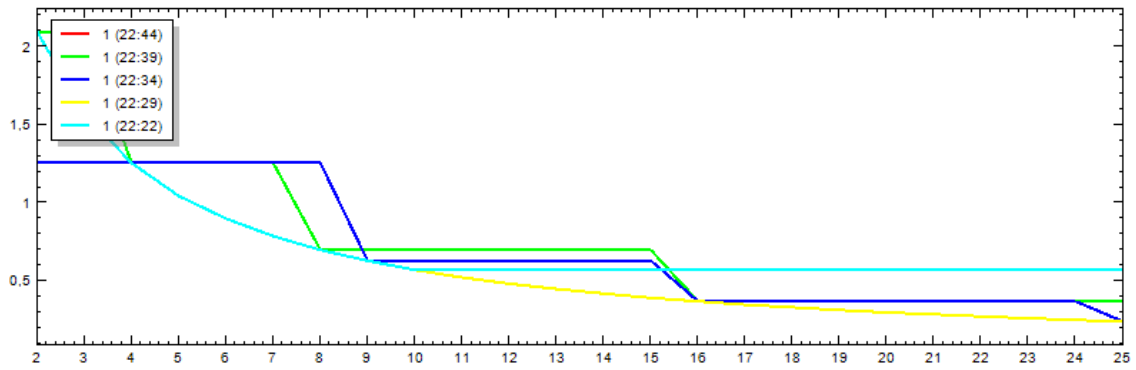
Рис. 2.22 – Часова характеристика пропускної здатності (по осі абсцис – пропускна здатність мережі, МБайт/с; по осі ординат – час виконання дослідів, с)

Порівняння топологічних рішень за графами прискорення наводиться нижче – Рис. 2.23 – Рис. 2.29.



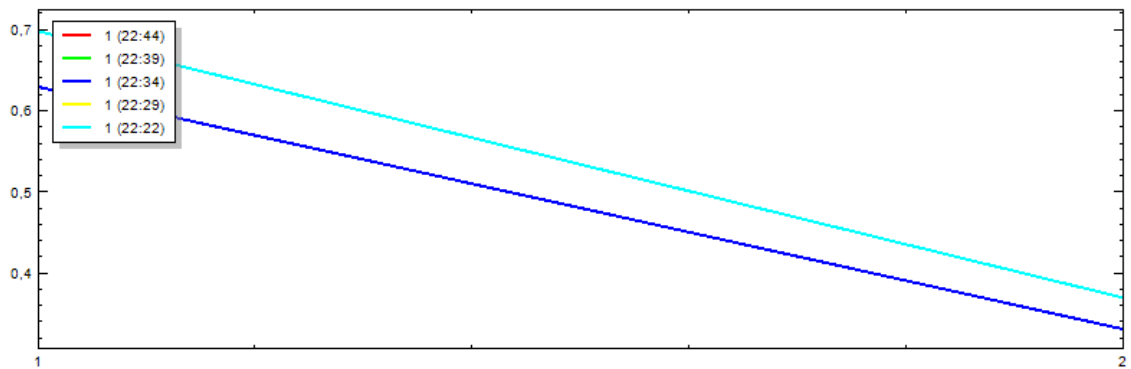
*1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв'язна топологія (бірюзова лінія)*

Рис. 2.23 – Характеристика прискорення для об'єму вихідних даних



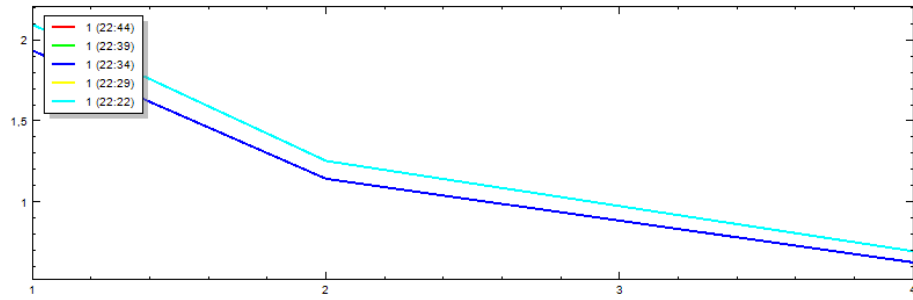
1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв’язна топологія (бірюзова лінія)

Рис. 2.24 – Характеристика прискорення для динаміки завантаження вузлів



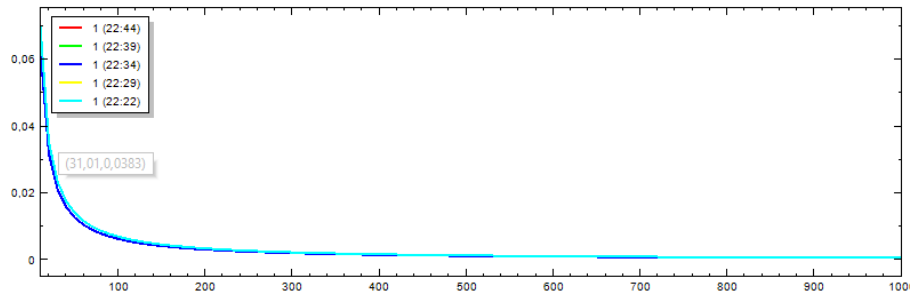
1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв’язна топологія (бірюзова лінія)

Рис. 2.25 – Характеристика прискорення для динаміки завантаженості процесорів у вузлах



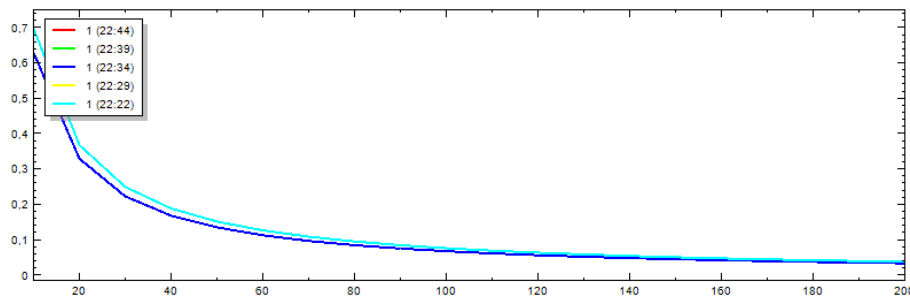
1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв'язна топологія (бірюзова лінія)

Рис. 2.26 – Характеристика прискорення динаміки завантаженості ядер в процесорах



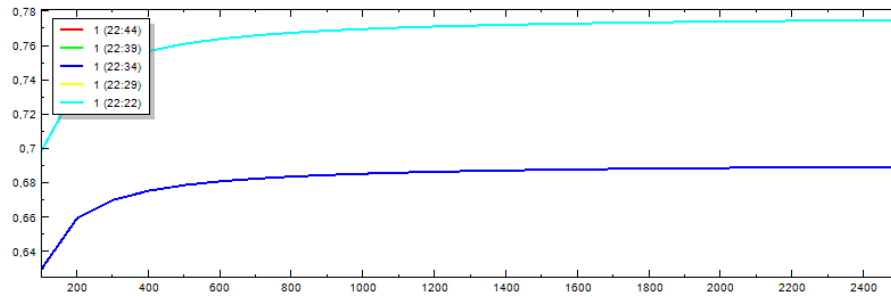
1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв'язна топологія (бірюзова лінія)

Рис. 2.27 – Характеристика прискорення для продуктивності



1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв'язна топологія (бірюзова лінія)

Рис. 2.28 – Характеристика прискорення для затримки



*1 – лінійна топологія (червона лінія); 2 – кільцева топологія (зелена лінія); 3 – сіткова топологія (синя лінія); 4 – кубічна топологія (жовта лінія); 5 – повнозв'язна топологія (бірюзова лінія)*

Рис. 2.29 – Характеристика прискорення для пропускної здатності

На підставі результатів моделювання, встановлено, що всі топологічні рішення QoS-оптимізованих мереж працюють в одному хронометричному діапазоні від 0 мс до 2400 мс, проте за динамікою показників продуктивності та пропускної здатності модельованих систем найбільшу ефективність продемонструвала повнозв'язна топологія. Отже в подальшому, для проведення досліджень була обрана саме повнозв'язна топологія. Будуть виконуватися наступні досліді:

- Загальний час виконання операцій за різного рівня масштабу мережі
- Характеристика прискорення динаміки задіяних вузлів за різного рівня масштабу мережі
- Характеристика прискорення для продуктивності за різного рівня масштабу мережі
- загальний час виконання операцій відповідно до зміни пропускної здатності мережі.
- Характеристика прискорення для продуктивності мережі за різного рівня пропускної здатності мережі
- Характеристика прискорення для внутрішньомережної пропускної здатності мережі за різного рівня мережних характеристик
- загальний час виконання операцій відповідно до зміни продуктивності процесорів
- Часова характеристика продуктивності модельованої мережі, за різного рівня обчислювальної потужності процесорів комп'ютерних вузлів

### **3. РОЗРОБКА РІШЕНЬ З УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖНИМИ РЕСУРСАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНСТРУМЕНТІВ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ**

#### **3.1 Аналіз результатів моделювання системи управління мережними ресурсами**

За результатами моделювання топологічних рішень мережі з урахуванням того, що відповідні програмні розрахунки здійснювались за умовами рівнозначних параметрів модельованих комп'ютерних мереж (що забезпечило чистоту та довірчий статус результатів експерименту), встановлено, що найбільш ефективну топологію має повнозв'язна система.

Застосувавши програму ParaLab, виконаємо дослідження повнозв'язної топології мережі у динаміці вирішення інших типових для паралельного обчислення мереж завдань які були заведені в таблицю 1.9 – Рис. 3.1 – Рис. 3.6.

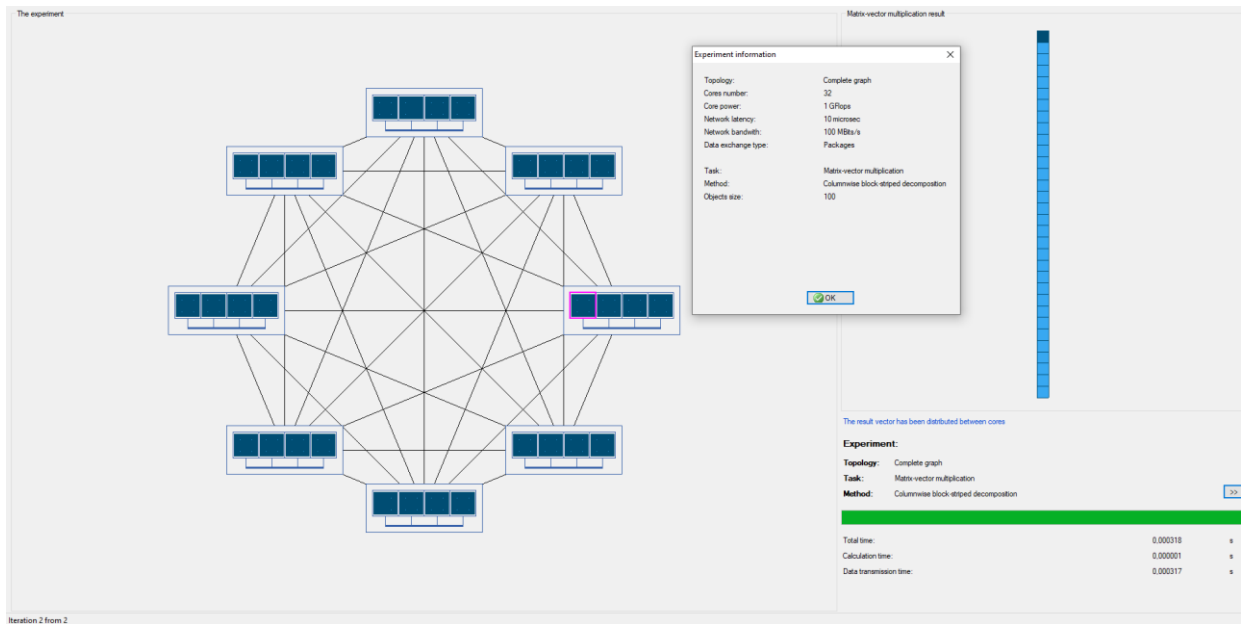


Рис. 3.1 – Моделювання повнозв'язної топології мережі при отриманні матрично-векторного добутку (загальний час виконання операції – 0,318 мс)

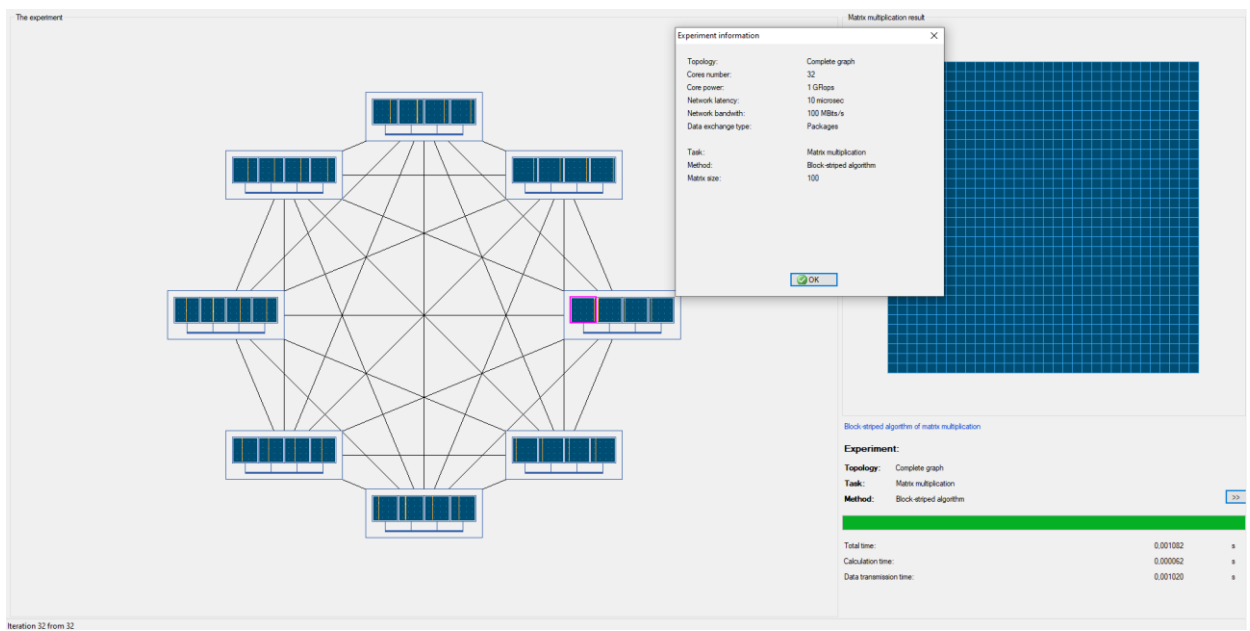


Рис. 3.2 – Моделювання повнозв'язної топології мережі при отриманні матрично-матричного добутку (загальний час виконання операції – 1,082 мс)

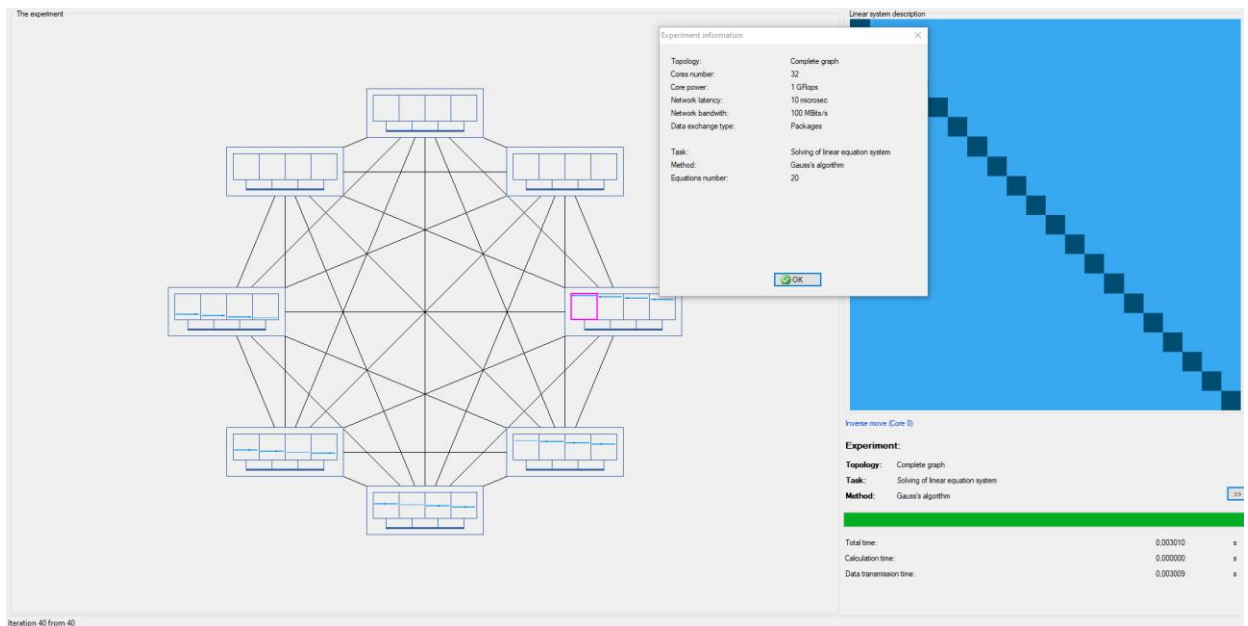


Рис. 3.3 – Моделювання повнозв'язної топології мережі при вирішенні системи лінійних рівнянь (загальний час виконання операції – 3,01 мс)

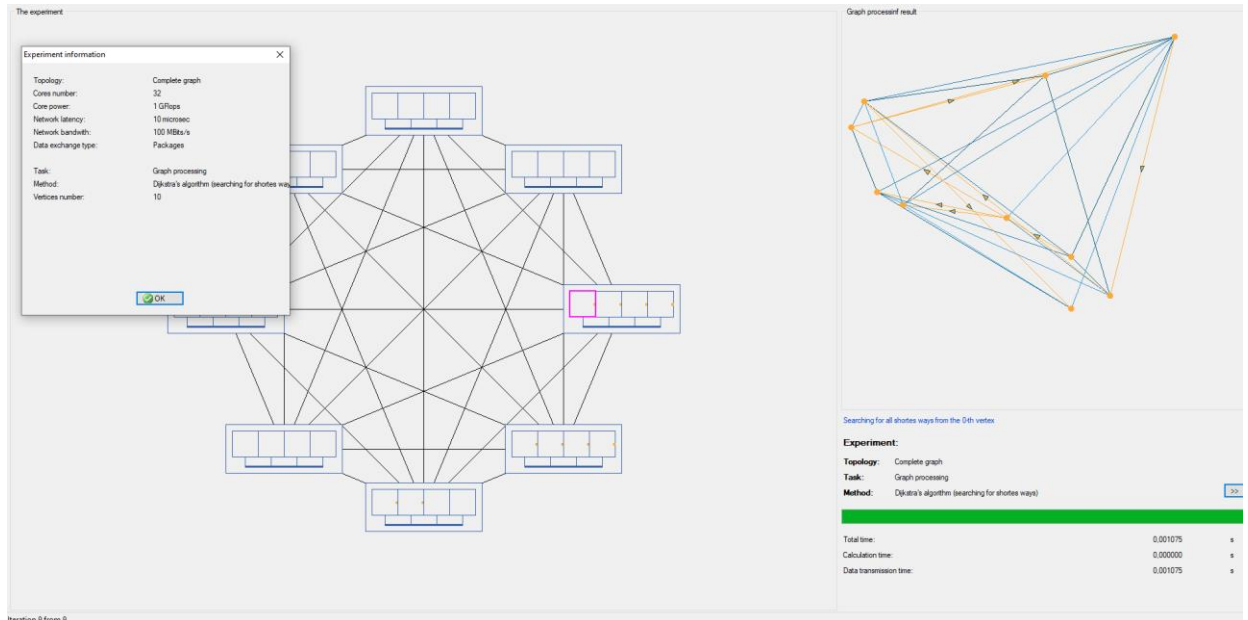


Рис. 3.4 – Моделювання повнозв'язної топології мережі при вирішенні графів (знаходження оптимального рішення) (загальний час виконання операції – 1,075 мс)

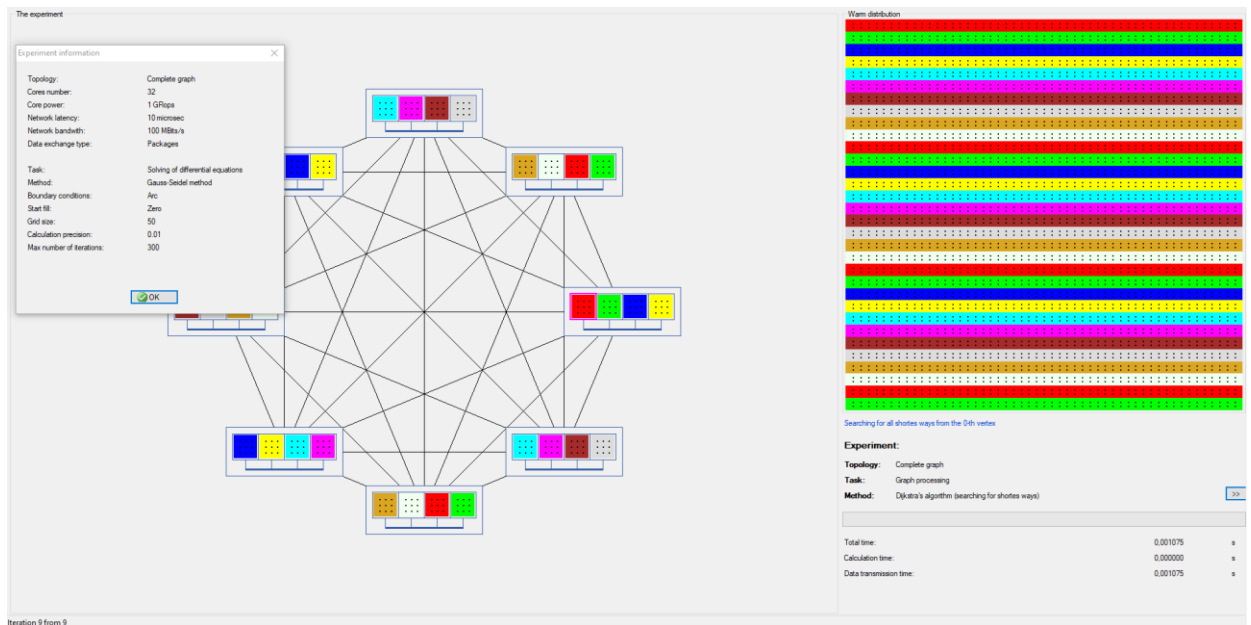


Рис. 3.5 – Моделювання повнозв'язної топології мережі при вирішенні диференціальних рівнянь (загальний час виконання операції – 1,075 мс)

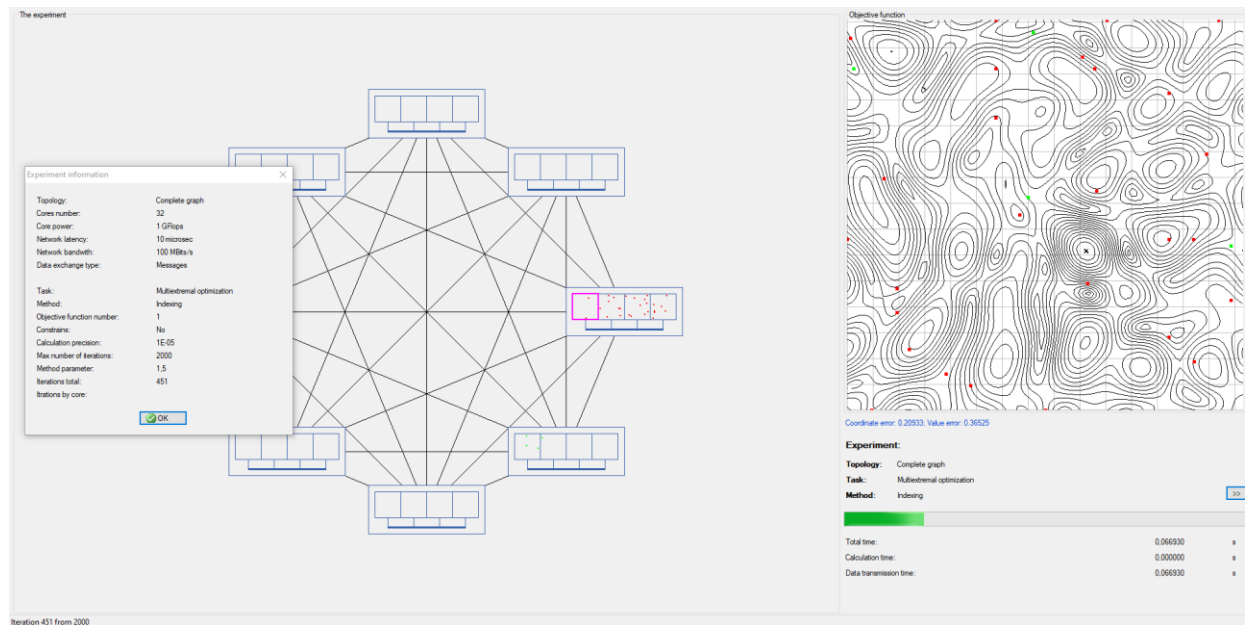


Рис. 3.6 – Моделювання повнозв'язної топології мережі при вирішенні багатоекстремальної оптимізації (загальний час виконання операції – 66,93 мс)

Отримані результати зведені в таблицю 1.10.

Табл. 1.10. – результати загального часу виконання операцій повнозв’язної топології мережі

| Операція                                  | Загальний час виконання операції (мс) |
|-------------------------------------------|---------------------------------------|
| Матрично-векторний добуток                | 0,318                                 |
| Матрично-матричний добуток                | 1,082                                 |
| Вирішення системи лінійних рівнянь        | 3,01                                  |
| Вирішення графів                          | 1,075                                 |
| Вирішення диференціальних рівнянь         | 1,075                                 |
| Вирішення багатоекстремальної оптимізації | 66,93                                 |

За результатами моделювання мережі підтверджена ефективність повнозв’язної топології, що вирішує типові для паралельного обчислення задачі протягом оптимальної тривалості машинного часу.

### 3.2 Інтеграція рішень з удосконалення управління мережними ресурсами за допомогою інструментів якості обслуговування

З метою обґрунтування вибору доцільної топології мережі, використовуючи програмне середовище ParaLab проведемо перевірку технологічних параметрів для обраного повнозв’язного топологічного рішення.

Використовуючи дані розрахунку для матрично-векторного добутку (Рис. 3.1) виконано масштабування модельованої мережі.

Для ітераційної перевірки масштабованості здійснимо збільшення початкової моделі повнозв’язної мережі з 8 до 16 комп’ютерів (Рис. 3.7).

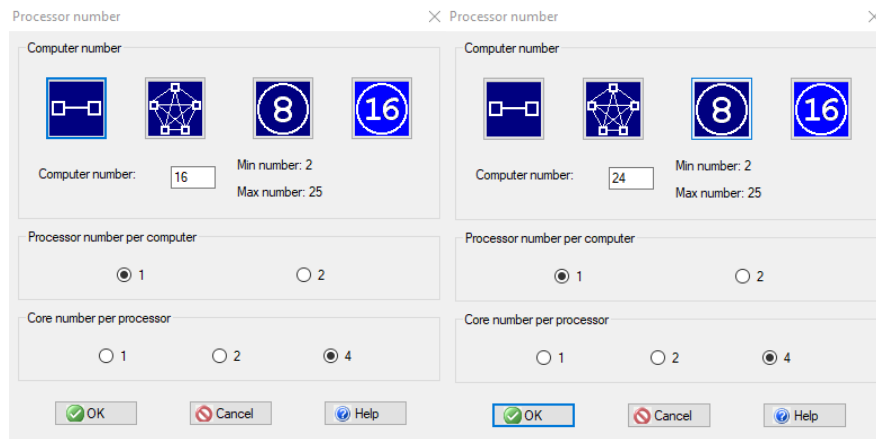


Рис. 3.7 – Масштабування модельованої мережі до 16 та 24 комп'ютерів

Результати, отримані при моделюванні вказують на збільшення часу обробки при незмінній продуктивності модельованої мережі – Рис. 3.8, Рис. 3.9.

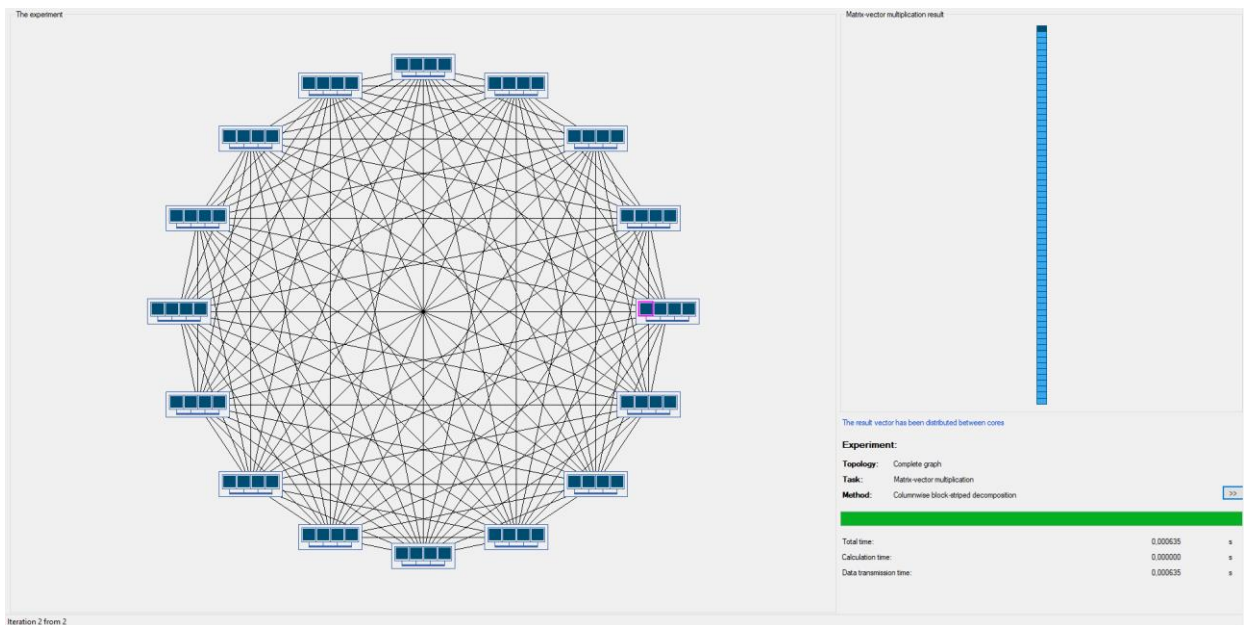


Рис. 3.8 – Моделювання повнозв'язної топології мережі при отриманні матрично-векторного добутку, масштабованої до 16 комп'ютерів

При моделюванні зафіксовано збільшення кількості вузлів (комп'ютерів), що задіяні в процесі паралельного обчислення (Рис. 3.10).

Продуктивність масштабованої повнозв'язної топології мережі залишилась незмінною – Рис. 3.11.

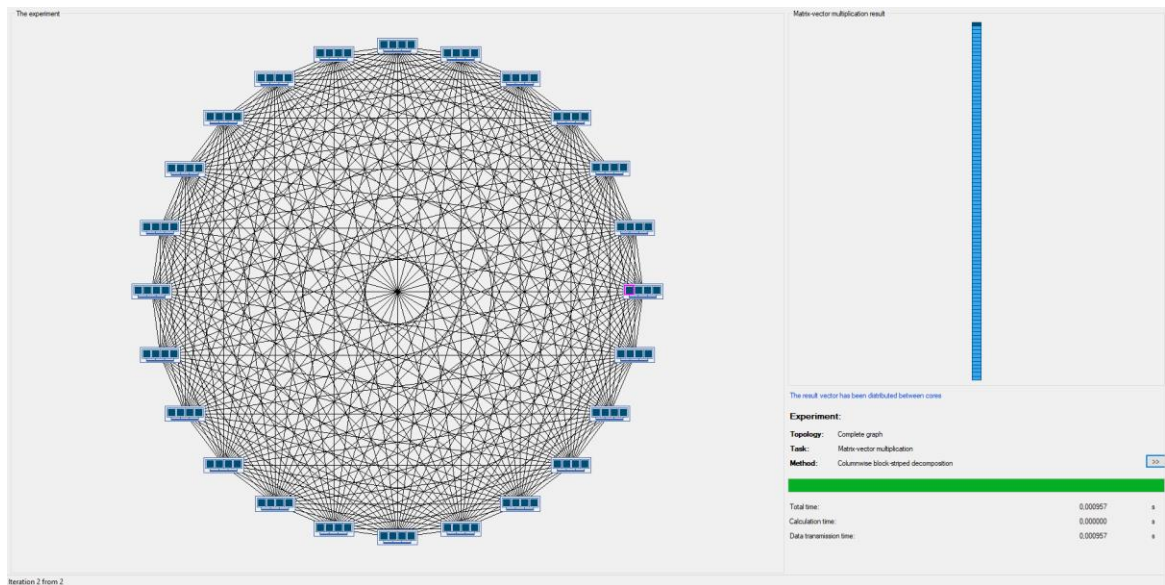
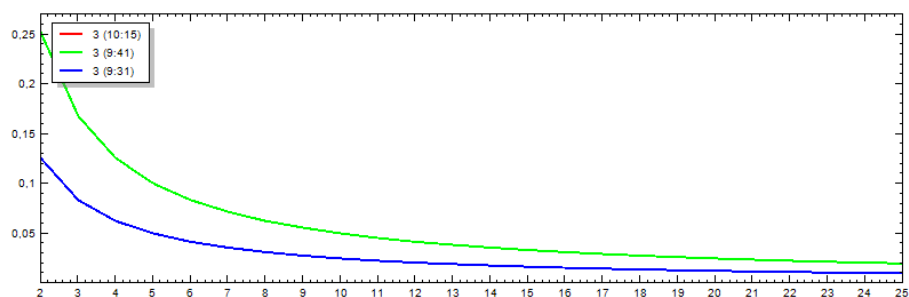
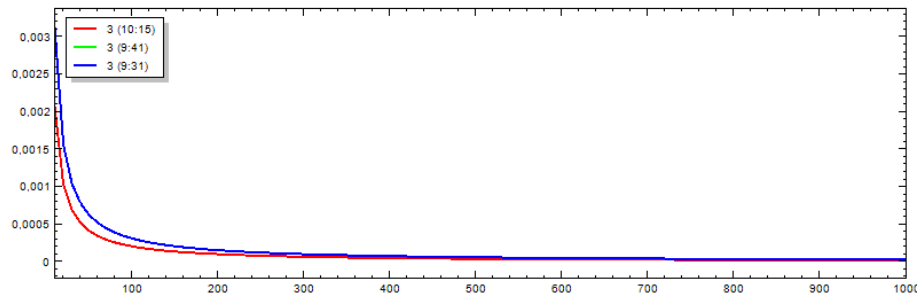


Рис. 3.9 – Моделювання повнозв'язної топології мережі при отриманні матрично-векторного добутку, масштабованої до 24 комп'ютерів



1 – 8 комп'ютерів (червона лінія); 2 – 16 комп'ютерів (синя лінія); 3 – 24 комп'ютерів (зелена лінія)

Рис. 3.10 – Характеристика прискорення динаміки задіяних вузлів при моделюванні повнозв'язної топології мережі за різного рівня масштабу мережі



1 – 8 комп'ютерів (червона лінія); 2 – 16 комп'ютерів (синя лінія); 2 – 24 комп'ютерів (зелена лінія)

Рис. 3.11 – Характеристика прискорення для продуктивності модельованої повнозв'язної топології мережі за різного рівня масштабу мережі

Відповідно до результатів моделювання повнозв'язної топології мережі констатуємо, що час обробки типової операції отримання матрично-векторного добутку за однакових умов призвів до збільшення машинного часу. Результати досліджень для повнозв'язної топології мережі представлені у таблиці 1.11:

Табл. 1.11. – результати досліджень загального часу виконання операцій, швидкостей паралельного обрахунку та надсилання пакетів для повнозв'язної топології мережі на 8,16,24 комп'ютерів

| Кількість комп'ютерів | Загальний час виконання операції (мс) | Швидкість паралельного обрахування (μс) | Швидкість надсилання пакетів даних (мс) |
|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| 8                     | 0,318                                 | 10.05                                   | 0,317                                   |
| 16                    | 0,635                                 | 5                                       | 0,635                                   |
| 24                    | 0,957                                 | 5                                       | 0,957                                   |

Тобто, збільшення кількості однотипних комп'ютерних вузлів не призводить до збільшення продуктивності паралельного обчислення повнозв'язною топологією мережі.

3.3 Тестування та оцінка якості проєктних рішень

Надалі виконаємо оцінку мережних особливостей мережі: перевіримо вплив пропускної здатності мережі на ефективність паралельного обчислення для повнозв’язної топології мережі, що спроектована на початку проведення експериментальних досліджень. Виконаємо ітераційне дослідження зі збільшенням пропускної здатності мережі до 1 Гбіт/с, 5 Гбіт/с та 10 Гбіт/с – Рис. 3.12.

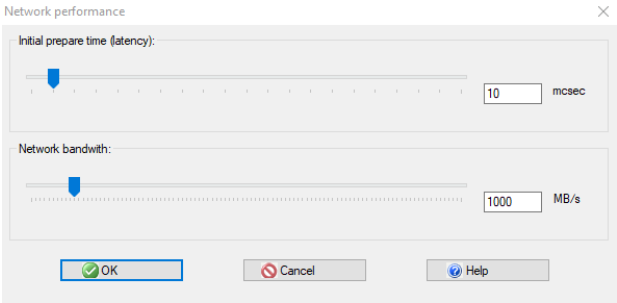


Рис. 3.12 – Збільшення пропускної здатності мережі модельованої мережі вирішеної за повнозв’язною топологією

За результатами моделювання впливу пропускної здатності на ефективність паралельного обчислення на базі моделі мережі вирішеної за повнозв’язною топологією отримані наступні результати, що занесені в таблицю 1.12.

Табл. 1.12. – результати загального часу виконання операцій відповідно до зміни пропускної здатності мережі.

| Пропускна здатність мережі | Загальний час виконання операції (мс) |
|----------------------------|---------------------------------------|
| 100 Мбіт/с                 | 0,318                                 |
| 1 Гбіт/с                   | 0,311                                 |
| 5 Гбіт/с                   | 0,311                                 |
| 10 Гбіт/с                  | 0,311                                 |

Таким чином, засвідчуємо, що збільшення пропускної здатності більше 1 Гбіт/с не призводить до підвищення ефективності паралельного обчислення на базі мережі організованої за повнозв'язною топологією (Рис. 3.13) та не призводить до підвищення внутрішньомережної пропускної здатності (Рис. 3.14).

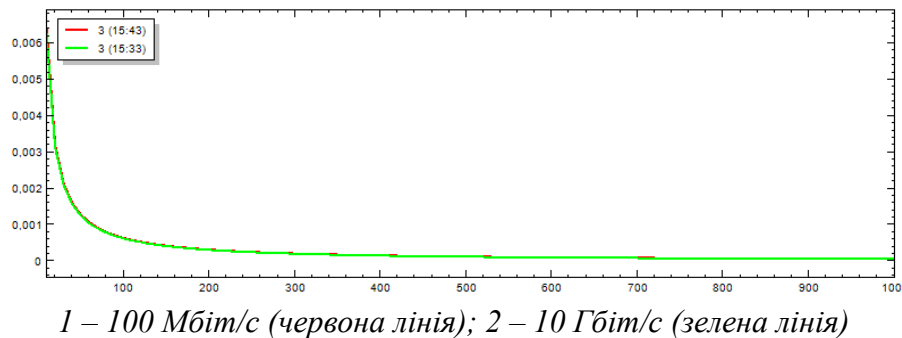


Рис. 3.13 – Характеристика прискорення для продуктивності модельованої повнозв'язної топології мережі за різного рівня пропускної здатності мережі

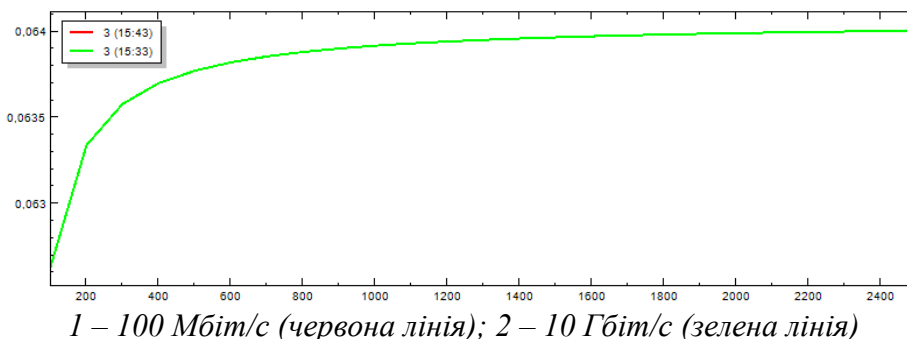


Рис. 3.14 – Характеристика прискорення для внутрішньомережної пропускної здатності мережі модельованої повнозв'язної топології мережі за різного рівня мережних характеристик

Наступним кроком до тестування обраної модельованої повнозв'язної топології мережі є підвищення швидкості паралельного обчислення за рахунок покращення продуктивності процесорів вузлів (комп'ютерів).

Підвищення виконуємо ітераційним шляхом з кроком 2, 3 та 5 ГФлопс/с – Рис. 3.15.

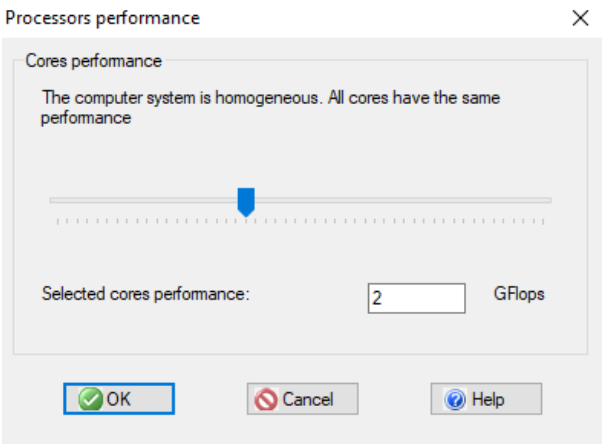


Рис. 3.15 – Підвищення продуктивності процесорів комп’ютерів мережі

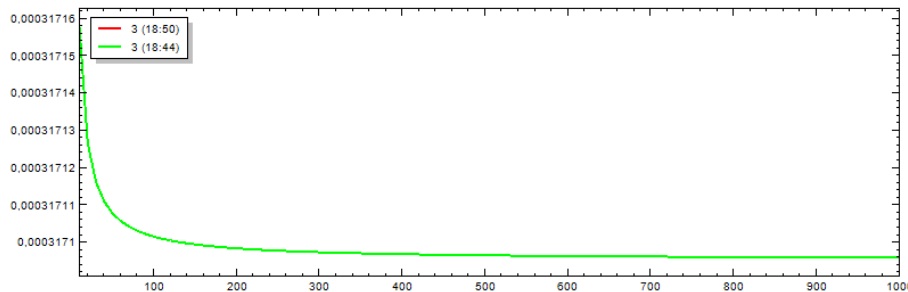
За результатами моделювання та оцінки впливу продуктивності процесорів модельованої мережі, улаштованої за повнозв’язною топологією, при виконанні операції з паралельного обчислення матрично-векторного добутку, отримано результати, приведені в таблиці 1.13.

Табл. 1.13. - результати загального часу виконання операцій відповідно до зміни продуктивності процесорів.

| Продуктивність процесорів<br>(ГФлопс/с) | Загальний час виконання<br>операції (мс) |
|-----------------------------------------|------------------------------------------|
| 1                                       | 0,318                                    |
| 2                                       | 0,317                                    |
| 3                                       | 0,317                                    |
| 5                                       | 0,317                                    |

На підставі отриманих результатів (Табл. 1.13), констатуємо, що підвищення продуктивності процесорів комп’ютерних вузлів модельованої

мережі, улаштованої за повнозв'язною топологією не призводить до значного покращення ефективності паралельного обчислення (Рис. 3.16).



1 – 1 ГФлопс/с (червона лінія); 2 – 5 ГФлопс/с (зелена лінія)

Рис. 3.16 – Часова характеристика продуктивності модельованої мережі, улаштованої за повнозв'язною топологією за різного рівня обчислювальної потужності процесорів комп'ютерних вузлів

Таким чином, для отриманої моделі мережі, для якої раціональним є організація за повнозв'язною топологією, QoS-оптимізаційні рішення, що підвищують ефективність паралельного обчислення, наступні:

- підвищення пропускної здатності мережі до 1 Гбіт/с;
- підвищення обчислювальної потужності процесорів комп'ютерних вузлів до 2 ГФлопс/с.

При цих параметрах результати перевірконого моделювання QoS-оптимізованої повнозв'язної топології мережі вказують на підвищення ефективності паралельного обчислення, які наведені у таблиці 1.14:

Табл. 1.14. Результати QoS-оптимізації для вирішення початкових математичних задач

| Результати QoS-оптимізації | Зменшення тривалості виконання операції | Підвищення ефективності |
|----------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|
| Матрично-векторний добуток | до 0,311 мс                             | 2,2%                    |
| Матрично-матричний добуток | до 0,412 мс                             | 61,9%                   |

| Результати QoS-оптимізації                | Зменшення тривалості виконання операції | Підвищення ефективності |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|
| Вирішення системи лінійних рівнянь        | до 2,866 мс                             | 4,78%                   |
| Сортування                                | до 0,324 мс                             | 9,48%                   |
| Вирішення графів                          | до 1,007 мс                             | 6,33%                   |
| Вирішення диференціальних рівнянь         | до 0,877 мс                             | 18,42%                  |
| Вирішення багатоекстремальної оптимізації | до 21,23 мс                             | 68,28%                  |

Таким чином, доведено, що провадження QoS-оптимізаційних заходів до ґрунтовно обраної повнозв'язної топології мережі загалом підвищує ефективність паралельного обчислення в середньому на 3.861 мс, або на 24.48 % з широким варіативним сектором для кожного типового завдання.

## **4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ**

### **4.1 Опис стартап проекту**

Стартап-проект "OptiNet QoS" спрямований на розробку та впровадження інноваційного методу управління ресурсами в мережах з використанням технології якості обслуговування (QoS). Наша мета - створити ефективний механізм оптимізації використання ресурсів та пропускної здатності мережі для забезпечення високоякісного обслуговування користувачів.

Основні характеристики проекту "OptiNet QoS":

#### **1. Управління Ресурсами:**

- Розробка алгоритмів ефективного розподілу ресурсів в мережі з урахуванням важливості різних типів трафіку.

#### **2. Технологія QoS:**

- Використання системи якості обслуговування для надання пріоритетів різним видам даних в залежності від їх важливості.

#### **3. Оптимізація Пропускної Здатності:**

- Розробка механізмів для ефективного використання пропускної здатності мережі з урахуванням потреб різних додатків та користувачів.

#### **4. Динамічне Управління:**

- Забезпечення можливості динамічного адаптування мережевої топології для оптимального використання ресурсів у реальному часі.

#### **5. Підвищення Безпеки:**

- Впровадження заходів, що покращують безпеку мережі за допомогою QoS, забезпечуючи пріоритетне обслуговування важливого та критичного трафіку.

Проект "OptiNet QoS" має великий потенціал в галузі оптимізації мережевого управління, покращуючи якість обслуговування та забезпечуючи високий рівень ефективності для різних сценаріїв використання.

Табл 4.1 Опис ідеї проекту

| № | Зміст Ідеї                                          | Напрямок Застосування                                                                                                        | Вигоди для Користувача                                                                                                                                                                |
|---|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Управління ресурсами з використанням QoS            | Розробка інноваційного методу управління ресурсами в мережах з використанням технології якості обслуговування (QoS).         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ефективний розподіл ресурсів в залежності від важливості трафіку.</li> <li>- Підвищення якості обслуговування різних видів даних.</li> </ul> |
| 2 | Технологія QoS для оптимізації пропускної здатності | Використання системи QoS для ефективного використання пропускної здатності мережі.                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Забезпечення оптимального використання пропускної здатності.</li> <li>- Адаптація до потреб різних додатків та користувачів.</li> </ul>      |
| 3 | Динамічне управління мережевою топологією           | Розробка механізмів для динамічного адаптування мережевої топології для оптимального використання ресурсів у реальному часі. | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Можливість змінювати топологію в реальному часі.</li> <li>- Оптимальне використання ресурсів в залежності від умов та завдань.</li> </ul>    |
| 4 | Підвищення безпеки через QoS                        | Впровадження заходів, що покращують безпеку мережі за допомогою QoS.                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Пріоритетне обслуговування важливого та критичного трафіку.</li> </ul>                                                                       |

## 4.2 Аналіз технічної реалізованості та можливостей ідеї проекту

Табл 4.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

| Характеристика     | Оцінка                                               |
|--------------------|------------------------------------------------------|
| Сильні сторони     | Інноваційний підхід до управління ресурсами.         |
|                    | Ефективне використання технології QoS.               |
|                    | Адаптація до потреб різних видів трафіку.            |
|                    | Покращення якості обслуговування.                    |
|                    | Динамічне управління мережевою топологією.           |
|                    | Заходи з підвищення безпеки через QoS.               |
| Слабкі сторони     | Високий рівень складності розробки та впровадження.  |
|                    | Потрібна детальна інтеграція з існуючими мережами.   |
| Нейтральні сторони | Можливість оптимізації для різних сфер застосування. |
|                    | Потенційна вигода для різних користувачів.           |

### Опис:

Проект "OptiNet QoS" має кілька сильних сторін, зокрема інноваційний підхід до управління ресурсами та використання технології QoS для покращення якості обслуговування. Адаптованість до різних видів трафіку та динамічне управління мережевою топологією також визначаються як сильні сторони. Однак, проект має слабкі сторони, такі як високий рівень складності розробки та впровадження, а також потребує детальної інтеграції з існуючими мережами. Нейтральні сторони включають можливість оптимізації для різних сфер застосування та потенційну вигоду для різних користувачів.

### 4.3 Оцінка ринкових можливостей для впровадження стартап-проекту

Табл 4.3 Технологічна здійсненність ідеї проекту

| Ідея проекту                          | Ідея проекту                                                                              | Наявність технології                             | Доступність технологій                          |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Оптимізація ресурсів через QoS        | Застосування QoS для оптимізації мережевих ресурсів та пропускної здатності.              | Технологія QoS вивчена та розроблена.            | Доступна в області мережевих технологій.        |
| Динамічне управління топологією       | Застосування SDN для динамічного розподілу навантаження та оптимізації топології.         | Технологія SDN вивчена та розроблена.            | Зазвичай доступна в сфері мережевих технологій. |
| Адаптація до різних видів трафіку     | Розробка алгоритмів для ефективної обробки різних видів мережевого трафіку.               | Розроблені алгоритми та методи.                  | Доступні в сучасних дослідженнях мереж.         |
| Інтеграція з існуючими мережами       | Спроектовано інтерфейси та протоколи для інтеграції з різними типами мереж та обладнання. | Реалізовано та протестовано інтеграцію.          | Доступні для розгляду та використання.          |
| Заходи з підвищення безпеки через QoS | Розробка та впровадження механізмів безпеки, пов'язаних із застосуванням QoS.             | Механізми безпеки імплементовано та випробувано. | Доступні в області мережевої безпеки.           |

Проект "OptiNet QoS" включає ідеї, які розроблені на основі високоінтегрованих технологій, таких як QoS і SDN. Технології є досить доступними і широко вивченими в галузі мережевих технологій, дозволяючи ефективно реалізувати ідеї проекту.

#### **4.4 Оцінка перспектив ринкового запуску стартап-проекту "OptiNet QoS":**

##### **1. Тенденції росту:**

- Зростання обсягу мережевого трафіку: За останні роки спостерігається стабільний ріст обсягу мережевого трафіку через збільшення кількості підключених пристроїв та збільшення обсягу передачі даних.
- Зростання важливості якості обслуговування (QoS): З поглибленням цифровізації і зростанням кількості реального часу вимагаючих додатків, QoS стає ключовим фактором для користувачів.

##### **2. Конкурентна обстановка:**

- Потреба в інноваційних рішеннях: Багато підприємств та постачальників мережевих послуг шукають інноваційні підходи до оптимізації мереж та підвищення якості обслуговування.
- Конкуренція в галузі QoS: Існують конкуренти, які пропонують рішення QoS, але багато з них фокусуються на конкретних аспектах.

##### **3. Зростання попиту:**

- Запит на SDN-рішення: З розвитком технології SDN, попит на рішення, які можуть динамічно керувати мережевими ресурсами, зростає.
- Підвищений інтерес до безпеки мереж: З узгодженим ростом загроз інформаційній безпеці, рішення, які враховують аспекти безпеки, дістають підвищений інтерес.

##### **4. Загрози та ризики:**

- Стандартизація: Зміни в стандартах та регулюванні можуть вплинути на прийняття нових технологій і ринкові можливості.

- Технічні виклики: Спроби інтеграції з різноманітним обладнанням та технологічним стеком можуть стикатися з труднощами.

### **Висновок:**

Ринковий аналіз підтверджує актуальність проекту "OptiNet QoS". Зростання попиту на оптимізацію мереж, підвищення якості обслуговування та інтерес до SDN створюють перспективи для успішного впровадження інноваційного підходу до управління ресурсами мережі.

Табл 4.4 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту "OptiNet QoS":

| Показники стану ринку         | Характеристика                                                                                                                    |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Обсяг мережевого трафіку      | Стабільний ріст обсягу мережевого трафіку через збільшення підключених пристроїв та зростання обсягу передачі даних.              |
| Зростання важливості QoS      | З поглибленням цифровізації та збільшенням додатків, що вимагають реального часу, підвищення якості обслуговування стає ключовим. |
| Запит на інновації            | Багато підприємств та постачальників послуг шукають інноваційні підходи до оптимізації мереж і підвищення якості обслуговування.  |
| Зростання попиту на SDN       | З розвитком технології SDN, попит на рішення, які можуть динамічно керувати мережевими ресурсами, зростає.                        |
| Підвищений інтерес до безпеки | З інтенсивним ростом загроз інформаційній безпеці, рішення, які враховують аспекти безпеки, дістають підвищений інтерес.          |
| Кількість головних гравців    | Мережевий сегмент обслуговування знаходиться під контролем декількох ключових гравців, але існує простір для новаторів.           |

Ця попередня характеристика підсилює необхідність та важливість стартап-проекту "OptiNet QoS" у контексті конкурентного оточення та можливостей для новаторів на ринку.

Табл 4.5 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту "OptiNet QoS":

| <b>Потреба, що формує ринок</b>                                                                | <b>Цільова аудиторія</b>                                                                                                                              | <b>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</b>                                    | <b>Вимоги споживачів до товару</b>                                          | <b>Потреба, що формує ринок</b>                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Збільшення якості обслуговування в мережах для підтримки високопродуктивних додатків і послуг. | Постачальники послуг ІТ та телекомунікацій, Підприємства з великим обсягом мережевого трафіку, Постачальники хмарних сервісів та інтернет-провайдери. | Постачальники послуг ІТ: Зосереджені на покращенні якості обслуговування та оптимізації мережевих ресурсів. | Висока якість обслуговування (QoS), гнучкість мережі, оптимізація ресурсів. | Збільшення якості обслуговування в мережах для підтримки високопродуктивних додатків і послуг. |

Табл 4.6 Фактори загроз:

| <b>№</b> | <b>Фактор</b>                  | <b>Зміст можливості</b>                                                                                          | <b>Можлива реакція компанії</b>                                                                                                 |
|----------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | Зростання попиту на ІТ-рішення | Збільшення інтересу до мережевих технологій та обслуговування.                                                   | Розширення лінійки продуктів та сервісів, активна маркетингова кампанія для залучення нових клієнтів.                           |
| 2        | Технологічні інновації         | Поява нових технологій або можливість їх вдосконалення.                                                          | Активна участь у дослідженнях і розробках, залучення та утримання талановитих фахівців, швидке впровадження нововведень.        |
| 3        | Глобалізація ринків            | Розширення можливостей входження на нові ринки через високу конективність та доступ до глобальних інфраструктур. | Розвиток партнерства з місцевими компаніями, адаптація продуктів до місцевих потреб, реклама та маркетинг у місцевих мас-медіа. |

Табл 4.7 Фактори можливостей:

| <b>№</b> | <b>Фактор</b>                     | <b>Зміст можливості</b>                                                                                          | <b>Можлива реакція компанії</b>                                                                                                           |
|----------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | Зростання попиту на IT-рішення    | Збільшення інтересу до мережевих технологій та обслуговування.                                                   | Розширення лінійки продуктів та сервісів, активна маркетингова кампанія для залучення нових клієнтів.                                     |
| 2        | Технологічні інновації            | Поява нових технологій або можливість їх вдосконалення.                                                          | Активна участь у дослідженнях і розробках, залучення та утримання талановитих фахівців, швидке впровадження нововведень.                  |
| 3        | Глобалізація ринків               | Розширення можливостей входження на нові ринки через високу конективність та доступ до глобальних інфраструктур. | Розвиток партнерства з місцевими компаніями, адаптація продуктів до місцевих потреб, реклама та маркетинг у місцевих мас-медіа.           |
| 4        | Збільшення інвестицій у IT-сектор | Залучення додаткових фінансових ресурсів для розширення та вдосконалення бізнесу.                                | Активний пошук інвесторів, участь у технологічних виставках та стартап-івентах, розробка бізнес-планів та стратегій залучення інвестицій. |

Табл 4.8 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку:

| <b>№</b> | <b>Особливості конкурентного середовища</b> | <b>В чому проявляється дана характеристика</b>                                              | <b>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</b>                                    |
|----------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | Велика кількість конкурентів                | Збільшення конкуренції на ринку, що може привести до зниження цін, зменшення прибутковості. | Розробка унікальних пропозицій, вдосконалення якості продуктів, активна маркетингова кампанія для виділення з-поміж конкурентів. |
| 2        | Різниця в ціновій політиці                  | Конкуренти можуть встановлювати різні ціни на аналогічні продукти або послуги.              | Аналіз цінової стратегії конкурентів та адаптація власної стратегії для забезпечення конкурентоспроможності.                     |
| 3        | Інноваційність конкурентів                  | Постійні зміни технологій та продуктів конкурентів.                                         | Активна участь у дослідженнях та розробках, впровадження нових технологій та функцій, що відзначають продукти компанії.          |
| 4        | Сильна брендова ідентичність конкурентів    | Висока впізнаваність та лояльність клієнтів до брендів конкурентів.                         | Розробка та активне позиціонування власного бренду, вдосконалення маркетингових стратегій та промоакцій.                         |

Табл 4.9 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності:

| <b>Фактор конкурентоспроможності</b> | <b>Обґрунтування</b>                                                                                                   |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Інноваційність продукту              | Високий рівень технологічної інноваційності продукту привертає увагу клієнтів та дозволяє виходити перед конкурентами. |
| Цінова конкурентоспроможність        | Адекватна цінова політика в порівнянні з конкурентами забезпечує конкурентоспроможність на ринку.                      |
| Якість обслуговування                | Висока якість обслуговування та підтримки сприяє задоволенню клієнтів та підвищує лояльність.                          |
| Брендова ідентичність                | Сильна брендова ідентичність створює позитивне сприйняття продукту в очах споживачів.                                  |
| Ефективна маркетингова стратегія     | Спрямованість націлених маркетингових дій та просування на ринку сприяє залученню нових клієнтів.                      |

Табл 4.10 SWOT-аналіз стартап-проекту:

| <b>Сильні сторони:</b>                                     | <b>Слабкі сторони:</b>                                  |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1. Інноваційний продукт та високотехнологічні рішення.     | 1. Обмежений бюджет для маркетингу та просування.       |
| 2. Ефективна цінова стратегія.                             | 2. Недостатній досвід управління.                       |
| 3. Сильна команда фахівців.                                | 3. Залежність від постачальників ключових компонентів.  |
| <b>Можливості:</b>                                         | <b>Загрози:</b>                                         |
| 1. Зростання попиту на інноваційні рішення в галузі.       | 1. Конкуренція від вже утверджених гравців на ринку.    |
| 2. Розширення ринкових можливостей через партнерство.      | 2. Можливість зміни законодавства, що вплине на бізнес. |
| 3. Зростання свідомості споживачів про економічні питання. | 3. Зміни в економіці та фінансові нестабільності.       |

Табл 4.11 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту:

| <b>Альтернатива ринкової поведінки</b> | <b>Ймовірність отримання ресурсів</b> | <b>Строки реалізації</b> |
|----------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Запуск продукту через інтернет-магазин | Висока                                | 3-6 місяців              |
| Співпраця з роздрібними мережами       | Середня                               | 6-12 місяців             |
| Вступ на ринок через партнерів         | Висока                                | 9-18 місяців             |

Кожна альтернатива має свої переваги та ризики, і обрання конкретного шляху залежить від внутрішніх та зовнішніх факторів, таких як фінансова стабільність, конкурентний тиск, технічні можливості та ринкові умови.

#### 4.5 Розгортання стратегії входження на ринок для стартап-проекту

Табл 4.12 Вибір цільових груп потенційних споживачів:

| <b>Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів</b> | <b>Готовність споживачів сприйняти продукт</b> | <b>Орієнтований попит в межах цільової групи (сегменту)</b> | <b>Інтенсивність конкуренції в сегменті</b> | <b>Простота входу у сегмент</b> |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|
| Провайдери інтернет послуг                              | Висока                                         | Великий                                                     | Висока                                      | Середня                         |
| Приватні компанії                                       | Середня                                        | Середній                                                    | Середня                                     | Висока                          |
| Навчальні та дослідницькі програми                      | Висока                                         | Середній                                                    | Низька                                      | Висока                          |

Цей вибір цільових груп відображає орієнтацію на певні сегменти ринку, де готовність прийняти новий продукт, розмір ринку та конкурентне середовище роблять їх привабливими для стартап-проекту.

Табл 4.13 Визначення базової стратегії розвитку:

|                                               |                                                             |                                                                                 |                              |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Обрана<br>альтернатива<br>розвитку<br>проекту | Стратегія<br>охоплення<br>ринку                             | Ключові<br>конкурентоспроможні<br>позиції відповідно до<br>обраної альтернативи | Базова стратегія<br>розвитку |
| Розширення<br>асортименту<br>послуг           | Розширення<br>асортименту в<br>рамках<br>поточного<br>ринку | Унікальні технології та<br>висока якість<br>обслуговування                      | Диверсифікація<br>продуктів  |

Таблиця 4.13 визначає базову стратегію розвитку, яка полягає в розширенні асортименту послуг, орієнтованому на поточний ринок. Стратегія охоплення ринку включає розширення асортименту в рамках існуючого ринку, а ключові конкурентоспроможні позиції засновані на унікальних технологіях та високій якості обслуговування.

#### 4.5 Створення маркетингової стратегії для впровадження стартап-проекту

Табл 4.14 Формування системи збуту

| <b>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</b>                                                                             | <b>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</b>                                               | <b>Глибина каналу збуту</b>                                                                            | <b>Оптимальна система збуту</b>                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Мережеві технології та інноваційні підходи в управлінні ресурсами. Запит на технології, що підвищують якість обслуговування в мережах. | Надання консультацій, презентація інноваційного методу, надання технічної підтримки, укладення контрактів. | Прямий канал збуту, оскільки продукт є технологічною інновацією, а не вимагає додаткових посередників. | Прямий продаж через внутрішній відділ збуту, а також онлайн-платформи для зручності клієнтів. |

**Таблиця 4.14 надає короткий огляд формування системи збуту для проекту "OptiNet QoS", що спрямований на впровадження інноваційного методу управління ресурсами в мережах з використанням технології якості обслуговування (QoS).**

**4.6 Висновок до 4 розділу:**

Стартап-проект, присвячений розробці та впровадженню інноваційного

методу управління ресурсами в мережах з використанням технології якості обслуговування (QoS), представляє собою перспективний шлях до оптимізації використання ресурсів та підвищення якості обслуговування для користувачів. У процесі розробки стартап-проекту було проведено ретельне дослідження та розробка, що включала в себе наступні етапи:

**1. Опис ідеї проекту:**

- Визначено функціонал розроблюваного продукту.
- Проведено аналіз конкурентів та визначено переваги розроблюваного продукту.

**2. Технічний аудит:**

- Визначено можливості реалізації програмного продукту через технічний аудит.

**3. Аналіз ринкових можливостей:**

- Визначено ринкові можливості та перспективи в порівнянні з конкурентами.
- Розроблено план та ринкову стратегію розвитку продукту.

**4. Маркетингова програма:**

- Розроблено маркетингову програму для ефективного просування продукту на ринку.
- Визначено цільові групи та канали збуту.

В підсумку, стартап-проект визначається як перспективний та конкурентоспроможний на ринку, маючи високий потенціал для успішного впровадження запропонованого методу управління ресурсами з використанням QoS. Процес дослідження та розробки дозволив отримати необхідні навички у сфері створення та розвитку стартап-проектів, побудови маркетингової стратегії та аналізу ринкових умов.

## ВИСНОВОК

Отриманий метод удосконалення управління ресурсами за допомогою мережі використовуючи якість обслуговування, який базується на повнозв'язній топології, була предметом вивчення та оптимізації Quality of Service (QoS) з метою поліпшення паралельних обчислень. Оптимізаційні рішення були спрямовані на підвищення ефективності мережі та обчислювальної потужності комп'ютерних вузлів.

Під час моделювання оптимізованої повнозв'язної топології мережі за використання QoS отримано наступні результати. Пропускна здатність мережі була підвищена до 1 Гбіт/с, а обчислювальна потужність процесорів комп'ютерних вузлів досягла 2 ГФлопс/с.

Перевірка оптимізованої мережі з використанням QoS підтвердила покращення ефективності паралельних обчислень для різноманітних видів завдань. Результати включають зменшення часу виконання для операцій, таких як матрично-векторний добуток, матрично-матричний добуток, вирішення систем лінійних рівнянь та інші, в середньому на 3.861 мс, що призвело до підвищення ефективності на 24.48%.

Отже, проведення заходів з оптимізації QoS для повнозв'язної топології мережі суттєво покращує ефективність паралельних обчислень та роботи мережі в цілому, роблячи її більш продуктивною для широкого спектру обчислювальних завдань.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Number of internet users worldwide 2022. *Statista*. URL: <https://www.statista.com/statistics/273018/number-of-internet-users-worldwide/> (date of access: 19.12.2023).
- [2] Digital Around the World – DataReportal – Global Digital Insights. *DataReportal – Global Digital Insights*. URL: <https://datareportal.com/global-digital-overview> (date of access: 19.12.2023).
- [3] Internet User Statistics In 2023 – (Global Demographics). *DemandSage - Data Reporting & SaaS*. URL: <https://www.demandsage.com/internet-user-statistics/> (date of access: 19.12.2023).
- [4] Number of Internet Users in 2022/2023: Statistics, Current Trends, and Predictions - *Financesonline.com*. *Financesonline.com*. URL: <https://financesonline.com/number-of-internet-users/> (date of access: 19.12.2023).
- [5] Internet. *Our World in Data*. URL: <https://ourworldindata.org/internet> (date of access: 19.12.2023).
- [6] Toraman Y., Geçit B. B. User acceptance of metaverse: an analysis for e-commerce in the framework of technology acceptance model (TAM). *Sosyoekonomi*. 2023. P. 85–104. URL: <https://doi.org/10.17233/sosyoekonomi.2023.01.05> (date of access: 19.12.2023).
- [7] Towards a World Wide Web without digital inequality / M. Chaqfeh et al. *Proceedings of the national academy of sciences*. 2023. Vol. 120, no. 3. URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.2212649120> (date of access: 19.12.2023).
- [8] A systematic review of worldwide causal and correlational evidence on digital media and democracy / P. Lorenz-Spreen et al. *Nature human behaviour*. 2022. URL: <https://doi.org/10.1038/s41562-022-01460-1> (date of access: 19.12.2023).

- [9] Data growth worldwide 2010-2025. *Statista*. URL: <https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/> (date of access: 19.12.2023).
- [10] Big data statistics 2022: facts, market size & industry growth. *EarthWeb*, 2022. <https://earthweb.com/big-data-statistics> (date of access: 19.12.2023).
- [11] Digital 2022: Global Overview Report – DataReportal – Global Digital Insights. *DataReportal – Global Digital Insights*. URL: <https://datareportal.com/reports/digital-2022-global-overview-report> (date of access: 19.12.2023).
- [12] Top 20 Big Data Facts & Statistics for 2022 | Sigma Computing | Sigma Computing. *Sigma Computing*. URL: <https://www.sigmacomputing.com/blog/top-20-big-data-statistics> (date of access: 19.12.2023).
- [13] Global Connectivity Report 2022. *ITU: Committed to connecting the world*. URL: <https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/global-connectivity-report-2022/> (date of access: 19.12.2023).
- [14] Jayagopal V., Bassar K. K. Data management and big data analytics. *Research anthology on big data analytics, architectures, and applications*. 2022. P. 1614–1633. URL: <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-3662-2.ch078> (date of access: 19.12.2023).
- [15] Trends and future perspective challenges in big data / M. Naeem et al. *Advances in intelligent data analysis and applications*. Singapore, 2021. P. 309–325. URL: [https://doi.org/10.1007/978-981-16-5036-9\\_30](https://doi.org/10.1007/978-981-16-5036-9_30) (date of access: 19.12.2023).
- [16] Rossi, R., HIRAMA, K. Characterizing big data management. *arXiv preprint arXiv:2201.05929*, 2022. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.05929> (date of access: 19.12.2023).
- [17] QoS review: smart sensing in wake of COVID-19, current trends and specifications with future research directions / M. Adil et al. *IEEE sensors journal*.

2022. P. 1. URL: <https://doi.org/10.1109/jsen.2022.3170055> (date of access: 19.12.2023).

[18] Nassra I., Capella J. V. Data compression techniques in iot-enabled wireless body sensor networks: a systematic literature review and research trends for qos improvement. *Internet of things*. 2023. P. 100806. URL: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100806> (date of access: 19.12.2023).

[19] Ahirwar G. K., Agarwal R., Pandey A. An extensive review on qos enhancement in MANET using meta-heuristic algorithms. *Wireless personal communications*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1007/s11277-023-10470-9> (date of access: 19.12.2023).

[20] Thantharate A., Beard C. ADAPTIVE6G: adaptive resource management for network slicing architectures in current 5G and future 6G systems. *Journal of network and systems management*. 2022. Vol. 31, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1007/s10922-022-09693-1> (date of access: 19.12.2023).

[21] Split learning over wireless networks: parallel design and resource management / W. Wu et al. *IEEE journal on selected areas in communications*. 2023. P. 1. URL: <https://doi.org/10.1109/jsac.2023.3242704> (date of access: 19.12.2023).

[22] Network resource management and qos in sdn-enabled 5G systems / R. Trivisonno et al. *GLOBECOM 2015 - 2015 IEEE global communications conference*, San Diego, CA, USA, 6–10 December 2015. 2015. URL: <https://doi.org/10.1109/glocom.2015.7417376> (date of access: 19.12.2023).

[23] Tso F. P., Jouet S., Pezaros D. P. Network and server resource management strategies for data centre infrastructures: a survey. *Computer networks*. 2016. Vol. 106. P. 209–225. URL: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2016.07.002> (date of access: 19.12.2023).

[24] Toward a flexible and reconfigurable broadband satellite network: resource management architecture and strategies / M. Sheng et al. *IEEE wireless*

*communications*. 2017. Vol. 24, no. 4. P. 127–133.  
URL: <https://doi.org/10.1109/mwc.2017.1600173> (date of access: 19.12.2023).

[25] Resource management at the network edge: a deep reinforcement learning approach / D. Zeng et al. *IEEE network*. 2019. Vol. 33, no. 3. P. 26–33.  
URL: <https://doi.org/10.1109/mnet.2019.1800386> (date of access: 19.12.2023).

[26] Software-Defined network virtualization platform for enterprise network resource management / J.-L. Chen et al. *IEEE transactions on emerging topics in computing*. 2016. Vol. 4, no. 2. P. 179–186.  
URL: <https://doi.org/10.1109/tetc.2015.2478757> (date of access: 19.12.2023).

[27] Trusted cloud-edge network resource management: drl-driven service function chain orchestration for iot / S. Guo et al. *IEEE internet of things journal*. 2020. Vol. 7, no. 7. P. 6010–6022.  
URL: <https://doi.org/10.1109/jiot.2019.2951593> (date of access: 19.12.2023).

[28] Han B., Tayade S., Schotten H. D. Modeling profit of sliced 5G networks for advanced network resource management and slice implementation. *2017 IEEE symposium on computers and communications (ISCC)*, Heraklion, Greece, 3–6 July 2017. 2017.  
URL: <https://doi.org/10.1109/iscc.2017.8024590> (date of access: 19.12.2023).

[29] Javadpour A., Wang G., Rezaei S. Resource management in a peer to peer cloud network for iot. *Wireless personal communications*. 2020. Vol. 115, no. 3. P. 2471–2488. URL: <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07691-7> (date of access: 19.12.2023).

[30] Chen M., Saad W., Yin C. Virtual reality over wireless networks: quality-of-service model and learning-based resource management. *IEEE transactions on communications*. 2018. Vol. 66, no. 11. P. 5621–5635.  
URL: <https://doi.org/10.1109/tcomm.2018.2850303> (date of access: 19.12.2023).

[31] Improving Quality-Of-Service in LoRa Low-Power Wide-Area Networks through Optimized Radio Resource Management / E. Sallum et

al. *Journal of sensor and actuator networks*. 2020. Vol. 9, no. 1. P. 10. URL: <https://doi.org/10.3390/jsan9010010> (date of access: 19.12.2023).

[32] Akella A. V., Xiong K. Quality of service (qos)-guaranteed network resource allocation via software defined networking (SDN). *2014 IEEE 12th international conference on dependable, autonomic and secure computing (DASC)*, Dalian, China, 24–27 August 2014. 2014. URL: <https://doi.org/10.1109/dasc.2014.11> (date of access: 19.12.2023).

[33] Resource management for QoS support in cognitive radio networks / K. Arshad et al. *IEEE communications magazine*. 2014. Vol. 52, no. 3. P. 114–120. URL: <https://doi.org/10.1109/mcom.2014.6766095> (date of access: 19.12.2023).

[34] Goyal P., Rishiwal V., Negi A. A comprehensive survey on QoS for video transmission in heterogeneous mobile ad hoc network. *Transactions on emerging telecommunications technologies*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1002/ett.4775> (date of access: 21.12.2023).

[35] Ahmed R., Mahmood M. R., Matin M. A. Challenges in meeting QoS requirements toward 6G wireless networks: a state of the art survey. *Transactions on emerging telecommunications technologies*. 2022. URL: <https://doi.org/10.1002/ett.4693> (date of access: 21.12.2023).

[36] Tabassum N., Reddy C. R. K. Review on QoS and security challenges associated with the internet of vehicles in cloud computing. *Measurement: sensors*. 2022. P. 100562. URL: <https://doi.org/10.1016/j.measen.2022.100562> (date of access: 21.12.2023).

[37] Quality of service (qos) performance analysis in a traffic engineering model for next-generation wireless sensor networks / T. Mazhar et al. *Symmetry*. 2023. Vol. 15, no. 2. P. 513. URL: <https://doi.org/10.3390/sym15020513> (date of access: 21.12.2023).

[38] A comparative investigation on different qos mechanisms in multi-homed networks / H. W. Oleiwi et al. *Iraqi journal of industrial research*. 2022.

Vol. 9, no. 1. P. 1–11. URL: <https://doi.org/10.53523/ijoirvol9i1id141> (date of access: 21.12.2023).

[39] Improving network's performance by applying different quality of service mechanisms / N. B. Ltayef et al. 2022 *IEEE 2nd international maghreb meeting of the conference on sciences and techniques of automatic control and computer engineering (MI-STA)*, Sabratha, Libya, 23–25 May 2022. 2022. URL: <https://doi.org/10.1109/mi-sta54861.2022.9837711> (date of access: 21.12.2023).

[40] Beyene A. M., Argaw S. A. Improving quality of service of border gateway protocol multiprotocol label switching virtual private network of ethiotelecom service level agreements. *Communications in computer and information science*. Cham, 2019. P. 278–288. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-26630-1\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-030-26630-1_24) (date of access: 21.12.2023).

[41] Network resource optimization configuration in edge computing environment / Y. Liu et al. *International journal of computers and applications*. 2019. P. 1–8. URL: <https://doi.org/10.1080/1206212x.2019.1706811> (date of access: 21.12.2023).

[42] Mobility management issues and solutions in 5g-and-beyond networks: a comprehensive review / M. U. A. Siddiqui et al. *Electronics*. 2022. Vol. 11, no. 9. P. 1366. URL: <https://doi.org/10.3390/electronics11091366> (date of access: 21.12.2023).

[43] User-Oriented virtual mobile network resource management for vehicle communications / H. Lu et al. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*. 2020. P. 1–12. URL: <https://doi.org/10.1109/tits.2020.2991766> (date of access: 21.12.2023).

[44] Topology management for flying ad hoc networks based on particle swarm optimization and software-defined networking / F. Pasandideh et al. *Wireless networks*. 2021. Vol. 28, no. 1. P. 257–272. URL: <https://doi.org/10.1007/s11276-021-02835-4> (date of access: 21.12.2023).

[45] Tyagi V., Singh S. Network resource management mechanisms in SDN enabled WSNs: a comprehensive review. *Computer science review*. 2023. Vol. 49. P. 100569. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2023.100569> (date of access: 21.12.2023).

[46] Rawat P. S., Maji S., Prasad D. Resource Management in Fog Computing Environment Using Optimal Fog Network Topology. *Bio-Inspired Optimization in Fog and Edge Computing Environments: Principles, Algorithms, and Systems*, 185. *Bio-Inspired optimization in fog and edge computing environments* / P. Gupta et al. New York : Auerbach Publications, 2022. URL: <https://doi.org/10.1201/9781003322931> (date of access: 21.12.2023).

[47] A new tool for quality of multimedia estimation based on network behaviour / J. Frnda et al. *Perspectives in science*. 2016. Vol. 7. P. 87–94. URL: <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2015.11.015> (date of access: 21.12.2023).

[48] Quality analysis of service (QOS) to measuring quality topology network computer-based national exam (UBNK) / M. Ghozali et al. *The 1st international conference on computer science and engineering technology universitas muria kudas*, Kudus, Indonesia, 25–26 October 2018. 2018. URL: <https://doi.org/10.4108/eai.24-10-2018.2280551> (date of access: 21.12.2023).

[49] Yihunie F., Abdelfattah E. Simulation and analysis of quality of service (qos) of voice over IP (voip) through local area networks. *2018 9th IEEE annual ubiquitous computing, electronics & mobile communication conference (UEMCON)*, New York City, NY, USA, 8–10 November 2018. 2018. URL: <https://doi.org/10.1109/uemcon.2018.8796802> (date of access: 21.12.2023).

[50] Jia P., Wang X. A new virtual network topology based digital twin for spatial-temporal load-balanced user association in 6G hetnets. *IEEE journal on selected areas in communications*. 2023. P. 1. URL: <https://doi.org/10.1109/jsac.2023.3310104> (date of access: 27.12.2023).

[51] Das R., Bera J. N. Quality of service improvement in neighbourhood area networking for AMI with zigbee based tunable clustered scale-free topology

and RPL routing. *IEEE transactions on smart grid*. 2022. P. 1.  
URL: <https://doi.org/10.1109/tsg.2022.3191358> (date of access: 27.12.2023).

[52] Topology-Aware neural model for highly accurate qos prediction / J. Li et al. *IEEE transactions on parallel and distributed systems*. 2022. Vol. 33, no. 7. P. 1538–1552. URL: <https://doi.org/10.1109/tpds.2021.3116865> (date of access: 27.12.2023).

[53] Bhandari K. S., Ra I.-H., Cho G. Multi-Topology based qos-differentiation in RPL for internet of things applications. *IEEE access*. 2020. Vol. 8. P. 96686–96705. URL: <https://doi.org/10.1109/access.2020.2995794> (date of access: 27.12.2023).

[54] Rezapour Niari M., Eshgi K., Fatahi Valilai O. Topology analysis of manufacturing service supply–demand hyper-network considering QoS properties in the cloud manufacturing system. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2021. Vol. 72. P. 102205. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102205> (date of access: 27.12.2023).

[55] Edge betweenness centrality: A novel algorithm for QoS-based topology control over wireless sensor networks / A. Cuzzocrea et al. *Journal of network and computer applications*. 2012. Vol. 35, no. 4. P. 1210–1217. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2011.06.001> (date of access: 27.12.2023).

[56] Grot B., Keckler S. W., Mutlu O. Topology-Aware quality-of-service support in highly integrated chip multiprocessors. *Computer architecture*. Berlin, Heidelberg, 2011. P. 357–375. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-24322-6\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-642-24322-6_28) (date of access: 27.12.2023).

[57] Yakine F., Idrissi A. Energy-Aware topology control and qos routing in ad-hoc networks. *Procedia computer science*. 2015. Vol. 56. P. 309–316. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.213> (date of access: 27.12.2023).

[58] Towards a Fog-to-Cloud control topology for QoS-aware end-to-end communication / V. B. Souza et al. *2017 IEEE/ACM 25th international symposium*

on quality of service (iwqos), Vilanova i la Geltrú, Spain, 14–16 June 2017. 2017. URL: <https://doi.org/10.1109/iwqos.2017.7969140> (date of access: 27.12.2023).

[59] Mathematical modeling of qos-aware fog computing architecture for iot services / P. Maiti et al. *Advances in intelligent systems and computing*. Singapore, 2018. P. 13–21. URL: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-1501-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-13-1501-5_2) (date of access: 27.12.2023).

[60] Mathematical modeling and validation of retransmission-based mutant MQTT for improving quality of service in developing smart cities / J. Ali et al. *Sensors*. 2022. Vol. 22, no. 24. P. 9751. URL: <https://doi.org/10.3390/s22249751> (date of access: 27.12.2023).

[61] Hasan M. Z., Wan T.-C. Optimized quality of service for real-time wireless sensor networks using a partitioning multipath routing approach. *Journal of computer networks and communications*. 2013. Vol. 2013. P. 1–18. URL: <https://doi.org/10.1155/2013/497157> (date of access: 27.12.2023).

[62] GitHub - zrafa/paralab: paralab is a framework for black-box analysis of MPI programs. *GitHub*. URL: <https://github.com/zrafa/paralab> (date of access: 29.12.2023).