

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії

(повне найменування факультету)

Кафедра обчислювальної техніки

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему Проектування корпоративної комп'ютерної мережі
на основі комплексної математичної моделі

Виконав: студент 2 курсу, групи 2КІ-18м
спеціальності:

123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Шостак Сергій

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н доц. Захарченко С. М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н доц. Карпінець В.В.

(прізвище та ініціали)

м. Вінниця – 2019 року

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії

Кафедра: Обчислювальної техніки

Освітньо – кваліфікаційний рівень: магістр

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри _____

д.т.н., проф. Мартинюк Т.Б. _____

_____ “2” жовтня 2019 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Шостаку Сергію Володимировичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи: Технологія проектування корпоративної комп'ютерної мережі на основі комплексної математичної моделі

Керівник роботи: Захарченко Сергій Михайлович, к. т. н., доцент кафедри ОТ

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

Затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ___ ” _____ 20__ року
№ _____

2. Строк подання студентом роботи « _____ »
20__ року

3. Вихідні дані до роботи: список технічної літератури, основні вимоги до проектування корпоративної мережі підприємства, технічне завдання на магістерську роботу.

4. Зміст пояснювальної записки: аналіз технологій проектування корпоративних мереж, розробка комплексної математичної моделі для проектування корпоративної мережі, аналіз математичних моделей комутаторів, аналіз методу локальних динамічних моделей та балансування навантаження, проектування корпоративної мережі на основі комплексної математичної моделі.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): класифікація інформаційних систем корпоративних мереж, каскадна модель життєвого циклу інформаційної системи, ітераційна модель життєвого циклу інформаційної системи, структурна схема роботи методу локальних динамічних моделей.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------------------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Технічний розділ | Захарченко Сергій Михайлович, к. т. н., доцент кафедри ОТ | | |
| Економічний розділ | Глущенко Лариса Дмитрівна, к.е.н., доцент кафедри економіки підприємства і виробничого менеджменту | | |

7. Дата видачі завдання: _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи) | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|-------------------------------|----------|
| 1. | Постановка задачі дослідження | 10.10.19 – 16.10.19 | виконано |
| 2. | Аналіз технологій проектування корпоративних мереж | 16.10.19 – 24.10.19 | виконано |
| 3. | Розробка комплексної математичної моделі корпоративної мережі | 24.10.19 – 05.11.19 | виконано |
| 4. | Проектування корпоративної мережі на основі комплексної математичної моделі | 05.11.19 – 20.11.19 | виконано |
| 5. | Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу і/або презентації | 20.11.19 – 30.11.19 | виконано |

Студент

_____ (підпис)

Шостак С.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник магістерської дипломної роботи

_____ (підпис)

Захарченко С.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена технології проектування корпоративної комп'ютерної мережі на основі комплексної математичної моделі. В роботі розглянуто технології проектування корпоративних комп'ютерних мереж, методи балансування навантаження, моделі життєвого циклу інформаційної системи корпоративної мережі.

В даній роботі особливу увагу приділено розрахунку комплексної математичної моделі, дослідженню і удосконаленню потокових моделей маршрутизації, розрахунку математичних моделей комутаторів, дослідженню і удосконаленню методу локальних динамічних моделей і проектуванню корпоративної мережі на основі комплексної математичної моделі.

REVIEW

The master's qualification is dedicated to the technology of corporate computer network design based on a complex mathematical model. This work considered the technologies of corporate computer network design, load balancing methods, life cycle models of corporate network information system,

In this work, special attention is paid to the calculation of a complex mathematical model, researching and improvement of streaming routing models, the calculation of switches mathematical models, researching and improvement of the method of local dynamic models and the design of a corporate network based on a complex mathematical model.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 8 |
| 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОЕКТУВАННЯ КОРПОРАТИВНИХ МЕРЕЖ..... | 12 |
| 1.1 Основні поняття технологій проектування інформаційних систем корпоративних мереж..... | 12 |
| 1.2 Інформаційний інжиніринг та реінжиніринг бізнес проектів | 19 |
| 1.3 Моделі життєвого циклу інформаційних систем корпоративних мереж..... | 21 |
| 1.4 Аналіз методів балансування навантаження..... | 28 |
| 2 КОМПЛЕКСНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОРПОРАТИВНОЇ МЕРЕЖІ | 32 |
| 2.1 Загальна структура розробки комплексної математичної моделі | 32 |
| 2.2 Вибір критерію оптимізації та структури даних | 34 |
| 2.3 Розподіл вхідних параметрів | 36 |
| 2.4 Опис керуючих і вихідних параметрів | 38 |
| 2.5 Формалізація математичної моделі..... | 40 |
| 2.6 Потоківі моделі маршрутизації | 43 |
| 3 ПРОЕКТУВАННЯ КОРПОРАТИВНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ КОМПЛЕКСНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ | 46 |
| 3.1 Математичні моделі комутаторів | 46 |
| 3.2 Дослідження методу локальних динамічних моделей..... | 56 |
| 3.3 Дослідження поточкових моделей маршрутизації..... | 62 |
| 3.4 Розрахунок математичної моделі для проектування мережі..... | 68 |
| 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА | 73 |
| 4.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки | 73 |

| | | | | | | | | |
|-----------|------|-----------------|--------|------|--|-----------|------|---------|
| | | | | | 08-23.МКР.030.00.000 ПЗ | | | |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | Технологія проектування корпоративної комп'ютерної мережі на основі комплексної математичної моделі. Пояснювальна записка | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Розроб. | | Шостак С.В. | | | | 6 | | |
| Перевір. | | Захарченко С.М. | | | | 2КІ – 18м | | |
| Реценз. | | Карпінєць В.В. | | | | | | |
| Н. Контр. | | Швець С.І. | | | | | | |
| Затверд. | | Мартинюк Т.Б. | | | | | | |

| | | |
|-----|--|----|
| 4.2 | Прогнозування витрат на виконання наукової роботи та впровадження результатів..... | 78 |
| 4.3 | Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки..... | 83 |
| 4.4 | Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності..... | 85 |
| 4.5 | Висновки до економічної частини | 89 |
| | ВИСНОВКИ..... | 91 |
| | ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ | 92 |
| | ДОДАТКИ..... | 94 |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 08-23.МКР.030.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Основою для надійного функціонування бізнес-процесів підприємства є надійна мережева інфраструктура, незалежно від масштабу та роду діяльності. Захищеність та надійність функціонування корпоративної мережі – основа діяльності підприємства, а збої в роботі мережі призводять до прямих матеріальних втрат підприємства. Корпоративна мережа може складатися з багатьох взаємопов'язаних підсистем, які виконують кожна свою функцію та роль у забезпеченні діяльності підприємства.

Чільним напрямком є надання всіх необхідних телекомунікаційних та інформаційних сервісів відділенням компанії при оптимізації капітальних витрат на створення корпоративної мережі. Це підвищує гнучкість управління та суттєво спрощує контроль над мережевими ресурсами.

Сучасною тенденцією розвитку корпоративних мереж в цілому та інформаційних систем є централізація обчислювальних ресурсів, з можливістю доступу до них з будь-якої територіально віддаленої точки, тому розробка корпоративної мережі є актуальною прикладною задачею.

В даний час вибір структури корпоративної мережі здійснюється емпіричним шляхом. Процес вибору структури корпоративної обчислювальної мережі залежить від конкретної людини (компанії). На початковому етапі, коли число корпоративних обчислювальних мереж було невелике, такий метод вибору структури мережі був прийнятний. Стрімкий прогрес обчислювальних і телекомунікаційних засобів привів до різкого збільшення попиту на корпоративні мережі. Відсутність загальнодоступних технологій і алгоритмів вибору структур корпоративних мереж помітно гальмує їх розвиток. В свою чергу наявність ефективних загальнодоступних технологій дозволило б значною мірою скоротити часові і вартісні витрати на проектування мережі, зробити доступним рішення цього складного завдання

більш широкого кола фахівців, що безсумнівно приведе до якісного стрибка в розвитку корпоративних обчислювальних мереж.

Технологія повинна забезпечувати зниження складності процесу створення мережі за рахунок повного і точного опису цього процесу і застосування сучасних методів і технологій створення корпоративної мережі на всьому життєвому циклі мережі – від задуму до реалізації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Магістерська робота виконана відповідно до напрямку наукових досліджень кафедри обчислювальної техніки в галузі комп'ютерних систем та мереж, а також, спеціальності 123 – комп'ютерна інженерія.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є вдосконалення процесу проектування корпоративних мереж за рахунок застосування математичних моделей на різних етапах проектування мережі. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

- провести аналіз існуючих технологій проектування корпоративних мереж та обрати технологію, яка задовольняє меті даної магістерської кваліфікаційної роботи;
- провести аналіз існуючих методів балансування навантаження;
- розробити комплексну математичну модель корпоративної мережі використовуючи метод локальних динамічних моделей та потокові моделі маршрутизації;
- виконати реалізацію технології проектування корпоративної мережі на основі комплексної математичної моделі.

Об'єкт дослідження – це сучасні процеси проектування корпоративних комп'ютерних мереж.

Предмет дослідження – це технології проектування корпоративних комп'ютерних мереж.

Методи дослідження. Дослідження, виконані під час роботи над кваліфікаційною магістерською роботою, ґрунтуються на основних поняттях технологій проектування інформаційних систем корпоративних мереж;

інформаційному інжинірингу та реінжинірингу бізнес проектів; аналізі методів балансування навантаження; структурному моделюванні комплексної математичної моделі – для проектування корпоративної мережі на її основі.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в такому:

- удосконалено потокові моделі маршрутизації для використання їх в корпоративних мережах;
- удосконалено метод локальних динамічних моделей для впровадження в корпоративну комп'ютерну мережу.

Практичне значення одержаних результатів полягає у такому:

- 1) впроваджено математичні моделі для різних типів комутаторів, що можуть використовуватись в корпоративних мережах.
- 2) впроваджено обмеження в комплексну математичну модель для зменшення затрат на проектування мережі та зменшення втрат даних в мережі.
- 3) розроблено комплексну математичну модель, що дає змогу спроектувати на її основі будь-яку корпоративну комп'ютерну мережу.
- 4) спроектовано корпоративну комп'ютерну мережу на основі комплексної математичної моделі.

Отримані результати можуть бути впроваджені в процесі розробки та проектування корпоративної комп'ютерної мережі для підприємства з будь-яким напрямом підприємницької діяльності.

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується строгістю постановки задач, коректним застосуванням інформаційних технологій під час доведення наукових положень, строгим виведенням аналітичних співвідношень, збіжністю результатів дослідження з результатами, що отримані під час впровадження розробленої комплексної математичної моделі.

Особистий внесок магістранта. Усі результати, наведені у магістерській кваліфікаційній роботі, отримані самостійно і опубліковані у таких виданнях:

1. Організація захисту інформації в корпоративній мережі за допомогою симетричних алгоритмів шифрування / Коробейнікова Т. І., Шостак С. В. Зимові наукові підсумки 2019 року: XIV Міжнародна науково-практична інтернет-конференція: тези доповідей, Дніпро, 28 лютого 2019 р. – Ч. 1. – Дніпро: НОК, 2019, с. 51-57.

2. Методи та засоби створення захищеної корпоративної мережі на базі обладнання компанії Cisco / Коробейнікова Т. І., Шостак С. В. // Збірник Матеріалів XLVIII Науково-технічної конференції факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії (2019). Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2019/paper/view/6661/5569>.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОЕКТУВАННЯ КОРПОРАТИВНИХ МЕРЕЖ

1.1 Основні поняття технологій проектування інформаційних систем корпоративних мереж

Інформаційна система корпоративної мережі (ІС) – Це сукупність засобів, методів та персоналу, що використовуються для зберігання, обробки та видачі інформації для досягнення поставлених цілей. ІС являє собою сукупність організаційних, технічних, програмних та інформаційних засобів, які інтегровані в єдину систему з метою збору, зберігання, обробки та видачі необхідної інформації, призначеної для виконання функцій управління. ІС повинна відповідати наступним вимогам:

- повнота та достовірність інформації для реалізації функцій управління;
- своєчасність надання інформації;
- забезпечення необхідного ступеня достовірності інформації в залежність від рівня управління;
- економічність обробки інформації – витрати на обробку даних не повинні перевищувати одержуваний ефект;
- адаптованість до змін інформаційним потребам користувачів.

Впровадження ІС проводиться для підвищення ефективності виробничо-господарської діяльності підприємства за рахунок принципово нових методів управління, заснованих на моделюванні діяльності фахівців підприємства при прийнятті рішень, використання сучасних засобів телекомунікації (електронна пошта, телефонні конференції) та обчислювальних систем, а також економія часу виконання типових операцій по обробці різних типів документів [1].



Рисунок 1.1 – Класифікація інформаційних систем корпоративних мереж

Розробка складних ІС підприємств неможлива без ретельно обдуманого методологічного підходу. В даний час існує ряд загальних технологій розробки ІС. Головне в технологіях розробки – це єдина дисципліна роботи на всіх етапах життєвого циклу системи, облік критичних завдань та контролю їх вирішення, а також використання сучасних інструментів для підтримки процесів аналізу, проектування та впровадження ІС..

Для різних класів систем використовуються різні методи розробки, які визначаються типом створюваної системи і засобами реалізації. Специфікації цих систем, в більшості випадків, складаються з двох основних компонентів – функціонального і інформаційного. Сучасні методи створення ІС різного призначення базуються на трьох підходах: об'єктно-орієнтованій технології, заснованій на знаннях (інтелектуальній) технології і CASE-технології.

Проектування ІС – це процес перетворення вхідної інформації про об'єкт проектування, а також про методи проектування і досвід проектування об'єктів аналогічного призначення в проект ІС відповідно до наявних

нормативних вимога і стандартів. З цієї точки зору зміст проектування ІС зводиться до послідовної формалізації проектних рішень на різних етапах життєвого циклу інформаційної системи. В результаті виконання всіх етапів проектування отримуємо набір узгоджених моделей (проект) ІС.

Проектування інформаційної системи корпоративної мережі включає в себе три основні напрямки:

- створення об'єктів даних, які реалізуються в базі даних;
- створення програмних рішень та звітів, що забезпечують виконання запитів до даних;
- врахування конкретного середовища чи технології, наприклад: топологія мережі, конфігурація обладнання, використовувана архітектура (файловий сервер або клієнт-сервер), паралельна обробка, розподілена обробка даних тощо.

Загалом, мета проектування ІС може бути визначена як рішення взаємопов'язаних задач, включаючи забезпечення при запуску системи та протягом усього часу експлуатації:

- необхідна функціональність системи та рівень її пристосованості до мінливих умов роботи;
- необхідна пропускна здатність;
- необхідний час реакції;
- безперебійна робота;
- необхідний рівень безпеки;
- простота експлуатації та обслуговування.

Об'єктами проектування ІС є окремі елементи або їх комплекси функціональних і забезпечуючих частин. В якості суб'єктів проектування ІС виступають:

- колективи фахівців-проектувальників;
- замовник (фізична особа або організація), для якого необхідно розробити ІС.

Здійснення проектування ІС передбачає використання проектувальниками певної технології проектування, відповідної масштабу і особливостям розроблюваного проекту. Технологія проектування – це сукупність концептуальних методів і засобів організації проектування ІС, тобто управління процесом створення або модернізації проекту інформаційної системи.

Складові елементи технології проектування:

- методологія;
- інструментальні засоби;
- організація.

Технологія проектування передбачає можливість вибору різних методів і засобів проектування. Вибір оптимальної сукупності слід здійснювати з урахуванням таких вимог до технології проектування [3]:

- забезпечення створення ІС, що відповідає цілям і задачам організації, а також пред'явленим вимогам по автоматизації виробничих процесів замовника;
- гарантоване створення системи із заданою якістю в задані строки та в межах визначеного бюджету проекту (з мінімізацією трудових і вартісних витрат);
- підтримка зручної дисципліни супроводу, модифікації та нарощування системи;
- забезпечення спадковості розробки, тобто використання в ІС, що розробляється, існуючої інформаційної інфраструктури організації (заділу в області інформаційних технологій);
- забезпечення зростання продуктивності праці проектувальника при використанні обраної технології;
- забезпечення надійності процесу проектування і експлуатації проекту;
- простота ведення проектної документації.

Основна мета використання тієї чи іншої технології проектування: зниження складності (і вартості) процесу створення ІС через повний та точний опис цього процесу, а також застосування передових методів та технологій для створення ІС протягом усього її життєвого циклу – від задуму до реалізації.

Методи проектування ІС можна класифікувати за такими підставами:

- 1) за ступенем автоматизації:
 - методи ручного проектування – без використання спеціальних програмних засобів;
 - методи комп'ютерного проектування – з використанням спеціальних програмних засобів, що дозволяють виконувати генерацію або конфігурацію проектних рішень.
- 2) за ступенем використання типових проектних рішень:
 - методи індивідуальної розробки, при проектуванні рішень з самого початку відповідно до вимог конкретної ІС;
 - методи типового проектування, що дозволяють виконувати проектування конкретної ІС шляхом конфігурації готових (типових) проектних рішень. Воно базується на досвіді розробки індивідуальних проектів. Типове проектування в кожному конкретному випадку пов'язано з безліччю специфічних особливостей і розрізняється за ступенем охоплення функцій управління і виконуваних робіт.
- 3) за ступенем адаптивності проектних рішень:
 - адаптація шляхом реконструкції (переробка відповідних компонентів ІС, перепрограмування програмних модулів);
 - адаптація шляхом параметризації (настройка проектних рішень відповідно до змінюваних параметрів);
 - адаптація шляхом реструктуризації (перегенерація використовуваного набору проектних рішень відповідно до змін моделі предметної області).

Аналіз різних методів проектування дозволив виділити наступні класи технологій проектування:

- 1) канонічне проектування;
- 2) індустріальне проектування, яке поділяється на два підкласи:
 - автоматизоване проектування;
 - типове проектування.

Канонічне проектування характеризується використанням методів ручного проектування і направлено на отримання оригінальних проектів (з мінімальним використанням типових проектних рішень). Індустріальне проектування орієнтоване на використання сучасних засобів автоматизації. Індустріальне проектування останнім часом набуло широкого застосування, однак це не виключає використання в окремих випадках канонічної технології.

Засоби проектування інформаційних систем – це комплекс інструментальних засобів, що забезпечують в рамках обраної технології проектування підтримку повного життєвого циклу ІС. Використовуючи зазначене визначення, можна сформулювати основні ознаки засобів проектування ІС:

- інваріантність до об'єкту проектування;
- охоплення всіх етапів життєвого циклу ІС (для сукупності засобів);
- технічна, програмна та інформаційна сумісність один з одним;
- простота освоєння і застосування;
- економічна доцільність використання.

Всі засоби проектування ІС розділяють на два класи:

- 1) комп'ютерні, які можна поділити на такі підкласи:
 - засоби проектування операцій обробки інформації (алгоритмічні мови, бібліотеки стандартних підпрограм і класів, інструменти тестування і налагодження програм);

- засоби проектування окремих компонентів ІС (спеціалізовані пакети програм математичної статистики і математичного програмування, СУБД, графічні і текстові редактори і ін.);
 - засоби автоматизованої розробки різних етапів проекту ІС – CASE-засоби.
- 2) інші – в основному стандарти, що регламентують процес створення ІС: стандарти проектування, стандарти оформлення проектної документації, стандарти для користувача інтерфейсу.

Процес створення мережі – це процес побудови і перетворення моделей на всіх фазах життєвого циклу ІС. Моделі створюються, трансформуються та контролюються за допомогою CASE-інструментів. Найважливішими результатами в кожній фазі життєвого циклу ІС є моделі об'єктів, які визначаються на даному етапі (організації, вимоги до мережі, додатків і т.д.).

CASE-інструменти дозволяють створювати не тільки продукт, практично готовий до застосування, але і забезпечити «правильний» процес його розробки. Основна мета технології – відокремити проектування програмного забезпечення від його кодування, збірки, тестування і максимально «приховати» від майбутніх користувачів всі деталі розробки і функціонування ПО. При цьому значно підвищується ефективність роботи проектувальника: скорочується час розробки, зменшується число програмних помилок, програмні модулі можна використовувати при наступних розробках.

Початком процесу створення ІС є моделі бізнес-процесів організації. З цих моделей може бути отримано більшість найважливіших вимог до ІС. Це положення технології дозволяє абсолютно об'єктивно підійти до вироблення вимог і проектування ІС. Створюється система моделей опису вимог до мережі, яка потім перетворюється в систему моделей, що описують проект мережі. Формуються моделі архітектури ІС, вимоги до програмного забезпечення та інформаційного забезпечення; формуються архітектури програмного забезпечення та інформаційного забезпечення, призначаються

бази даних компанії та окремі додатки, розробляються моделі вимог до прикладних програм, проводяться їх розробка, тестування та інтеграція [5].

1.2 Інформаційний інжиніринг та реінжиніринг бізнес проектів

В даний час не існує загальноприйнятих підходів і технологій проектування корпоративних мереж. Для того, щоб було простіше розібратися в існуючих підходах і технологіях проектування корпоративних мереж пропонується наступна класифікація. Технології побудови корпоративних мереж підприємства можна розділити на два класи. До першого класу відносяться технології, засновані на використанні набору стандартних мережевих рішень (стандартні рішення – це рішення, пропоновані відомими компаніями - Cisco, HP та ін.). Цей технологічний клас має відносно низькі проектні витрати, але отримана мережа може не повністю відповідати пред'явленим вимогам. Мережі, побудовані за технологіями другого класу, крім стандартних рішень, містять унікальні розробки, що дозволяють максимально адаптувати мережу до структури бізнес-процесів компанії.

У такому підході корпоративна мережа представлена як багат шарова піраміда. В основі піраміди, що є корпоративною мережею, лежить шар комп'ютерів – центрів зберігання та обробки інформації та транспортної підсистеми (рис. 1.2), що забезпечує передачу інформаційних пакетів між комп'ютерами. Транспортна система управляється шаром мережевої операційної системи, яка організовує програми на комп'ютерах та забезпечує надання ресурсів комп'ютера в загальне користування. В операційній системі працює системний клас додатків, що зазвичай відокремлюються в окремий шар у корпоративній мережі. Наступний рівень - це системні сервіси, які використовують СУБД як інструмент для пошуку потрібної інформації серед мільйонів і мільярдів байтів, що зберігаються на дисках, надаючи кінцевим користувачам цю інформацію у формі, зручній для прийняття рішень. Ці послуги включають сервіс WWW, систему електронної пошти та багато іншого.

Найвищий рівень корпоративної мережі представлений спеціалізованими програмними системами, які виконують конкретні для підприємства завдання. Прикладами таких систем є системи автоматизації банківської діяльності, обліку тощо. Кінцевою метою корпоративної мережі є реалізація додатків високого рівня. Хоча шари цієї піраміди пов'язані між собою та взаємодіють між собою, кожен шар розробляється повністю незалежно фахівцями та компаніями кожного профілю.

Основна особливість цього підходу полягає у використанні набору попередньо побудованих стандартних рішень як будівельних блоків для побудови мережі. Представлення корпоративної мережі у вигляді багатошарової піраміди не дає чіткої відповіді на структуру мережі. Цей підхід має право на існування і є найбільш ефективним у побудові простих корпоративних мереж.



Рисунок 1.2 – Корпоративна мережа як багатошарова піраміда

Недоліки даної технології:

- використання готових рішень, які можуть погано поєднуватися один з одним;

- при проектуванні недостатньо враховується інформаційна структура підприємства;
- готова мережа не завжди повністю відповідає поставленим вимогам.

Переваги даної технології:

- скорочення часу розробки, витрат на проектування і, як наслідок, зниження вартості мережі;
- мережі, побудовані з використанням такого підходу, можуть задовольнити в тій чи іншій мірі більшість замовників.

1.3 Моделі життєвого циклу інформаційних систем корпоративних мереж

Пропоновані в цих принципово нових підходах методи дозволяють нам описати, проаналізувати та спроектувати структуру та діяльність компаній. Кожен із цих підходів породжував клас технологій, що володіють загальними характеристиками. Технологія будується на основі ітераційної спіральної моделі життєвого циклу мережі. Принциповою особливістю технології є те, що, охоплюючи всі етапи життєвого циклу мережі, вона робить основний акцент на підтримку початкових етапів створення корпоративних мереж (формування вимог до мережі, точно відповідають цілям і задачам організації). Відповідно до підходу інформаційного інжинірингу, який можна визначити як застосування взаємопов'язаного набору формальних технологій (моделей) для планування, аналізу, проектування і створення ІС на рівні корпорацій чи окремих її частин, процес створення мережі будується як процес побудови і розвитку моделей.

До моделей життєвого циклу інформаційних систем корпоративних мереж можна віднести:

- каскадну модель;
- ітераційну модель;
- спіральну модель.

Каскадна модель вимагає послідовної організації роботи, основною особливістю моделі є розподіл всієї роботи на етапи. Перехід від попереднього етапу до наступного відбувається тільки після повного завершення всіх робіт попереднього етапу. Виділяють п'ять стійких етапів розробки, які майже не залежать від предметної області [7].

В першу чергу проводяться дослідження проблемної області, формуються вимоги замовника. Результатом дослідження є технічне завдання, що узгоджене з усіма зацікавленими сторонами.

В ході другого етапу, згідно з вимогами технічного завдання, розробляються ті чи інші проектні рішення. В результаті з'являється комплект проектної документації.

На третьому етапі проводиться реалізація проекту, розробка програмного продукту на основі проектних рішень попереднього етапу. Методи реалізації не є принциповими. Результатом етапу є готовий програмний продукт.

На четвертому етапі отриманий програмний продукт перевіряється на відповідність вимогам, зазначеним у специфікації. Експериментальна операція виявляє всі види прихованих дефектів, які виявляються в реальному використанні інформаційної системи.

Заключний етап - подача готового продукту. Головне в ньому переконати замовника, що всі його вимоги повністю виконані.

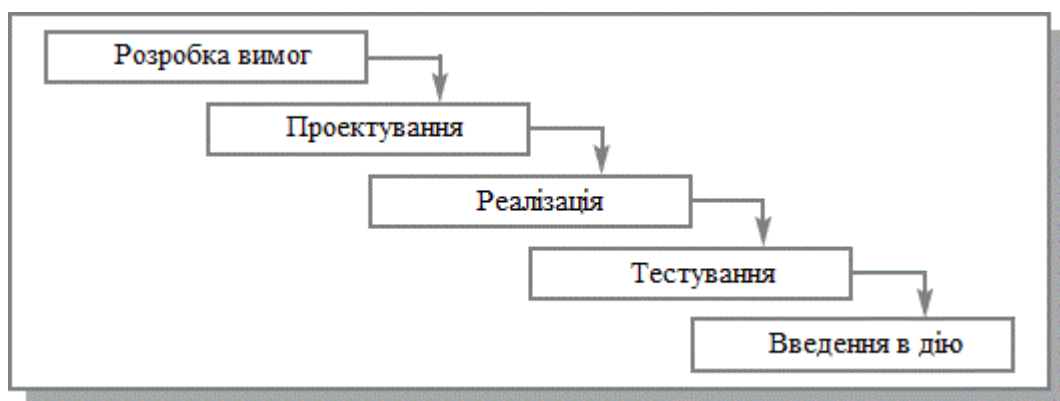


Рисунок 1.3 – Каскадна модель життєвого циклу інформаційної системи

Етапи роботи в межах каскадної моделі часто називають частинами циклу проектування інформаційної системи, оскільки етапи складаються з безлічі ітераційних процедур для визначення системних вимог та варіантів проектування. Життєвий цикл інформаційної системи набагато складніший і триваліший: він може включати будь-яку кількість циклів вдосконалення, модифікації та доповнення вже прийнятих та впроваджених проектних рішень. У цьому циклі проходить розвиток інформаційної системи та покращення окремих її компонентів. До переваг каскадної моделі можна віднести те що:

- на кожному етапі створюється повна проектна документація, яка відповідає критеріям повноти та послідовності. На завершальній фазі розробляється зручна для користувача документація, яка охоплює всі типи забезпечення ІС (організаційний, інформаційний, програмний, технічний і т. д.), які передбачені стандартами;
- послідовне завершення робочих етапів дозволяє спланувати терміни завершення та пов'язані з цим витрати.

Каскадна модель спочатку була розроблена для вирішення різних технічних проблем і до сьогодні не втратила своєї актуальності в галузі застосування. Каскадний підхід найкраще підходить для проектування ІС – вже на самому початку розробки можна досить точно сформулювати вимоги для надання розробникам свободи в технічній реалізації. До таких ІС, зокрема, відносяться складні розрахункові системи і системи реального часу. До недоліків каскадної моделі можна віднести:

- значна затримка досягнення результатів;
- помилки та недоліки в одному з етапів зазвичай трапляються на пізніших етапах роботи, що призводять до необхідності повернення;
- складність паралельної роботи над проектом;
- надмірне перевантаження інформацією на кожному з етапів;

- складність управління проектами;
- високий ризик та ненадійність інвестицій.

Затримка в досягненні результатів відображається в тому, що в послідовній розробці узгодження результатів із зацікавленими сторонами здійснюється після закінчення кожного етапу роботи. Як результат, розроблена інформаційна система може не відповідати вимогам, і такі невідповідності можуть виникнути на будь-якому етапі проектування. Крім того, аналітиками та програмістами можуть ненавмисно вноситися помилки, оскільки їм не потрібно добре розуміти предметну область, для якої розробляється ІС.

Ітераційна модель (поетапна модель з проміжним контролем) складається з серії коротких циклів (етапів) вивчення, планування, реалізації та дії.

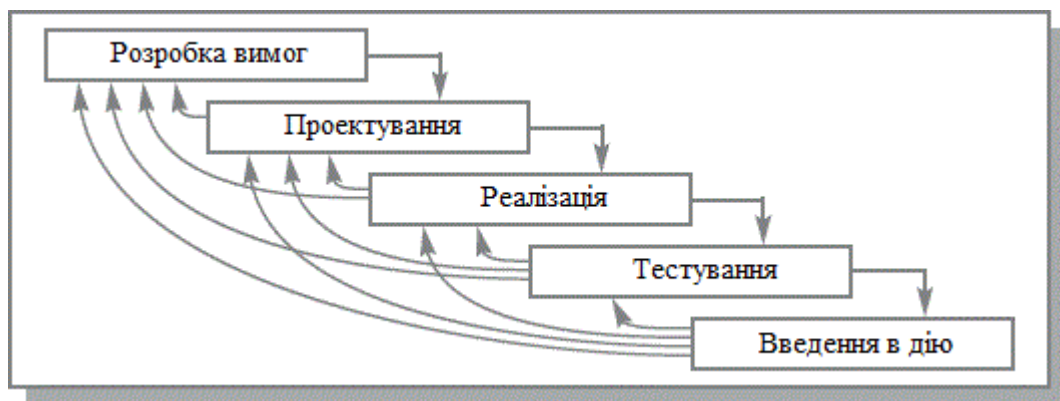


Рисунок 1.4 – Ітераційна модель життєвого циклу інформаційної системи

Створення складних ІС передбачає затвердження проектних рішень, прийнятих при реалізації окремих завдань. Підхід до проектування «знизу вгору» вимагає ітерацій повернення при поєднанні проектних рішень для окремих завдань у загальні системи. Тому виникає необхідність переглянути раніше сформовані вимоги. Перевага ітеративної моделі полягає в тому, що багаторівневі налаштування забезпечують меншу складність в розробці, ніж каскадна модель.

До недоліків ітераційної моделі віднесемо:

- термін експлуатації кожного етапу продовжується протягом усього періоду проектування;
- через велику кількість ітерацій виникають невідповідності у виконанні проектних рішень та документації;
- складність архітектури;
- труднощі використання проектної документації на етапах впровадження та експлуатації потребують перероблення всієї системи [11].

Спіральна модель також пропонує ітераційний процес розвитку ІС, але у той же час в ній збільшується важливість ранніх етапів аналізу та проектування, перевірки та обґрунтування реалізації технічних рішень за допомогою прототипів.

Кожна ітерація є повним циклом розробки, який закінчується випуском внутрішньої чи зовнішньої версії товару (або підмножини кінцевого продукту), що покращується від ітерації до ітерації і до повної системи (рис. 1.5).

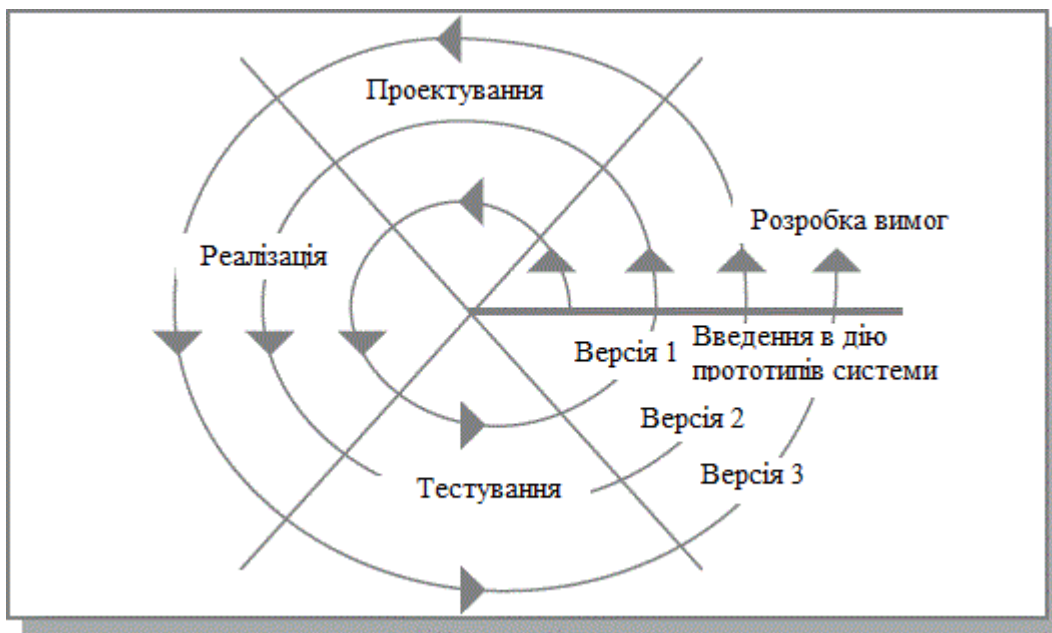


Рисунок 1.5 – Спіральна модель життєвого циклу інформаційної системи

Таким чином, кожний виток спіралі конкретизує створення частини або повної версії програмного продукту. Кожна частина конкретизує цілі та характеристики проекту, визначає його якість, планує роботи на наступному витку спіралі. Кожна ітерація служить для поглиблення в деталі проекту, в результаті чого вибирається дійсна версія остаточної реалізації.

Використовуючи спіральну модель можна переходити до наступного етапу проекту, не очікуючи повного завершення поточного етапу, незавершену роботу можна виконати на наступній ітерації. Основне завдання кожної ітерації – створити робочий продукт, який можна продемонструвати користувачам якомога швидше. Це значно спрощує внесення змін та доповнень до проекту.

Спіральний підхід до розробки інформаційної системи корпоративної мережі дозволяє подолати більшість недоліків каскадної моделі, крім того, забезпечує додаткові можливості, роблячи процес розробки більш гнучким.

До переваг спіральної моделі віднесемо:

- спіральне проектування значно спрощує зміни проекту в міру зміни вимог замовника;
- при використанні спіральної моделі окремі елементи інформаційної системи поступово інтегруються в єдине ціле;
- зниження рівня ризику (наслідок превентивної вигоди, оскільки ризику визначаються під час інтеграції). Рівень ризику є максимальним на початку розробки проекту, він зменшується в міру удосконалення;
- спіральне проектування пропонує більшу гнучкість в управлінні проектами та дозволяє тактичні зміни. Таким чином можна скоротити умови розробки за рахунок зниження функціональності системи або використовувати замість власних розробок продукцію сторонніх компаній;
- спіральний підхід полегшує повторне використання компонентів, оскільки набагато простіше визначити загальні частини проекту,

навіть якщо вони вже були частково розроблені, ніж намагатися ізолювати їх на початку проекту;

- модель спіралі дозволяє більш надійну і стабільну систему. Це пов'язано з тим, що під час розробки системи виявляються та виправляються помилки та слабкі місця при кожній ітерації. У той же час критичні параметри продуктивності коригуються, що у випадку каскадної моделі є лише до впровадження системи;
- спіральний підхід дозволяє вдосконалити процес проектування. В результаті аналізу в кінці кожної ітерації оцінюються зміни в організації проектування, вони покращуються при наступній ітерації.

Основною проблемою спірального циклу є складність визначення часу переходу до наступного етапу. Щоб виправити це, потрібно встановити часові межі для кожного етапу життєвого циклу. В іншому випадку процес розробки може стати нескінченним удосконаленням вже зробленого.

Включаючи користувачів у процес проектування, можна отримувати коментарі та доповнення до вимог в процесі проектування, зменшуючи час самого проектування. Представники замовника можуть проводити контроль процесу проектування системи та можуть вплинути на її функціональне виконання. Результатом є введення в експлуатацію системи, яка відповідає більшості вимог замовника.

Дана технологія описує процес створення і супроводу ІС у вигляді життєвого циклу (ЖЦ) мережі, що представляється у вигляді послідовних стадій, котрі розбиті на етапи, і процесів, що виконуються на них. На кожному кроці визначається порядок виконуваних робіт і одержувані результати. Такий формальний опис ЖЦ мережі дає змогу до планування та організації процесу колективного проектування і забезпечення управління цим процесом.

Життєвий цикл включає в себе стадії по яким проходить розробка корпоративної мережі. До них можна віднести: аналіз, проектування, розробку, тестування та інтеграцію, впровадження, супровід та розвиток

мережі. До стадії аналізу відносяться такі етапи: обстеження і створення моделей діяльності організації; аналіз (моделей) існуючих мереж; аналіз моделей і формування вимог до мережі; розробка плану створення мережі. До стадії проектування відносяться: концептуальне проектування; розробка архітектури мережі; проектування загальної моделі даних; формування вимог до додатків. Стадія розробки включає в себе: розробку, прототипування і тестування додатків; розробку інтеграційних тестів; розробку документації для користувачів. До стадії інтеграції і тестування відноситься: інтеграція і тестування додатків в складі системи; оптимізація додатків і баз даних; підготовка експлуатаційної документації; тестування системи. Стадія розробки включає в себе: навчання користувачів; розгортання системи на місці експлуатації; інсталяція баз даних; експлуатація. Етапи що відносяться до стадії супроводу: реєстрація, діагностика і локалізація помилок; внесення змін і тестування; управління режимами роботи мережі.

До недоліків даної технології можна віднести:

- мережа, спроектована з використанням даної технології, буде дорожчою ніж мережа, побудована із застосуванням інших технологій, оскільки процес створення більш тривалий і трудомісткий.

До переваг даної технології можна віднести:

- дана технологія дає гарантію, що побудована мережа буде повністю відповідати пред'явленим до неї вимогам;
- мережа є відображенням бізнес-процесів підприємства, що дозволяє використовувати її з максимальною ефективністю [13].

1.4 Аналіз методів балансування навантаження

Рішення задач маршрутизації займає важливе місце в функціонуванні корпоративних мереж і безпосередньо впливає на ефективність їх роботи. У корпоративних мережах для вирішення завдань маршрутизації

використовуються розподілені підходи управління, які мають високу збіжність, але при цьому призводять до нерівномірного завантаження мережі.

Перспективним напрямком розвитку є оптимальна маршрутизація, використання якої на практиці передбачає реалізацію централізованого підходу до управління мережею. Таке управління, хоча теоретично дає кращі результати, на практиці пов'язане з рядом труднощів. Основними недоліками є велика розмірність моделі корпоративної мережі і повільна збіжність, оскільки управління залежить від глобальних параметрів, які важко знати апіорно. При наявних недоліках повністю децентралізованого та централізованого управління, виникає потреба в об'єднанні їх позитивних особливостей.

У такій ситуації виникає необхідність в нових методах, які дозволять забезпечити ефективність розподілу навантаження, а також будуть сумісними з існуючими розподіленими методами маршрутизації. Одним з можливих варіантів вирішення такого завдання може бути введення доповнень до існуючих методів маршрутизації, які будуть виконувати більш збалансований розподіл навантаження на локальних ділянках мережі. Деякі спроби реалізувати даний підхід привели до створення методів балансування навантаження.

У більшості сучасних маршрутних протоколів можливі шляхи проходження мережевого трафіку визначаються значенням найменшої сумарної вартості (метрики) на основі алгоритмів пошуку «найкоротшого» шляху. При наявності в мережі декількох рівноцінних альтернативних маршрутів здійснюється балансування (рівномірний розподіл) навантаження (БН).

Балансування навантаження (load balancing) – це можливість маршрутизатора розподіляти трафік на всі мережеві порти на однаковій відстані від одержувача. Алгоритми розподілу навантаження використовують інформацію про пропускну здатність і надійність каналів. Балансування навантаження збільшує інтенсивність використання сегментів мережі і, таким

чином, ефективну пропускну здатність всієї мережі. В таблиці 1.1 показано порівняння методів балансування навантаження використовуваних в протоколах OSPF, RIP, EIGRP.

Таблиця 1.1 – Порівняння протоколів OSPF, EIGRP і RIP по реалізації балансування навантаження

| Порівнюваний параметр | Метод БН в складі протоколу маршрутизації | | |
|--|---|-------|-----|
| | OSPF | EIGRP | RIP |
| БН між маршрутами з однаковою метрикою | + | + | + |
| БН між маршрутами з різною метрикою | - | + | - |
| По-пакетно (per-packet) | + | + | + |
| По-одержувачу (per-destination) | - | - | - |
| Врахування стану завантаженості каналів зв'язку що виходять з маршрутизатора | - | - | - |
| Динамічний перерахунок керуючих змінних | - | - | - |
| Автоматичний вибір режимів роботи методу БН при умовах, що змінюються | - | - | - |
| Узгодженість роботи методу БН з методами обробки черг | - | - | - |

Не дивлячись на те, що останнім часом з'являється ряд робіт присвячених вирішенню завдань БН запропоновані рішення для управління IP-мережами MAN і WAN ще не були повністю реалізовані, а тому питання залишається відкритим. Недоліки свідчать про те, що вирішення проблеми балансування навантаження є актуальною задачею і вимагає подальших досліджень. При розробці нових методів БН необхідно враховувати:

- динаміку при перерахунку керуючих змінних;
- можливість реалізації автоматичної роботи по вибору режимів роботи методу;

- узгодженість з методами обробки черг;
- стану завантаженості каналів зв'язку виходять з маршрутизатора;
- можливість реалізації БН за маршрутами зрізною вартістю.

В даній роботі запропонований метод локальних динамічних моделей дозволяє усунути ряд недоліків існуючих методів розглянутих в таблиці 1.1. Однак існує складність в реалізації цього методу, що полягає в необхідності підібрати такі значення елементів матриці, що визначає важливість каналів зв'язку що виходять з маршрутизатора, які б забезпечили максимальну ефективність роботи на локальній ділянці і мережі в цілому [15].

2 КОМПЛЕКСНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОРПОРАТИВНОЇ МЕРЕЖІ

У даному розділі розглянуто основні задачі для розрахунку комплексної математичної моделі. Також розглянуто рішення для оптимізації математичної моделі, а також методи для її удосконалення.

2.1 Загальна структура розробки комплексної математичної моделі

Окремі офісні компоненти територіально розподіленої великої корпоративної обчислювальної мережі (ВКОМ) можна розглядати як компактні корпоративні обчислювальні мережі, що складаються з локальних обчислювальних мереж (ЛОМ). При зміні структури ВКОМ необхідно попереднє моделювання можливих варіантів структури як самої ВКОМ, так і її офісних компонентів для вибору нового оптимального варіанту.

Завдання розробки структури мереж різних класів суттєво відрізняються за своєю складністю. В першу чергу це пов'язано з розмірами мереж. Найпростіше вирішується завдання моделювання структури локальної обчислювальної мережі. Так як така мережа має невелике число абонентів, то кількість комунікаційних елементів (комутаторів, концентраторів) не перевищує одного-трьох пристроїв, тобто задача вибору способу підключення абонентів гранично проста і не вимагає розробки спеціальних алгоритмів. Завдання моделювання структури великих корпоративних обчислювальних мереж може бути розбите на дві підзадачі. Перша – це моделювання магістральної підмережі, що включає в себе використовувані глобальні з'єднання і магістральні канали зв'язку. Друга – моделювання абонентських підмереж, які, як правило, представляють собою ЛОМ або компактні корпоративні обчислювальні мережі (іноді застосовують інший термін – кампусні мережі) різного ступеня складності. Методи побудови моделей структур ЛОМ і ВКОМ детально розглянуті в багатьох джерелах, однак область моделювання та оптимізації структури ВКОМ вивчена погано, і при

проектуванні таких мереж використовуються в основному емпіричні методи. Тому створення моделей структур ККОМ в даний час є актуальним завданням.

ККОМ, які являються компонентами територіально розподіленої ВКОМ мають ряд особливостей, що відрізняють їх від мереж інших класів:

- компактність територіального розташування мережі, що дозволяє використовувати для передачі даних високошвидкісні технології локальних мереж і не застосовувати для передачі даних усередині мережі глобальні з'єднання;
- велика кількість (іноді до декількох тисяч) вузлів на невеликій території, що значно ускладнює проектування мережі;
- гетерогенність, тобто наявність підмереж, заснованих на різних мережевих технологіях;
- комутатори є основними комунікаційними пристроями ККОМ (маршрутизатори або концентратори дуже рідкісні);
- кабельна система ККОМ зазвичай проектується у вигляді структурованої кабельної системи (СКС) з деревовидною топологією;
- пропускні спроможності каналів зв'язку ККОМ можуть приймати певні дискретні значення, що залежать від використовуваної мережевої технології і, звичайно, відрізняються кількома порядками (наприклад, 10 Мбіт/с, 100 Мбіт/с, 1 Гбіт/с), що не дозволяє проводити апроксимацію пропускної здатності при проектуванні, на якій ґрунтуються багато алгоритми оптимізації структури ЛОМ і ВКОМ.

Отже, завдання розробки структури ККОМ, формалізація якої і є метою даної магістерської роботи, досить складна через велику кількість абонентів і комунікаційних пристроїв, загальне число яких може досягати декількох тисяч. Додаткові труднощі виникають при розробці структур підлеглих гетерогенних ЛОМ, так як в цьому випадку потрібно не тільки визначити способи з'єднання вузлів мережі, але і вибрати мережеву технологію, з

використанням якої підключається абонент. При створенні моделі мережі необхідно враховувати велику кількість параметрів: швидкість передачі і вартість каналів зв'язку, вартість комунікаційного обладнання, характеристики комунікаційних пристроїв, вимоги абонентів мережі до пропускних здібностей ліній зв'язку, вимоги до надійності мережі і до затримки передачі пакетів даних [17].

2.2 Вибір критерію оптимізації та структури даних

Найважливішим етапом формалізації завдання вибору оптимальної моделі є вибір критерію оптимальності системи. Існує три основні підходи до синтезу обчислювальних мереж – синтез за критерієм часу, за критерієм надійності і за критерієм вартості. Критерій надійності застосовується в основному при проектуванні спеціалізованих мереж управління. Критерій часу застосовується для систем реального часу. При виборі критерію оптимізації офісних і промислових мереж найбільш часто використовують витрати на створення і експлуатацію мережі. В даному випадку, розглядаючи офісну ККОМ, як критерій оцінки оптимальності моделі виберемо сумарні витрати на створення мережі. Проектування ККОМ складається з двох стадій: архітектурної та телекомунікаційної. На архітектурній стадії визначаються шляхи проходження кабельних каналів, розміщення технічних приміщень (кросових і апаратних), робочих місць користувачів мережі. Ці завдання вирішуються при розробці проекту нової будівлі або будівлі, що реконструюється спеціалізованими проектними організаціями. На телекомунікаційній стадії проектування визначається структура кабельної системи, перелік та розміщення комунікаційних пристроїв. Оскільки при вирішенні задач архітектурної стадії проектування офісної ККОМ в першу чергу враховуються не вимоги оптимальності мережі, а правила протипожежної та електробезпеки, а також естетичні міркування, то результати виконання даної стадії будемо розглядати як вихідні дані для формалізуючої моделі, тобто оптимізацію структури ККОМ почнемо з

телекомунікаційною стадії. Таким чином, у вихідні дані моделі повинні бути включені наступні дані:

- розміщення робочих місць користувачів мережі;
- можливі місця розташування комунікаційних пристроїв;
- шляхи проходження кабельних каналів (вони дозволять визначити вартість створення зв'язку між кожною парою вузлів мережі);
- використовувані мережеві технології, що визначають можливий набір пропускних здатностей каналів зв'язку (вибір мережевих технологій здійснюється виходячи з вимог по масштабованості, надійності, керованості, сумісності, вимог підтримки різних видів трафіку);
- опис модельного ряду комутаторів, доступних для використання при проектуванні мережі;
- мережеві додатки, які будуть використовуватися абонентами (для визначення передбачуваної інтенсивності обміну даними між абонентами мережі).

Потрібно знайти найменшу за вартістю структуру мережі, пропускні спроможності каналів зв'язку, число, розташування і моделі комунікаційних пристроїв. При цьому повинні виконуватися задані обмеження на показники ефективності функціонування мережі. Структура зв'язків повинна мати деревоподібну форму з пропускними здатностями каналів, що задовольняють можливим запитам користувачів.

З урахуванням особливостей ККОМ і обраного критерію оптимізації проведемо формалізацію задачі моделювання мережі. При складанні математичної моделі мережі використаємо підхід у якому система представляється у вигляді об'єкта з вхідними сигналами, вихідними сигналами, управляючими сигналами і системою обмежень. У разі подання ККОМ у вигляді такої математичної моделі вхідними будуть параметри мережі, описані вище. Вихідними параметрами будуть показники надійності,

продуктивності і вартості мережі. Керуючими параметрами, тобто параметрами, які ми можемо міняти при проектуванні, впливаючи при цьому на вихідні параметри, будуть параметри, що визначають структуру мережі.

Опишемо структуру ККОМ неорієнтованим графом $G = (V, R)$ де V – множина вершин графа, відповідних вузлів мережі; R – множина ребер графа, що відповідають каналам зв'язку мережі. Множина V складається з двох непересічних підмножин $V = V_A \cup V_K$, де V_A – множина абонентів мережі; V_K – множина комутаційних пристроїв мережі [19].

2.3 Розподіл вхідних параметрів

Вхідні параметри мережі розділимо на три групи:

- 1) параметри, що характеризують вузли мережі;
- 2) параметри, що характеризують канали зв'язку;
- 3) параметри, що описують використовувані моделі комутаторів.

До першої групи параметрів віднесемо наступні:

- загальне число вузлів мережі – n ($V = \{v_i, i = \overline{1, n}\}$), причому в число вузлів мережі входять як абоненти мережі, так і всі передбачувані місця розміщення комутаторів, тобто $n = n_A + n_K$, де n_A – число абонентів мережі або потужність множини V_A , n_K – число комутаторів мережі або потужність множини V_K ;
- число різних мережевих пристроїв i -го абонента мережі з різними мережевими адресами – m_i (наприклад, якщо абонент представляє собою ЛОМ з m_i ПЕОМ);
- інтенсивність інформаційних потоків пакетів даних між вузлами мережі (практично в офісній мережі це потоки між робочими станціями і серверами ККОМ) – $\Lambda = (\lambda_{ij}), i, j = \overline{1, n}$ описана квадратно. симетричною матрицею порядку n , елементи якої представляють собою передбачувану середню інтенсивність інформаційного потоку в пакетах між вузлами v_i і v_j (якщо між будь-якими двома абонентами інформаційний обмін не

передбачається, то відповідний елемент матриці дорівнює нулю; розрахунок передбачуваних інтенсивностей інформаційного обміну проводиться на основі інформації про мережеві додатки, з якими працюють абоненти мережі);

- множина швидкостей передачі, підтримуваних вузлом $v_i \in V_A$ – це підмножина $W_i = \{w_{ij} \in W, j \leq \text{card}(W)\}$ множини W , що включає всі допустимі в ККОМ швидкості передачі (w_{ij} визначаються набором мережевих технологій, підтримуваних i -м абонентом).
- множина моделей комутаторів, дозволених в даній ККОМ – $H = \{h_k, k = \overline{1, \text{card}(H)}\}$.

До другої групи параметрів швидкості і вартості каналів зв'язку:

- множина можливих швидкостей $W = \{w_j\}$, на яких може вестися передача даних. Швидкості вибираються в залежності від допустимих мережевих технологій (наприклад, якщо при проектуванні мережі використовується сімейство технологій Ethernet, то швидкості передачі становитимуть 10 Мбіт/с, 100 Мбіт/с, 1 Гбіт/с, а якщо при проектуванні цієї ж мережі використовується технологія Token Ring, то в множину W додаються швидкості 4 Мбіт/с, 16 Мбіт/с);
- вартості створення каналів зв'язку опишемо сімейством квадратних матриць $C^{(j)} = (c_i^{(j)})$, $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, \text{card}(W)}$, в якому кожна матриця відповідає певній швидкості передачі (тип каналу зв'язку, а, отже, і його вартість, залежить від мережевої технології, яка використовує даний канал зв'язку, тобто вартість створення каналів зв'язку повинна задаватися для кожної мережевої технології, яка використовується при проектуванні мережі, ідентифікованою швидкістю передачі; вартість каналу залежить від довжини каналу зв'язку, кабельної траси, по якій

проходить канал, категорії використовуваного кабелю, матеріалу, з якого виготовлений кабель і т.п.; якщо між окремими елементами мережі зв'язок неможливий (наприклад, через відсутність кабельної траси), то вважається, що вартість зв'язку дорівнює ∞ [2].

Також кожен k -у модель комутатора $h_k \in H, k = \overline{1, \text{card}(H)}$, опишемо такими параметрами, які складають третю групу параметрів:

- вартість k -ої моделі комутатора – $c_k^{(H)}$;
- загальна кількість портів k -ої моделі комутатора – $m_k^{(H)}$;
- можливість об'єднання комутаторів k -ої моделі в стек визначається булевою змінною $\zeta_k^{(H)}$, що дорівнює 1, якщо підключення в стек підтримується і рівною нулю при відсутності підтримки;
- середня довжина кадру в бітах для k -ої моделі комутатора – $\lambda_k^{(H)}$;
- максимальна швидкість просування кадрів k -ої моделі – $v_k^{(H)}$;
- пропускна здатність системної шини k -ої моделі – $\gamma_k^{(H)}$;
- число портів k -ої моделі, що працюють зі швидкістю W_j – $\pi_k^{(H)}$;
- можливість агрегування зв'язків характеризується булевою змінною $\beta_k^{(H)}$, що дорівнює 1, якщо комутатор підтримує агрегування зв'язків і рівною нулю при відсутності підтримки;
- розмір адресної таблиці k -ої моделі комутатора – $M_k^{(H)}$.

До цієї ж групи параметрів віднесемо розмір середньої довжини пакета в мережі, який позначимо як $\lambda^{(p)}$.

2.4 Опис керуючих і вихідних параметрів

Опишемо керуючі параметри, що визначають структуру мережі, наступними трьома групами.

Параметри, що визначають топологію мережі, зосередимо в квадратній симетричній матриці $X = (x_{ij}), i, j = \overline{1, n}$. Елемент матриці x_{ij} дорівнює числу однотипних каналів зв'язку між відповідними вузлами, при цьому необхідно враховувати, що установка декількох каналів зв'язку між двома вузлами мережі допускається тільки в разі підтримки обома вузлами технології агрегування зв'язків.

Пропускні спроможності каналів зв'язку визначатимемо за допомогою матриці ідентифікаторів швидкостей передачі каналів зв'язку $Z = (z_{ij}), i, j = \overline{1, n}$, елементи якої дорівнюють швидкості передачі одного каналу зв'язку між відповідними вузлами, при цьому сумарна швидкість, з якою можуть передаватися дані між цими вузлами, становитиме $z_{ij}^{(\Sigma)} = x_{ij} * z_{ij}$.

Третя група параметрів пов'язана з варіюванням моделями комутаторів. Тут кожному елементу множини V_k ставиться у відповідність один з елементів множини моделей H : $V_k = \{v_k^{(K)}, v_k^{(K)} \in H\}$.

До вихідних параметрів мережі віднесемо сумарні витрати на створення мережі, затримку передачі пакета даних між кожною парою абонентів і показник надійності мережі. Вихідними параметрами мережі будемо вважати такі показники:

- 1) сумарні витрати на створення мережі, які включають в себе витрати на створення телекомунікаційної інфраструктури і витрати на використовувані комутаційні пристрої:

$$C_{\Sigma} = \sum_{v_k^{(K)} \in V_k^{(K)}} C_{v_k^{(K)}}^{(H)} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n x_{ij} * c_i^{(j)}, \quad (2.1)$$

- 2) затримка передачі пакета між кожною парою абонентів. Для розрахунку затримок в комунікаційних мережах широкого поширення набула модель мережі масового обслуговування. Відповідно до цієї моделі середня затримка пакета в віртуальному

каналі зв'язку між вузлами p і q буде розраховуватися таким чином:

$$t_{pq}^{(r)} = \left(\frac{z_{pq}^{(\Sigma)}}{1^{(p)}} - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n d_{ij}^{(pq)}(X) \lambda_{ij} \right)^{-1}, \quad (2.2)$$

де булева змінна $d_{ij}^{(pq)}$ залежить від топології мережі і приймає значення 1 тільки в разі, якщо ребро $r_{ij} \in \pi_{pq}$; $\pi_{pq} \in \Pi$ – шлях від вершини v_p до вершини v_q ; Π – множина всіх можливих шляхів на графі $G(V, R)$. Сумарна затримка просування пакета в комутаторах на шляху π_{pq} буде дорівнювати:

$$t_{pq}^{(K)} = \sum_{v_k^{(K)} \in V_k^{(K)}} (V_{v_k^{(K)}}^{(H)})^{-1} * f_{v_k^{(K)}}^{(pq)}(X), \quad (2.3)$$

де булева змінна $f_{v_k^{(K)}}^{(pq)}$ дорівнює 1 тоді і тільки тоді, коли відповідний комутатор входить до складу шляху π_{pq} . Тоді з (2.2) і (2.3) визначається повна затримка передачі пакета на шляху π_{pq} :

$$t_{pq}^{(\Sigma)} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n-1} d_{ij}^{(pq)} t_{ij}^{(r)} + t_{pq}^{(K)}. \quad (2.4)$$

В якості показника надійності мережі будемо використовувати число мережевих пристроїв, які відключаються від основної мережі при відмові одного каналу зв'язку: $m_i^a(V_{ij}^{is})$, V_{ij}^{is} – множина вузлів, які відключаються від основної мережі при відмові каналу зв'язку r_{ij} [4].

2.5 Формалізація математичної моделі

Використовуючи описані вхідні, вихідні та керуючі параметри, сформулюємо обмеження моделі.

Обмеження на пропускну здатність каналу зв'язку. Швидкість передачі будь-якого з каналів зв'язку в мережі повинна бути достатньою для передачі сумарного трафіку всіх шляхів передачі, в які входить цей канал зв'язку. Тоді обмеження на швидкість передачі каналу зв'язку r_{pq} має вигляд:

$$Z_{pq} \geq x_{pq}^{-1} * \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n d_{ij}^{(pq)}(X) * \lambda_{ij} * 1^{(p)}, \quad (2.5)$$

і має виконуватися для кожного з каналів зв'язку в мережі.

Обмеження на затримку передачі пакета можна представити як:

$$t_{pq}^{\Sigma} \leq t_{max}^{\Sigma}, \quad (2.6)$$

де t_{max}^{Σ} – допустимий час затримки передачі пакету.

Обмеження на продуктивність комутаторів пов'язані з максимальною продуктивністю (в кадрах) комутатора h_k :

$$V_k^{(H)} \geq \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \lambda_{ij} * f_k^{(ij)}(X). \quad (2.7)$$

Обмеження на максимальну продуктивність системної шини комутатора h_k матиме вигляд:

$$\gamma_k^{(H)} \geq \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \lambda_{ij} * 1^{(p)} * f_k^{ij}(X). \quad (2.8)$$

Обмеження на загальне число портів комутаторів $m_k^{(H)}$ полягає в тому, що їх повинно бути не менше, ніж число каналів зв'язку що підключаються, тобто [6]:

$$m_k^{(H)} \geq \sum_{i=1}^n x_{ik}. \quad (2.9)$$

Введемо булеву змінну $\xi_{ij}(W_s)$, рівну 1 тільки тоді, коли канал зв'язку r_{ij} працює на швидкості W_s і рівну нулю при будь-якій іншій швидкості. Тоді для кожного значення швидкості W_s число портів комутатора R_k , що працюють на цій швидкості, не повинно перевищувати максимального значення:

$$\sum_{i=1}^n y_{ip} d'_{ip}(q_j) \leq m_p^c(q_j), j = \overline{1, n_q}; \sum_{i=1}^n x_{ik} \xi_{ik}(W_s) \forall j. \quad (2.10)$$

Для опису обмеження на розмір адресної таблиці комутаторів виділимо множину $\Pi' \subseteq \Pi$, елементами якої є шляхи π'_{ij} передачі ненульового трафіку, тобто $\pi_{ij} \in \Pi'$, якщо $\lambda_{ij} \neq 0$. визначимо також множину $U = \{u_i^{(k)}\}$, елемент $u_i^{(k)}$ якого дорівнює 1 тільки в тому випадку, якщо i -й абонент використовує комутатор h_k для передачі даних будь-якому іншому абоненту. Тоді обмеження на розмір адресної таблиці комутатора k_s запишеться у вигляді:

$$\sum_{v_k^{(k)} \in V_k^{(k)}} u_{v_k^{(k)}}^{(k)} \leq M_{v_k^{(k)}}^{(H)}. \quad (2.11)$$

Обмеження на топологію мережі впливають з вимог деревоподібності мережі. У графі мережі не повинно бути ізольованих вершин:

$$\forall(i, j) \exists \pi_{ij} \in \Pi, \pi_{ij} \neq 0, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}, i \neq j. \quad (2.12)$$

У структурі мережі не повинно бути циклів:

$$\forall(i, j) \exists \text{ тільки один } \pi_{ij} \in \Pi, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}, i \neq j. \quad (2.13)$$

Обмеження надійності запишемо як:

$$m_i^a(V_{ij}^{is}) \leq n_{max}^a, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}, i \neq j, \quad (2.14)$$

де n_{\max}^a – максимально допустима кількість пристроїв, які відключаються при одиничному обриві в мережі.

Тепер можна перейти до визначення цільової функції і до остаточного формулювання математичної моделі.

Рішенням задачі оптимізації компактної корпоративної (кампусної) обчислювальної мережі є граф:

$$G^* = \arg(\min E(G'))_{G' \in \Gamma}, \quad (2.15)$$

де Γ – множина всіх можливих структур проектованої мережі, для яких виконуються обмеження (2.5) - (2.15); $E(G')$ – функція сумарних витрат на створення мережі (2.1).

Отримана математична модель з цільовою функцією (2.15) і обмеженнями (2.5) - (2.14) дозволяє визначити структуру компактної корпоративної обчислювальної мережі, що входить до складу територіально розподіленої ВКОМ, яка враховує специфіку даної мережі і з найменшими витратами задовольняє необхідним характеристикам [8].

2.6 Потоківі моделі маршрутизації

У даній роботі в ході досліджень порівняльному аналізу будуть піддаватися такі основні п'ять поточкових моделей маршрутизації:

- 1) Модель односторонньої маршрутизації, заснована на пошуку найкоротшого шляху з мінімальним числом стрибків, як у RIP v1.
- 2) Модель багатосторонньої маршрутизації, яка підтримує балансування навантаження на шляху однакової вартості (однакової довжини). У цьому випадку розв'язання задачі маршруту зводиться до вирішення задачі лінійного програмування шляхом мінімізації цільової функції:

$$f = c^t x, \quad (2.16)$$

де c – вектор коефіцієнтів значень (метричних коефіцієнтів) розмірності n , координати якого дорівнюють одиниці, тобто $c_{i,j} = 1$ ($i, j = \overline{1, m}; i \neq j$); n – кількість шляхів передачі; m – кількість мережевих вузлів у мережі; x – шуканий вектор, координата $x_{i,j}$ якого моделює значення інтенсивності трафіку ($1/c$) на шляху передачі (i, j).

Відповідно до розв’язуваної задачі на координати вектора x накладається система обмежень, що моделює умови збереження потоку в кожному з мережних вузлів у мережі у цілому:

$$\begin{cases} \sum_{j:(i,j)} x_{i,j} - \sum_{j:(j,i)} x_{j,i} = 0 & \text{– для транзитних вузлів;} \\ \sum_{j:(i,j)} x_{i,j} - \sum_{j:(j,i)} x_{j,i} = r_{\text{вх}} & \text{– для вузла – відправника;} \\ \sum_{j:(i,j)} x_{i,j} - \sum_{j:(j,i)} x_{j,i} = -r_{\text{вх}} & \text{– для вузла – отримувача,} \end{cases} \quad (2.17)$$

де $r_{\text{вх}}$ – інтенсивність трафіка на вході мережі [10].

- 3) Модель багатосторонньої маршрутизації на основі метрики IGRP та забезпеченні балансування навантаження для шляхів з неоднаковим значенням (довжиною). Дана модель представлена виразами (2.16) - (2.18) за винятком того, що метрики шляху передачі в протоколі IGRP, які відповідають координатам вектора c у виразі (2.16), є значеннями пропускну здатності шляху передачі:

$$c_{i,j} = 10^7 / \varphi_{i,j} \quad (i, j = \overline{1, m}; i \neq j). \quad (2.18)$$

Крім того, з метою формалізації умов запобігання перевантаженням шляху передачі поряд з виразом (2.17) вводяться додаткові обмеження вигляду:

$$x_{i,j} \leq \varphi_{i,j} \quad (i, j = \overline{1, m}; i \neq j), \quad (2.19)$$

де $\varphi_{i,j}$ – пропускна здатність тракту передачі (1/с).

- 4) Модель багатосторонньої маршрутизації, запропонована Галлагером, у рамках якої розв’язання маршрутної задачі зводиться до розв’язання задачі нелінійного програмування із забезпеченням мінімуму такої цільової функції:

$$f = \max_{(i,j)} \{x_{i,j} / \varphi_{i,j}\}. \quad (2.20)$$

Використання виразу (2.20) гарантує мінімізацію максимального коефіцієнта використання всіх трактів передачі в мережі. Також необхідно виконувати умову збереження потоку:

$$\gamma_{i,j} = r_{i,j} + \sum_{k \in M^i} \gamma_{k,j} \phi_{j,i}^k \text{ при } \sum_{j \in M} \gamma_{i,j} \phi_{j,k}^i = x_{i,k}, \quad (2.21)$$

де M^i – множина сусідніх вузлів вузлу i ; $r_{i,j}$ – інтенсивність вхідного потоку (1/с), що надходить від користувачів до вузла i для вузла j ; $\gamma_{i,j}$ – сума вхідного потоку й потоку, що надходить до вузла i від сусідніх вузлів для вузла j ; $\phi_{j,k}^i$ – маршрутна змінна, тобто частина потоку $\gamma_{i,j}$, яку відправляє вузол i по тракту (i,k) . На маршрутні змінні накладаються такі умови [12]:

$$\phi_{j,k}^i = \begin{cases} 0, & \text{якщо } i = j; \\ \geq 0, & \text{якщо } i \neq j, \end{cases} \text{ та } \sum_{k \in M^i} \phi_{j,k}^i = 1. \quad (2.22)$$

Через обмежену пропускну здатність шляхів передачі в п’ятій моделі враховується обмеження (2.19).

- 5) Модель багатосторонньої маршрутизації Галлагера (2.20) – (2.22), яка отримала свій розвиток шляхом введення умов забезпечення гарантованої якості обслуговування за показниками швидкості передачі пакетів, середньої затримки та ймовірності своєчасної доставки.

3 ПРОЕКТУВАННЯ КОРПОРАТИВНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ КОМПЛЕКСНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

3.1 Математичні моделі комутаторів

Головною характеристикою будь-якого комутатора є час передачі кадру з вхідного «проводу» в вихідний, що при розгляді комутатора як системи масового обслуговування являє собою час проходження заявки через систему. Від цього часу залежать і продуктивність комутатора, і необхідний обсяг буферної пам'яті його портів, і ймовірність відкидання кадру в разі переповнення черг, організованих в буферах і т.п. Найбільш важливими факторами часу передачі кадру є: число портів комутатора і співвідношення їх пропускних здатностей; ступінь завантаження комутатора, тобто число активних вузлів мережі, трафік яких проходить через даний комутатор; інтенсивність потоків кадрів від цих вузлів і т.д. Складність виявлення ступеня впливу всіх можливих факторів на час передачі кадрів, перш за все, полягає в необхідності вимірювань дуже малих тимчасових інтервалів. У комутаторах фірми Kalpana значення часу комутації 40 мкс для ненавантаженого комутатора, тобто такого, у якого в даний момент активними є тільки два вузли мережі (передаючий комп'ютер і приймаючий). Продуктивність сучасних комутаторів зросла приблизно на 2 порядки, тобто значення часу передачі кадрів лежать в наносекундному діапазоні (для Gigabit Ethernet один біт-тайм становить одну наносекунду). Складність виміру настільки малих значень посилюється проблемою синхронізації і визначення меж полів всередині кадру, тобто вимірювальна апаратура повинна відповідати протоколам як мінімум каналного рівня еталонної моделі ISO / OSI. Ці ідеї реалізовані в протоколі SNMP (Simple Network Management Protocol) за допомогою об'єктів MIB (Management Information Base), значення яких запитуються у агентів, що спостерігають за пристроєм. Однак серед груп об'єктів найсучаснішої версії MIB (RMON 2), на жаль, відсутні ті, які дозволили б безпосередньо вимірювати час передачі кадрів комутаторами з

одного «проводу» в інший. Тому в цій роботі було вирішено визначати цю характеристику методом непрямих вимірювань, а саме:

- попередньо вимірювати час проходження кадру між двома комп'ютерами, мережеві адаптери яких з'єднані кросовим зв'язком по витій парі, тобто комутатор між комп'ютерами відсутній;
- підключити мережеві адаптери двох комп'ютерів до портів комутатора і знову вимірювати час проходження кадру між ними;
- визначити час передачі комутатором кадру з одного «проводу» в інший по різниці між двома значеннями часу проходження кадру від комп'ютера-відправника до комп'ютера-отримувача [14].

При реалізації даної схеми виникають проблеми синхронізації функціонування комп'ютера-відправника і комп'ютера-отримувача. Ця проблема може бути вирішена шляхом вимірювань, що проводяться тільки комп'ютером-відправником, тобто з боку комп'ютера-отримувача здійснюється прийом переданого йому кадру, перенаправлення кадру (реалізованого перестановкою MAC-адрес відправника і отримувача в заголовку кадру і перестановкою IP-адрес в заголовку IP-пакета) і його повернення комп'ютеру-відправнику. Кожен кадр при цьому проходить весь тракт обміну інформацією двічі (аналогічна картина має місце при виконанні команди «ring», широко використовується при тестуванні мереж). Цілком очевидно, що отримані результати будуть мати випадковий характер. Це пояснюється випадковістю в зміщенні інтервалів тактових генераторів комп'ютерів і комутаторів як для власних процесорів, так і для шин, які керують роботою оперативної пам'яті (буферної пам'яті мережевих адаптерів комп'ютерів і портів комутаторів), режимом роботи операційної системи, встановленої на комп'ютерах (наприклад, наявністю або відсутністю фільтрації пакетів на брандмауерах ОС, пріоритетністю обробки переривань і т.п.), апаратно-програмною реалізацією тракту TCP / IP і т.д. Тому результати вимірювань можуть бути представлені тільки в традиційній статистичній

формі (математичного сподівання, других моментів, щільності розподілу і т.п.). З огляду на все описане, пропонується наступний план проведення експериментів:

- 1) визначення часу проходження кадрів між двома комп'ютерами при кросовому з'єднанні їх мережевих адаптерів, що дозволить визначити всі тимчасові затримки проходження пакетів через TCP/IP тракти комп'ютера-відправника і комп'ютера-отримувача, а також по самому середовищі передачі фізичного сигналу.
- 2) визначення часу передачі кадрів ненавантаженими комутаторами, до портів яких підключені лише комп'ютер-відправник і комп'ютер-отримувач. В цьому випадку таблиця комутації мінімальна за обсягом, відсутні черги в буферах портів, що дозволяє визначати граничні характеристики комутатора для різних довжин пакетів при обміні інформацією. Опорні результати повинні бути отримані для пакетів таких же довжин.
- 3) визначення часу передачі кадрів каскадом (ланцюжком) ненавантажених комутаторів для тих же довжин пакетів і по тій же методиці, що і пункт 2.
- 4) визначення часу передачі кадрів навантаженим комутатором шляхом підключення комп'ютера-відправника і комп'ютера-отримувача до вільних портів одного з комутаторів, що функціонують в корпоративній мережі.
- 5) визначення часу передачі кадрів каскадом навантажених комутаторів шляхом підключення комп'ютера-відправника і комп'ютера-отримувача до вільних портів різних комутаторів корпоративної мережі.

Наведені далі результати отримані для комп'ютерів (відправник і отримувач) з характеристиками: процесор Intel Core i7, 3,7 ГГц; частота шини 100 МГц; обсяг оперативної пам'яті 8 Гб; обсяг жорсткого диска 120 Гб; тип підключення жорсткого диска SATA; мережева карта, що підтримує стандарт

100Base-T на базі чіпсета Intel 82801BA/CAM Pro 100/Ethernet; операційна система Windows 10 version 1809.

Для дослідження використовувався модернізований набір програмних продуктів, що реалізують ехо-запит/ехо-відповідь утиліти «ping». Модернізація стосувалась визначенням часу проходження по мережі, який вимірюється утилітою в мілісекундах. При швидкості передачі інформації по мережі 100 Мбіт/с відповідно до стандарту Fast Ethernet за 1 мс проходить 10^5 bt (біт-таймів), що еквівалентно 12500 байт. Очевидно, що подібна шкала вимірювання при дослідженні затримки на комутаторі використана бути не може, так як час проходження кадрів максимального розміру (1500 байт) технології Ethernet становить всього 15 мкс. Тому в якості одиниці виміру було вибрано час одного такту роботи процесора комп'ютера-відправника. Тактова частота роботи процесора комп'ютерів, що використовуються для експерименту становить 3,7 ГГц, що відповідає тривалості одного такту $T_1 \approx 1,3$ нс або T_1 становить 13% тривалості біт-тайму; ($1 \text{ bt} \approx 7,65T_1$) [16].

Експерименти проводилися для кросового з'єднання, а також для комутаторів Catalyst 2950G-24-EI фірми Cisco, Office Connect Dual Speed Switch 16 Plus фірми 3Com і DES-1026G фірми D-Link. Утиліта «ping» реалізується у всіх сучасних ОС протоколом ICMP (Internet Control Message Protocol), який відстежує пересування пакета по мережі і при його відкиданні передає повідомлення вузлу-відправнику. ICMP-пакет інкапсулюється в IP-пакет і включає в себе 8-байтний заголовок і тіло ICMP-повідомлення. Розмір ICMP-пакету в байтах (включаючи 8-байтний заголовок) вказується серед ключів утиліти «ping». Структура ICMP-пакета приведена на рис. 3.1.

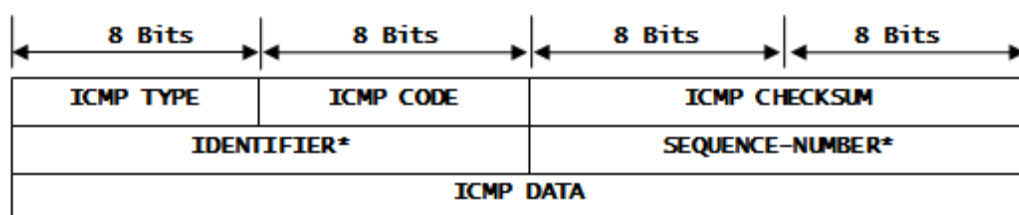


Рисунок 3.1 – Структура ICMP-пакета

Таким чином, довжина ICMP-пакета L в сукупності з 20 байтами заголовка IP-пакета дають розмір «корисної» інформації в Ethernet-кадрі (від 46 до 1500 байт), отже, довжина кадру становить $L_k = L + 20 + 18 = L + 38$ байт без урахування довжини преамбули кадру розміром 8 байт. У припущенні залежності затримки комутатора від довжини кадру опорний експеримент для кросового з'єднання комп'ютерів був проведений для кількох довжин ICMP-пакетів. У табл. 3.1 наведені результати середнього часу обороту (RTT -Round Trip Time) для 5 експериментів для кожного значення L .

Таблиця 3.1 – Результати вимірювання RTT

| № | L , байт | L_k , байт | RTT, такти процесора | RTT, біт-тайм | RTT, байт |
|---|------------|--------------|----------------------|---------------|-----------|
| 1 | 64 | 102 | 219082 | 28676 | 3584 |
| 2 | 128 | 166 | 230165 | 30126 | 3766 |
| 3 | 256 | 294 | 248608 | 32540 | 4067 |
| 4 | 512 | 550 | 285873 | 37418 | 4577 |
| 5 | 1024 | 1062 | 354832 | 46444 | 5805 |

Статистична обробка результатів дозволила визначити рівень середньоквадратичного відхилення $\sigma \approx 1700$ біт.

З даних табл. 3.1 явно показана залежність значень RTT опорного експерименту від довжини кадру, що пояснюється багаторазовою буферизацією пакета в оперативній і буферній пам'яті мережевих адаптерів апаратно-програмних трактів TCP/IP комп'ютера-відправника і комп'ютера-отримувача.

У табл. 3.2 наведені результати вимірювання RTT для тих же довжин пакетів при з'єднанні комп'ютерів через комутатор Catalyst 2950G-24-EI для 5 експериментів. Затримка на комутаторі T_S обчислювалася як різниця між значеннями RTT для комутатора і RTT опорного експерименту.

Таблиця 3.2 – Результати вимірювання RTT через комутатор Catalyst 2950G-24-EI

| № | L _к , байт | RTT, такти процесора | RTT, біт-тайм | T _s , біт-тайм | T _s , байт |
|---|-----------------------|----------------------|---------------|---------------------------|-----------------------|
| 1 | 102 | 240960 | 31531 | 1428 | 179 |
| 2 | 166 | 260243 | 34054 | 1964 | 246 |
| 3 | 294 | 293602 | 38419 | 2940 | 368 |
| 4 | 550 | 355940 | 45557 | 4080 | 510 |
| 5 | 1062 | 486099 | 63609 | 8583 | 1073 |

Результати, наведені в табл. 3.2, отримані при під'єднанні комп'ютерів до 1-го і 2-го порту комутатора. З метою виявлення впливу конструктивних особливостей комутатора були проведені аналогічні вимірювання для підключення комп'ютерів до 1-го і 24-го (останнього) порту. Зміна значення T_s виявилася менше 5% для кожної з довжин пакетів. Результати відповідних експериментальних досліджень для комутатора D-Link представлені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати вимірювання RTT через комутатор D-Link DES-1026G

| № | L _к , байт | RTT, такти процесора | RTT, біт-тайм | T _s , біт-тайм | T _s , байт |
|---|-----------------------|----------------------|---------------|---------------------------|-----------------------|
| 1 | 102 | 247376 | 32371 | 1847 | 231 |
| 2 | 166 | 266091 | 34820 | 2348 | 294 |
| 3 | 294 | 300137 | 39275 | 3367 | 421 |
| 4 | 550 | 359351 | 47090 | 4836 | 604 |
| 5 | 1062 | 492356 | 64428 | 8992 | 1124 |

Аналогічні результати отримані і при комутуванні через 1-й і 24-й порт. У табл. 3.4 наведені результати вимірювань RTT для комутатора фірми 3Com (1-й і 2-й порт).

Таблиця 3.4 – Результати вимірювання RTT через комутатор 3Com Office Connect Dual Speed Switch 16 Plus (1-й і 2-й порт)

| № | L _к , байт | RTT, такти процесора | RTT, біт-тайм | T _s , біт-тайм | T _s , байт |
|---|-----------------------|----------------------|---------------|---------------------------|-----------------------|
| 1 | 102 | 234363 | 30668 | 996 | 124 |
| 2 | 166 | 253504 | 33172 | 1523 | 190 |
| 3 | 294 | 288589 | 37764 | 2612 | 327 |
| 4 | 550 | 354516 | 46390 | 4486 | 560 |
| 5 | 1062 | 486600 | 63674 | 8615 | 1077 |

На відміну від попередніх комутаторів для комутатора фірми 3Com використання 1-го і 16-го (останнього) порту для підключення комп'ютерів істотно змінює результати експериментів, що видно з порівняння табл.3.4 і 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати вимірювання RTT через комутатор 3Com Office Connect Dual Speed Switch 16 Plus (1-й і 16-й порт)

| № | L _к , байт | RTT, такти процесора | RTT, біт-тайм | T _s , біт-тайм | T _s , байт |
|---|-----------------------|----------------------|---------------|---------------------------|-----------------------|
| 1 | 102 | 244918 | 32049 | 1686 | 211 |
| 2 | 166 | 263580 | 34491 | 2182 | 273 |
| 3 | 294 | 300298 | 39296 | 3378 | 422 |
| 4 | 550 | 360560 | 47181 | 4882 | 610 |
| 5 | 1062 | 496298 | 64943 | 9250 | 1156 |

Аналіз залежності затримки T_s на вільних комутаторах від довжини кадру дозволяє зробити висновок про те, що у всіх трьох типах комутаторів використовується комутація з буферизацією, при цьому явно простежується майже лінійна залежність T_s від L_к, тому в подальшому будемо вважати, що:

$$T_s = AL_K + B, \quad (3.1)$$

де A і B можуть бути знайдені за методом найменших квадратів в результаті рішення для даних кожної таблиці наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} A \sum_{i=1}^5 L_{K_i}^2 + B \sum_{i=1}^5 L_{K_i} = \sum_{i=1}^5 L_{K_i} T_{S_i}; \\ A \sum_{i=1}^5 L_{K_i} + B5 = \sum_{i=1}^5 T_{S_i} \end{cases} \quad (3.2)$$

В результаті обробки отримані наступні значення А і В для досліджуваних комутаторів:

$A = 0,922$; $B = 87$ – для комутатора Cisco Catalyst 2950G;

$A = 0,918$; $B = 135$ – для комутатора D-Link DES-1026G;

$A = 0,987$; $B = 27$ – для комутатора 3Com Office Connect Dual Speed Switch 16 Plus (1-й і 2-й порт);

$A = 0,973$; $B = 118$ – для комутатора 3Com Office Connect Dual Speed Switch 16 Plus (1-й і 16-й порт).

Значення В наведені в байтах, відповідно, при розрахунках значення затримки на комутаторах довжину кадру в формулу (3.1) потрібно підставляти також в байтах. Для перерахунку значення T_s в біт-тайми потрібно помножити отримані значення на 8, а для подальшого переведу в секундний діапазон – на час одного біт-тайму обраної швидкості обміну інформацією. Таким чином, двочленні математичні моделі (T_s в байтах) досліджуваних комутаторів для ненавантажених режимів виходять в наступному вигляді:

$$T_s = 0,922L_K + 87 \quad (3.3)$$

- для комутатора Cisco Catalyst 2950G;

$$T_s = 0,918L_K + 135 \quad (3.4)$$

- для комутатора D-Link DES-1026G;

$$T_s = 0,987L_K + 27 \quad (3.5)$$

- для комутатора 3Com Office Connect Dual Speed Switch 16 Plus (1-й і 2-й порт);

$$T_S = 0,973L_K + 118 \quad (3.6)$$

- для комутатора 3Com Office Connect Dual Speed Switch 16 Plus (1-й і 16-й порт).

Відмінність значень A від одиниці у всіх математичних моделях пояснюється частковою конвеєризацією обробки кадрів, при якій передача в вихідний порт починається до завершення повного прийому кадру в буфер вхідного порту. Також можна зауважити, що явна залежність затримки кадрів в комутаторі фірми 3Com від номерів комутуваних портів свідчить про двоступеневу ієрархію конструкції цього комутатора, відповідно до якої всі порти діляться на групи. У середині кожної групи комутація здійснюється швидше, ніж при комутації портів, що входять в різні групи.

Перевірка достовірності отриманих математичних моделей ненавантажених комутаторів проводилася експериментальними дослідженнями каскадів комутаторів.

Послідовне з'єднання комутаторів Catalyst і 3Com (1-й і 2-й порт) для довжин кадрів 550 і 1062 байт дає розрахункове значення T_S , рівне 1163 і 2140 байт відповідно. Отримані значення для 5 експериментів становлять 1132 і 2160 байт, тобто похибка не перевищує 3%. При послідовному з'єднанні комутаторів Catalyst і 3Com (1-й і 16-й порт) і для тих же довжин кадрів розрахункові значення рівні 1247 і 2217 байт, а експериментальні значення – 1191 і 2253 байт, тобто похибка менше 5%.

Для каскадного з'єднання трьох комутаторів експерименти з 5 вимірів (в комутаторі 3Com приєднувалися 1-й і 2-й порт) дозволили встановити значення затримки в 1755 і 3348 байт при довжинах кадрів 550 і 1062 байт. Розрахункові значення для тих же довжин кадрів становить 1803 і 3250 байт відповідно. при комутації 1-го і 16-го порту комутатора 3Com експериментальні затримки виявилися рівними 1795 і 3407 байт, а розрахункові значення – 1887 і 3327 байт при тих же довжинах кадрів, тобто у всіх випадках каскадування відмінності між експериментальними значеннями

і значеннями, які розраховуються за формулами (3.3) - (3.6), не перевищували 5%.

Розміри таблиць комутації із зазначенням MAC-адрес і номерів портів, до яких підключені відповідні хости мережі, впливають на час комутації незначно. Якщо в таблицях пам'яті вхідного порту відсутня інформація про те, на який порт слід передати кадр який прийшов від відправника, то відбувається звернення до таблиці комутації системного блоку комутатора. При відсутності потрібної інформації в цій таблиці здійснюється пріоритетна «заливка», тобто кадр з вхідного порту передається позачергово на всі інші порти комутатора. Подібна ситуація можлива лише при включенні комутатора і його ініціалізації або після закінчення часу «життя» записів в оперативній пам'яті вхідного порту і системного блоку. При наявності записів «заливка» відсутня і кадр передається на відповідний порт. Тому збільшення часу затримки передачі інформації при пошуку в таблицях комутації максимальних розмірів не перевищує часу затримки при передачі першого (після включення комутатора) кадру серії, яке за результатами проведених експериментів не перевищує 10%.

Отримані в результаті проведених стендових випробувань математичні моделі комутаторів були перевірені на комутаторах корпоративної мережі. Підключення комп'ютерів у вільні порти комутаторів в різних сегментах розподілених мереж показало повну ідентичність часу затримки одного комутатора (і їх каскадів) при відсутності перевантажень в мережі значенням, розрахованим за співвідношенням (3.3) - (3.6). Найбільше відхилення від розрахункових значень не перевищило 6,8% (для серій з 5 посилок ICMP-пакетів утилітою «ring»). Разом з тим більш істотні відмінності мали місце при тестуванні цієї програмою реально працюючих хостів, що дозволяє зробити висновок про більший вплив на показники функціонування корпоративних мереж відправників і отримувачів інформації в порівнянні з впливом режимів роботи комутаторів. Цілком обґрунтованим можна вважати твердження про

повну придатність встановлених математичних моделей для моделювання корпоративних мереж на стадіях їх проектування.

3.2 Дослідження методу локальних динамічних моделей

Метод локальних динамічних моделей, дозволяє усунути недоліки існуючих методів балансування навантаження. В його основу покладено динамічну модель маршрутизатора яка складається з функціональної і структурної моделі представлених в просторі станів.

Для опису структури мережі застосовується орієнтований зважений граф, вершини якого $V_i, i = \overline{1, N}$, моделюють вузли (якими, як правило, виступають маршрутизатори), а дуги $E_{i,j}, i, j = \overline{1, N}, i \neq j$, - канали зв'язку, де N – кількість вузлів мережі. Так, основною характеристикою вузлів є обсяг їх буферної пам'яті x_i^{\max} , а каналів зв'язку – їх пропускні спроможності $c_{i,j}$.

Динамічна функціональна модель маршрутизатора може бути представлена системою диференційно-різницевих рівнянь в дискретні моменти часу $t_k, k = 0, 1, \dots$, з інтервалом дискретизації $\Delta t = t_{k+1} - t_k$. В якості змінних станів виберемо величини завантаження буфера на маршрутизаторі тим трафіком, для досягнення якого використовується кілька маршрутів. В якості керуючих виберемо балансувальні змінні, які відповідають частинам пропускну здатності тих інтерфейсів маршрутизатора, між якими здійснюється балансування навантаження. Кількість рівнянь для опису роботи маршрутизатора в загальному випадку дорівнює $N-1$, а в окремому випадку з метою вирішення розподілу навантаження кількість рівнянь можна визначити через кількість отримувачів, для досягнення яких є кілька маршрутів з різною вартістю. Таким чином, динамічну модель маршрутизатора можна представити в наступному вигляді:

$$x_{i,j}(k+1) = x_{i,j}(k) - \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^N b_{i,l}(k) u_{i,l}^j(k) +$$

$$+ \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq i,j}}^N b_{m,i}(k) u_{m,i}^j + y_{i,j}(k), \quad (3.7)$$

де $x_{i,j}(k)$ – обсяг даних, що знаходяться в момент часу t_k на поточному маршрутизаторі V_i і призначених для маршрутизатора V_j , досягнення якого можливо по декількох маршрутах з різною метрикою;

$b_{i,l}(k) = c_{i,l}(k)\Delta t$, $c_{i,l}(k)$ – пропускна здатність каналу зв'язку (інтерфейсу маршрутизатора) $E_{i,l}$, через який виконується розподіл навантаження за вирахуванням пропускної здатності, вже відведеної під інші задачі;

$u_{i,l}^j(k)$ – частка пропускної здатності каналу $E_{i,l}$, виділена в момент часу t_k для передачі трафіку, призначеного маршрутизатору V_j ;

$b_{m,i}(k) = c_{m,i}(k)\Delta t$, $c_{m,i}(k)$ – пропускна здатність каналу зв'язку (інтерфейсу маршрутизатора) $E_{m,i}$, через який дані надходять від сусідніх маршрутизаторів;

$u_{m,i}^j(k)$ – частка пропускної здатності каналу $E_{m,i}$, виділена в момент часу t_k для передачі транзитного трафіку, що проходить через поточний маршрутизатор V_i і призначений маршрутизатору V_j ;

$y_{i,j}(k) = \zeta_{i,j}(k)\Delta t$, $\zeta_{i,j}(k)$ – інтенсивність надходження навантаження в момент часу t_k від абонентів мережі на вузол V_i , яка призначена для маршрутизатора V_j ; Δt – період перерахунку керуючих змінних.

На введенні змінні стану та управління накладені обмеження, з метою виключення можливості перевантаження маршрутизатора, що пов'язано з обмеженістю буферної черги на маршрутизаторі і пропускних здатностей каналів зв'язку (інтерфейсів маршрутизатора):

$$0 \leq u_{i,l}^j(k) \leq 1, \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^N u_{i,l}^j(k) \leq 1, \quad (3.8)$$

$$0 \leq x_{i,j}(k) \leq x_i^{max}, \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N x_{i,j}(k) \leq x_i^{max}, \quad (3.9)$$

де x_i^{\max} – обсяг буфера на маршрутизаторі.

Систему рівнянь (3.7) у векторно-матричному вигляді можна представити таким чином:

$$\vec{x}(k+1) = A(k)\vec{x}(k) + B(k)\vec{u}(k) + \vec{y}(k), \quad (3.10)$$

де $\vec{x}(k)$ – вектор змінних стану (обсяги буферів маршрутизатора);

$\vec{u}(k)$ – вектор змінних входу (балансування навантаження);

$\vec{y}(k)$ – вектор керованих збуджень (зовнішнього навантаження);

$B(k)$ – матриця, елементами якої відповідно до виразу (3.7) є величини $\pm b_{i,j}(k)$;

$A(k)$ – одинична матриця.

Задача розподілу навантаження в рамках наведеної моделі може бути розглянута як задача з мінімізації деякого цільового функціоналу при наявності обмежень. Для вирішення подібного роду задач на сьогоднішній день існує досить великий вибір методів. Так, в якості критерію оптимізації вибираємо мінімум квадратичного функціоналу [18]:

$$J = \sum_{k=0}^{K-1} [\vec{x}^T(k)Q\vec{x}(k) + \vec{u}^T(k)R\vec{u}(k)] \rightarrow \min, \quad (3.11)$$

де Q, R – діагональні, позитивно визначені вагові матриці, що визначаються пріоритетністю черги на маршрутизаторі і важливістю каналів зв'язку, що виходять з цього маршрутизатора; K – кількість інтервалів Δt . На рис. 3.2 представлена структурна схема роботи методу локальних динамічних моделей.

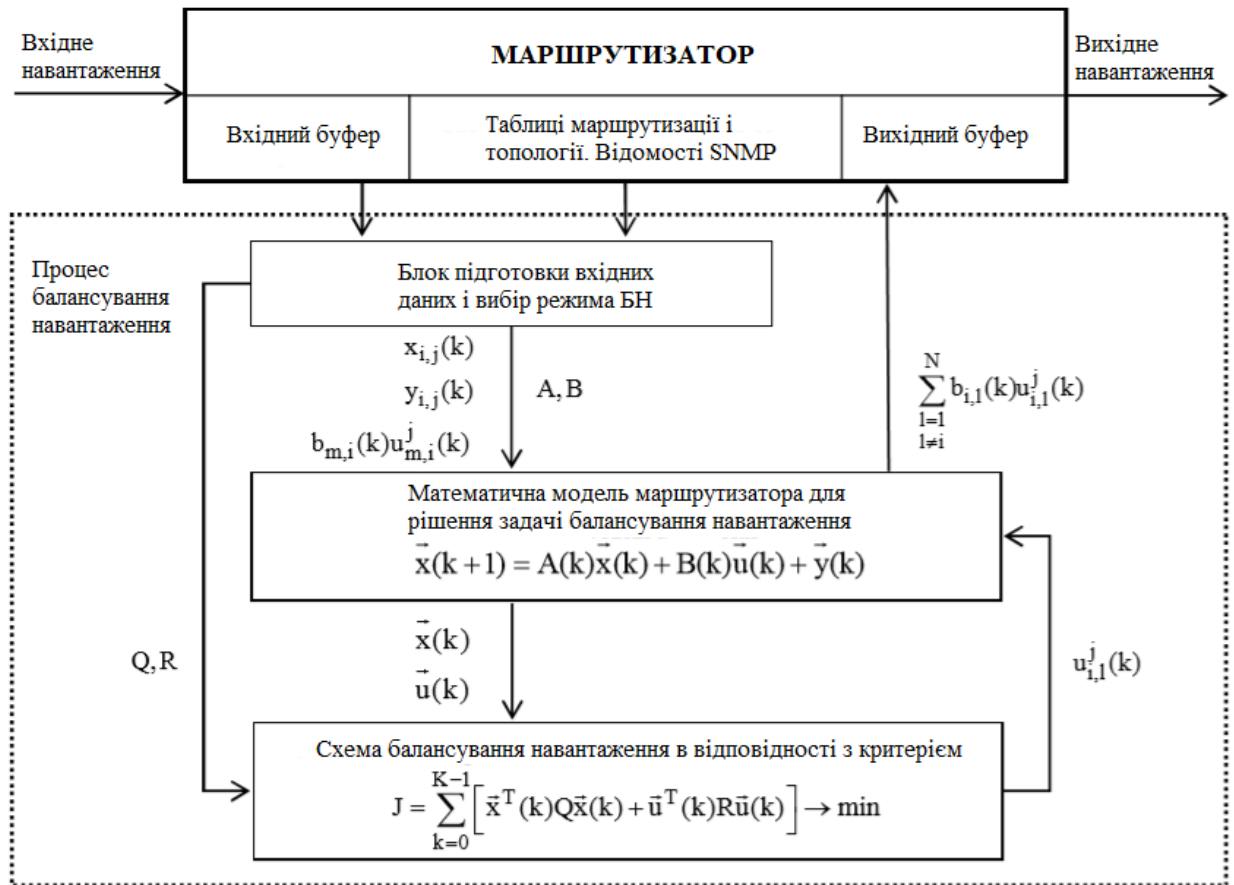


Рисунок 3.2 – Структурна схема роботи методу ЛДМ

Дослідження ефективності методу локальних динамічних моделей проводилося за допомогою моделювання на основі однопродуктової мережі, топологія якої показана на рис. 3.3.

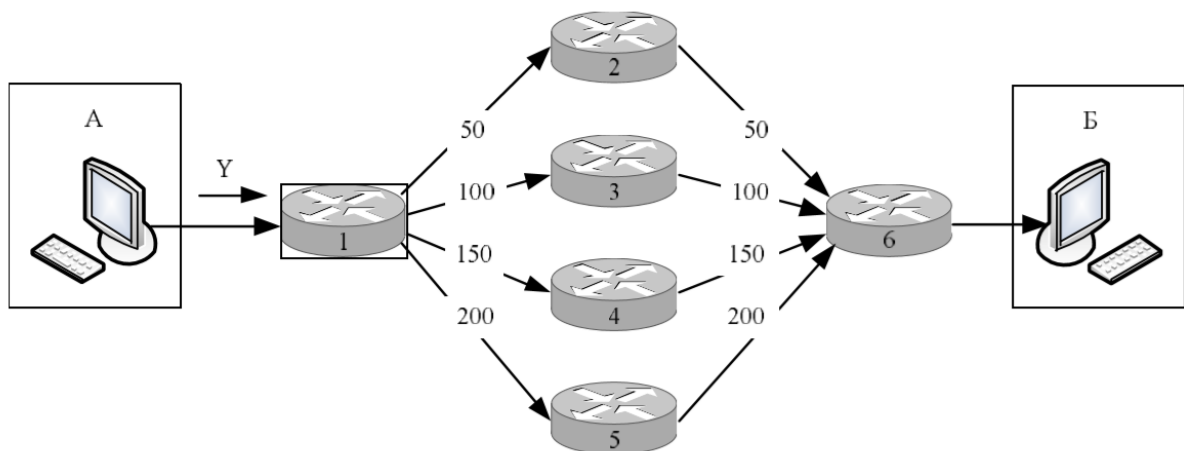


Рисунок 3.3 – Топологія мережі на основі маршрутизаторів

Мережа складається з комп'ютера-відправника А (формує поступаюче навантаження на мережу) і комп'ютера-отримувача В, 6 маршрутизаторів і 10 каналів зв'язку з відповідними величинами їх пропускних здатностей (Мб/с). При цьому функції маршрутизації в основному покладалися на маршрутизатор 1 (виділено рамкою на малюнку), який описувався запропонованою математичною моделлю (3.10) з урахуванням обмежень (3.9-3.9) і виконували балансування навантаження згідно (3.11). Час моделювання $T_M = 100$ з кроком $\Delta t = 1$ с.

Припускалось, що весь вхідний трафік спрямований від маршрутизатора 1 до маршрутизатора 6. Для зручності проведення дослідження процес надходження навантаження в мережу був детермінованим і задавався інтенсивністю надходження трафіку зі значеннями $y(k)$ які рівні 70, 170, 270, 370, 470 і 500 Мб/с. При кожному з таких значень вхідної інтенсивності, підбиралися такі елементи матриці R , при яких досягалися рівні значення елементів вектора $\vec{u}(k)$, що дозволяло досягти максимального рівномірного використання пропускної здатності вихідних каналів зв'язку $B(k)\vec{u}(k)$ і відповідно максимального значення нормованого показника продуктивності мережі за весь час моделювання R_{kn} .

З маршрутизатора 1 до маршрутизатора 6 ведуть чотири непересічних маршрути, а саме 1,2,6; 1,3,6; 1,4,6; 1,5,6. Матриці B , A , Q для маршрутизатора 1 позначимо як $B1$, $A1$, $Q1$, вони мають такий вигляд:

$$B1 = [50 \ 100 \ 150 \ 200], A1 = [1], Q1 = [1], y_{1,7}(k) = y(k). \quad (3.12)$$

Матрицю R для першого маршрутизатора позначимо $R1$, і значення її елементів підберемо таким чином, щоб досягти максимальної продуктивності мережі. У підсумку модель можна записати так:

$$x_{1,7}(k + 1) = [1] * x_{1,7}(k) - [100 \ 60] * \begin{bmatrix} u_{1,2}^7(k) \\ u_{1,3}^7(k) \\ u_{1,4}^7(k) \\ u_{1,5}^7(k) \end{bmatrix} + y_{1,7}(k). \quad (3.13)$$

Початкові умови є нульовими для векторів $x(k)$, $u(k)$ в момент часу t_0 . В рамках наведеної моделі при заданих початкових умовах були отримані результати моделювання, наведені в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Результати дослідження методу локальних динамічних моделей

| | | Інтенсивність надходження трафіку | | | | | |
|-----------|---------|-----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Параметри | B, Mb/s | Y = 70, Mb/s | Y = 170, Mb/s | Y = 270, Mb/s | Y = 370, Mb/s | Y = 470, Mb/s | Y = 500, Mb/s |
| diag(R) | 50 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| | 100 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| | 150 | 0,75 | 0,7 | 0,75 | 0,8 | 0,7 | 0,75 |
| | 200 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| \vec{u} | 50 | 0,16 | 0,31 | 0,514 | 0,75 | 0,92 | 0,99 |
| | 100 | 0,14 | 0,39 | 0,64 | 0,75 | 0,92 | 0,99 |
| | 150 | 0,13 | 0,33 | 0,514 | 0,70 | 0,98 | 0,99 |
| | 200 | 0,13 | 0,31 | 0,514 | 0,75 | 0,92 | 0,99 |
| Pkn, % | 100% | 13,65% | 33,15% | 52,65% | 72,15% | 91,65% | 97,50% |

З отриманих результатів видно, що максимальна продуктивність мережі при різних величинах вхідної інтенсивності поступаючого навантаження досягалася при різних значеннях діагональних елементів матриці R, однак простежується явна пропорційна залежність з незначними відхиленнями. Узагальнюючи отримані результати можна зробити висновок по рекомендаціям в виборі величин значень діагональних елементів матриці R, а саме каналу зв'язку з максимальною пропускнуою здатністю привласнювати значення 1. Також з отриманих результатів видно, що при низькій завантаженості локальної ділянки використання методів балансування навантаження не дає виграшу в порівнянні з маршрутизацією по

найкоротшому шляху. При середній завантаженості локальної ділянки застосування методу локальних динамічних моделей дає високий вигреш, якщо ж інтенсивність надходження навантаження часто змінюється, то раціональніше перейти до динамічного перерахунку змінних управління. У разі високої завантаженості локальної ділянки, оправдана відмова від використання методів балансування навантаження, оскільки оптимальний розподіл на виході одного маршрутизатора без постійного обліку завантаженості наступних ліній і вузлів зв'язку може приводити до перевантаження, а значить втрати даних.

3.3 Дослідження поточкових моделей маршрутизації

При порівняльному аналізі якість рішення маршрутних задач досліджувалась на мережевих структурах А-1 та А-2 (рис. 3.4-3.5), які відрізнялися розмірами, пропускною здатністю шляху передачі. Виконання задач маршрутизації оцінювалося за коефіцієнтом навантаження на мережу ($k_{зав}$), який характеризував якість балансування навантаження в мережі та за двома показниками якості обслуговування – середньою затримкою ($\tau_{сер}$) та швидкістю передачі пакетів (r). Наприклад, при моделюванні шляхів передачі системою обслуговування М/М/1, затримка в довільному тракті передачі (i,j) розраховувалась за формулою:

$$\tau_{i,j} = 1/(c_{i,j} - x_{i,j}) \quad (3.14)$$

Відповідно до структур мереж (рис. 3.4-3.5) кількість вузлів мережі варіювалося від чотирьох до семи; кількість шляхів передачі – від 5 до 12; пропускні здатності трактів передачі – від 500 до 900 1/с. Інтенсивність зовнішнього трафіка (r) обмежувалась пропускною здатністю мережі, обумовленої пропускними здатностями трактів передачі.

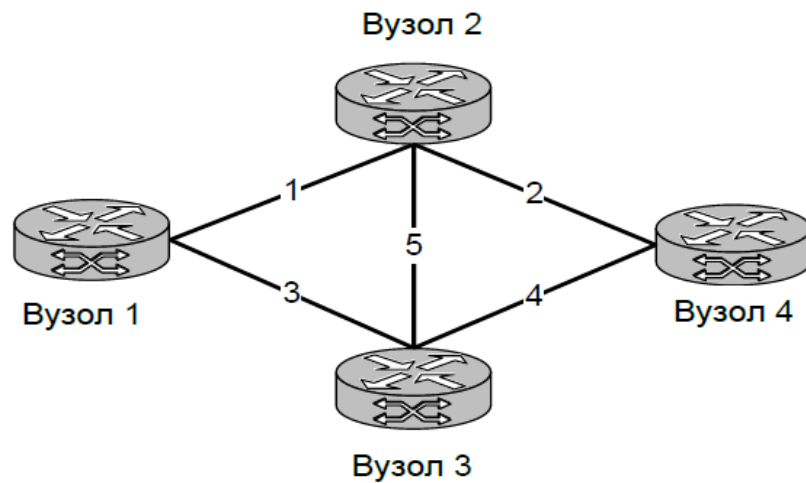


Рисунок 3.4 – Структура А-1

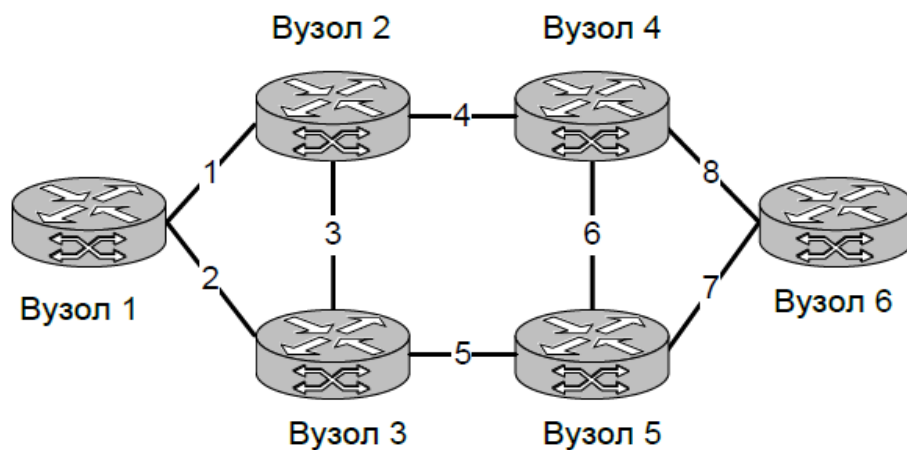


Рисунок 3.5 – Структура А-2

На основі результатів моделювання, порівняння та кількісної оцінки ефективності розглянутих потокових моделей маршрутизації на основі обраних критеріїв (рис. 3.6-3.11) можна зробити наступні висновки:

- модель односторонньої маршрутизації та модель багатосторонньої маршрутизації з балансуванням навантаження за шляхами з однаковою вартістю (довжиною) забезпечують необхідні показники якості обслуговування лише в області невисокого навантаження ($r_0 \approx 0 \div 0,3$);
- потокова модель багатосторонньої маршрутизації з метрикою протоколу IGRP стабільно працює практично на всій ділянці

абонентського навантаження. Ця модель з ростом навантаження на мережу забезпечує послідовне використання шляхів у порядку збільшення їх пропускної здатності, тобто спочатку використовується шлях з максимальною пропускною здатністю. Якщо цей шлях перевантажений, залучається другий шлях із наступною більшою пропускною здатністю (рис. 3.6-3.8). Ця процедура повторюється до того моменту як використовуються всі доступні шляхи між парою вузлів мережі [20].

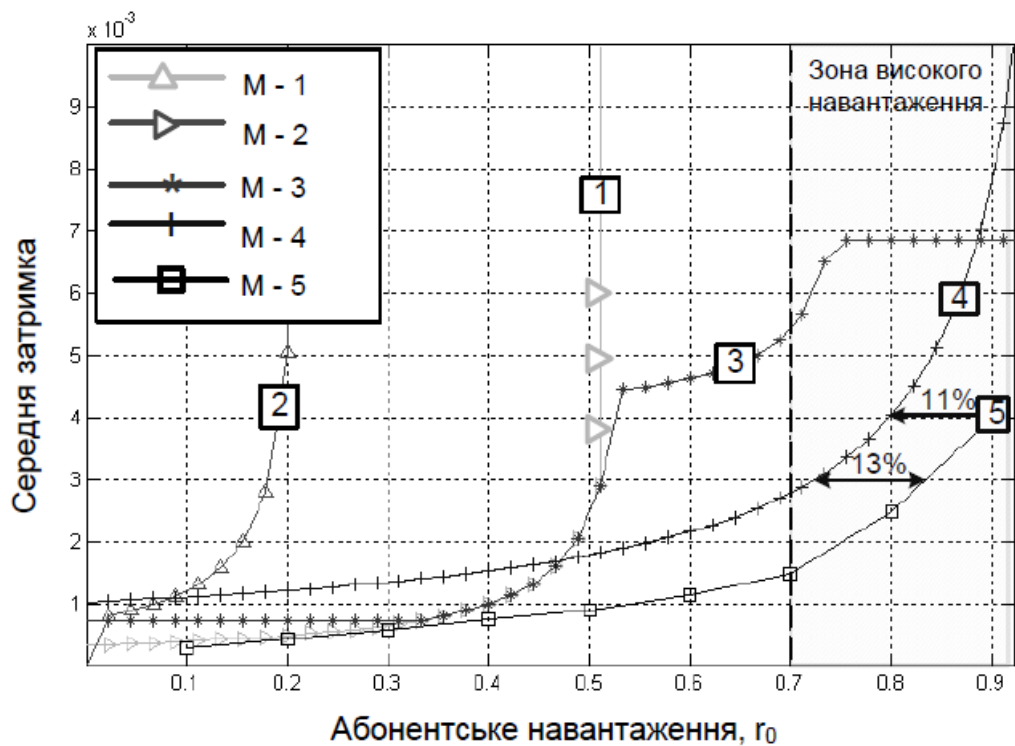


Рисунок 3.6 – Середня затримка у структурі А-1 у відсотках

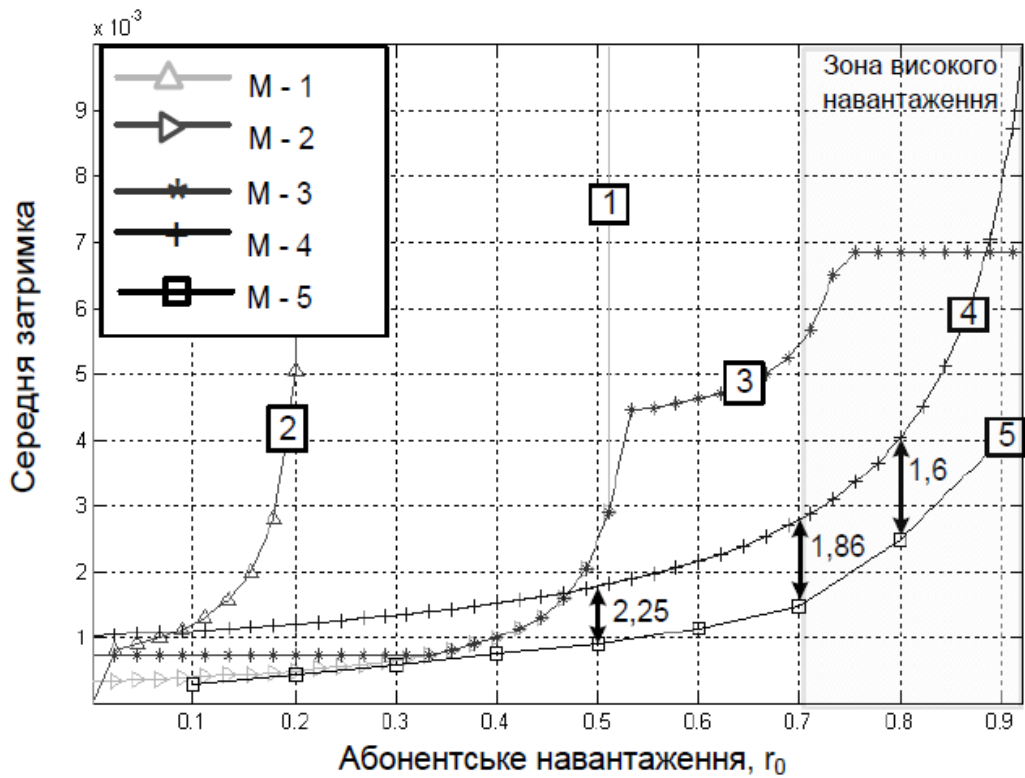


Рисунок 3.7 – Порівняння середньої затримки між моделями у структурі А-1

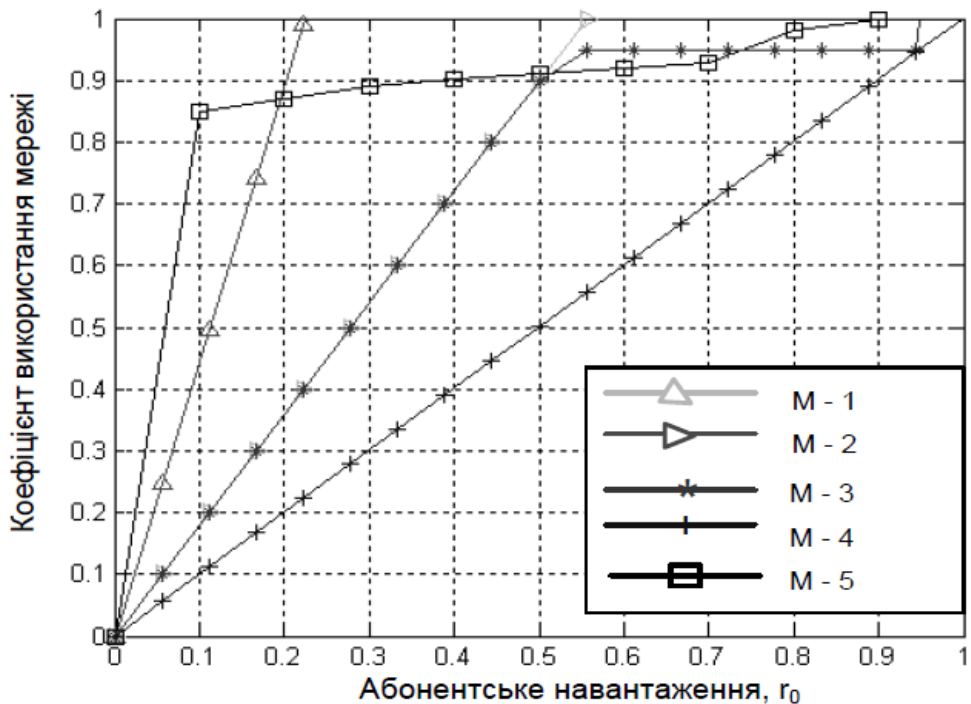


Рисунок 3.8 – Коефіцієнт використання структури А-1

- модель Галлагера дозволяє одночасно балансувати навантаження по всіх доступних шляхах між заданою парою мережевих вузлів.

Дана модель ефективна в функціонуванні мережі на всій області абонентського навантаження ($\gamma_0 \approx 0 \div 1$) та забезпечує гарні показники середньої затримки (у середньому в 1,2 – 2,1 рази), швидкості передачі (до 30%) та коефіцієнта використання мережі (у середньому на 40-70%), ніж третя модель в області середнього та високого навантаження;

- модель, яка враховує умови забезпечення якості обслуговування також здійснює балансування навантаження одночасно за всіма доступними шляхами між заданою парою мережних вузлів. Однак ця модель у порівнянні з четвертою моделлю забезпечує зниження середньої затримки доставки пакетів в 1,2 – 1,9 рази або збільшення швидкості передачі в середньому на 15 – 18% при зростанні коефіцієнта навантаження на мережу у середньому на 20-24 % в області високого навантаження (рис. 3.9-3.11).

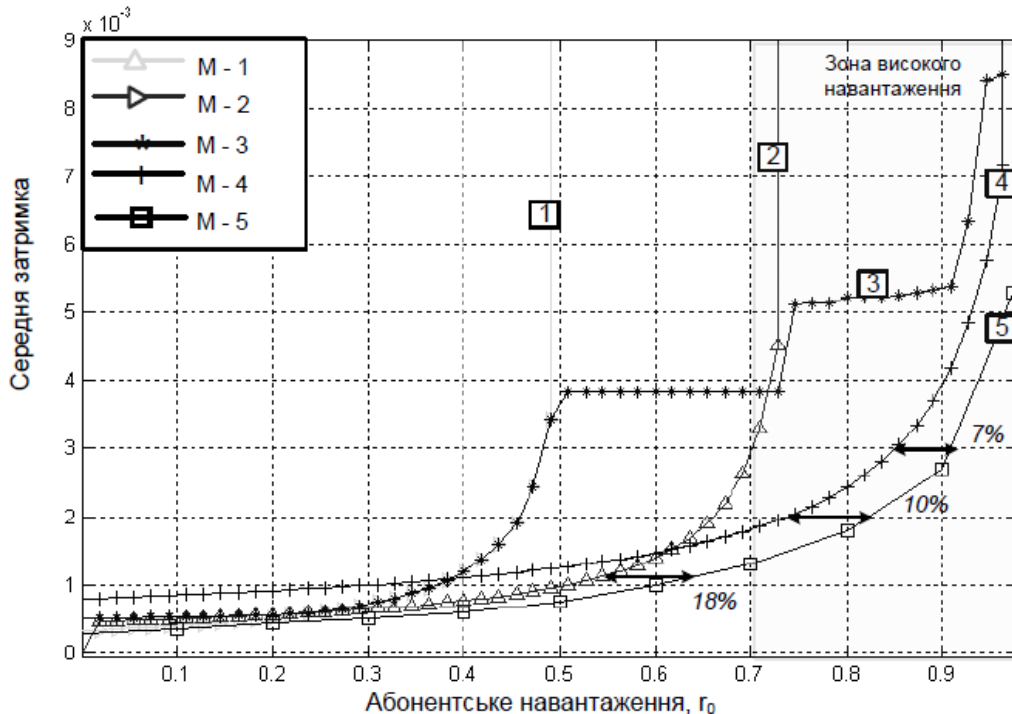


Рисунок 3.9 – Середня затримка у структурі А-2 у відсотках

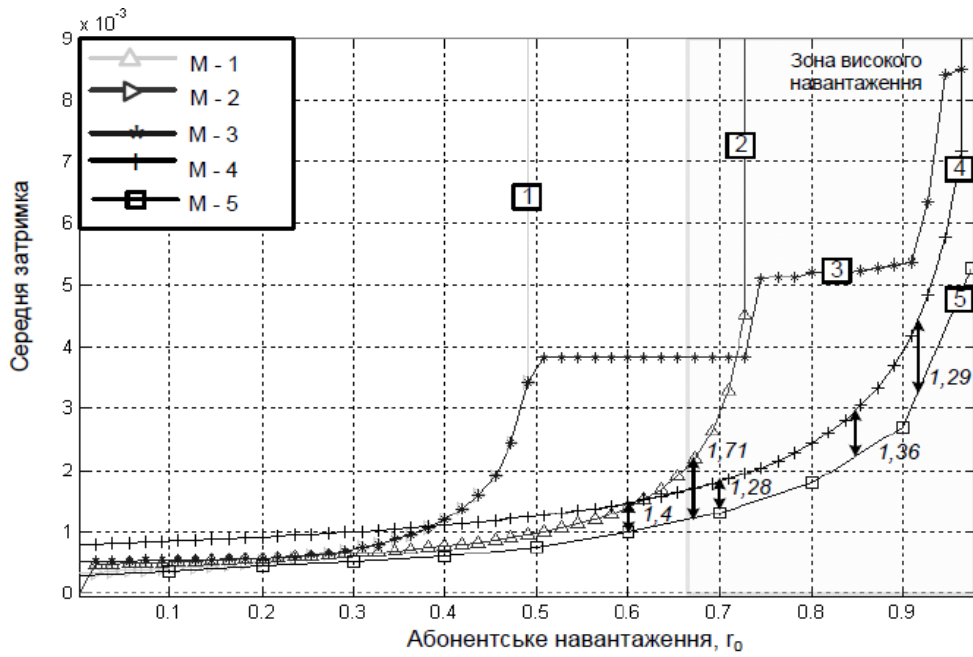


Рисунок 3.10 – Порівняння середньої затримки між моделями у структурі А-2

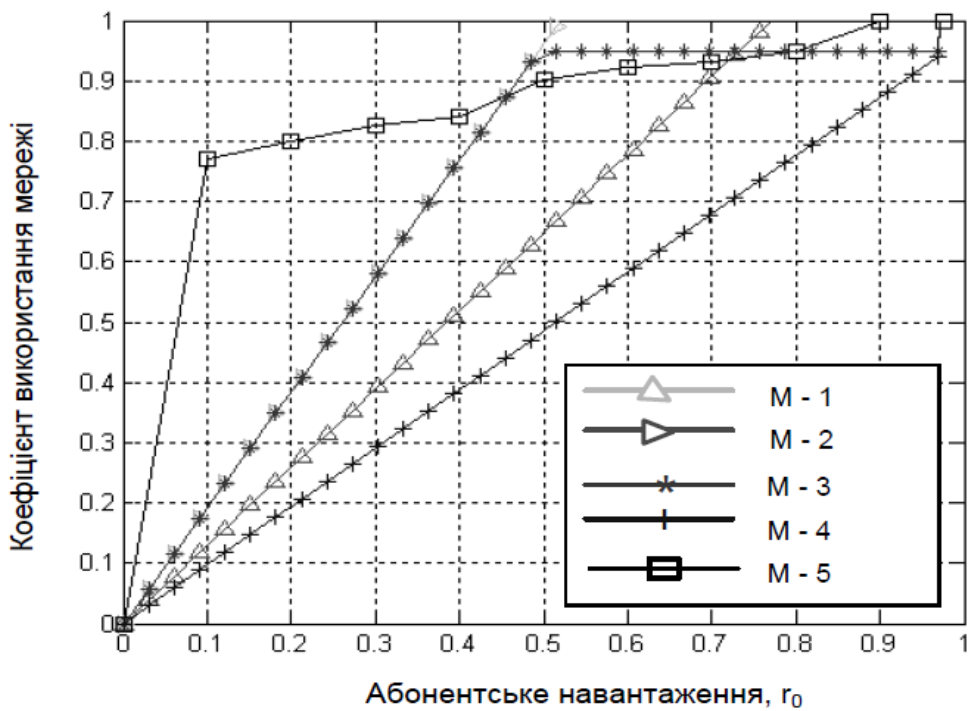


Рисунок 3.11 – Коефіцієнт використання структури А-2

Як показали результати проведеного порівняльного аналізу різних потокових моделей маршрутизації, найбільш ефективними моделями в рамках обраних критеріїв є моделі з балансуванням навантаження на шляхах з нерівною вартістю (довжиною). Причому в цих моделях багатосторонньої

маршрутизації важливу роль відіграє вибір метрики шляхів передачі, форма якої залежить від стратегії (послідовної чи паралельної) використання нерівних шляхів.

Вдалих вибір метрики шляхів передачі є лише необхідною, але недостатньою умовою забезпечення більш високої якості обслуговування. У математичних моделях маршрутизації необхідно не тільки забезпечувати балансування навантаження при реалізації стратегій маршрутизації з кількома шляхами, але й чітко враховувати умови забезпечення якості послуг за допомогою тих чи інших показників. Прикладом цього є порівняння четвертої і п'ятої моделі, з яких четверта пропонує краще балансування навантаження (рис. 3.11), але показники середньої затримки та швидкості передачі кращі в п'ятій моделі.

При подальших аналізах різних моделей багатосторонньої маршрутизації з декількома шляхами слід приділяти більше уваги вивченню впливу на якість вирішення задач балансування навантаження та якість обслуговування не тільки інтенсивності руху, але й інших характеристик – розміру пакету, пачковості та інших.

3.4 Розрахунок математичної моделі для проектування мережі

Використовуючи формули, які описані вище, розрахуємо комплексні математичні моделі для двох типів корпоративних мереж (на основі комутаторів та на основі маршрутизаторів). Для розрахунку візьмемо корпоративну мережу спроектовану на основі комутаторів в Cisco Packet Tracer (рис. 3.12).

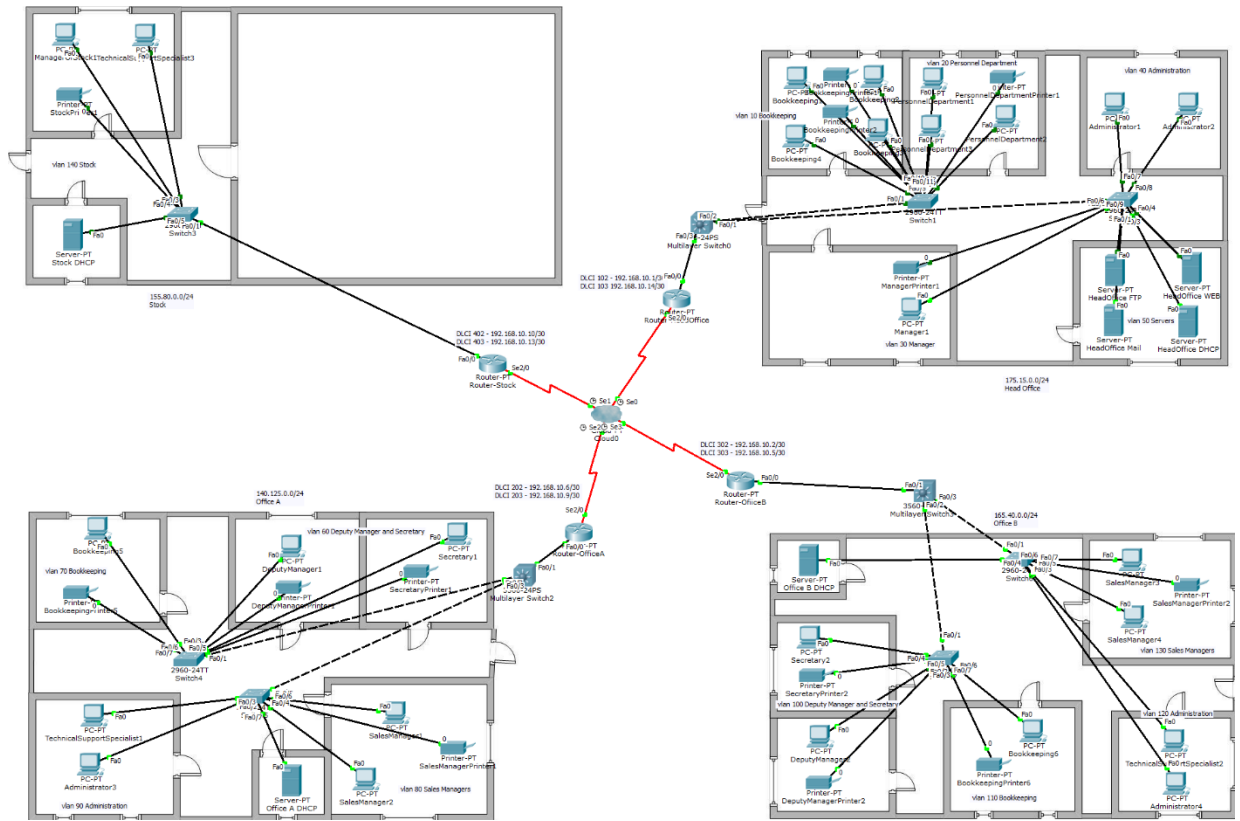


Рисунок 3.12 – Корпоративна мережа на основі комутаторів

Розрахуємо сумарні витрати на створення мережі за формулою (2.1), які включають в себе витрати на створення телекомунікаційної інфраструктури і витрати на використання комутаційні пристрої:

$$C_{\Sigma} = 50000 + 56 * 500 + 8000 = 85500 \text{ грн.}$$

Розрахуємо затримку передачі пакета між кожною парою абонентів за формулою (2.2):

$$t_{pq}^{(r)} = (1000 - 1 * 32 * 1,5 * 20)^{-1} = 0,025.$$

Розрахуємо сумарну затримку просування пакета в комутаторах за формулою (2.3):

$$t_{pq}^{(K)} = (55)^{-1} * 1 * 32 = 0,58.$$

Тоді з (2.2) і (2.3) визначимо повну затримку передачі пакета за формулою (2.4):

$$t_{pq}^{(\Sigma)} = 16 * 0,025 + 0,58 = 0,98.$$

Тепер для розрахунку візьмемо корпоративну мережу спроектовану на основі маршрутизаторів в Cisco Packet Tracer (рис. 3.13).

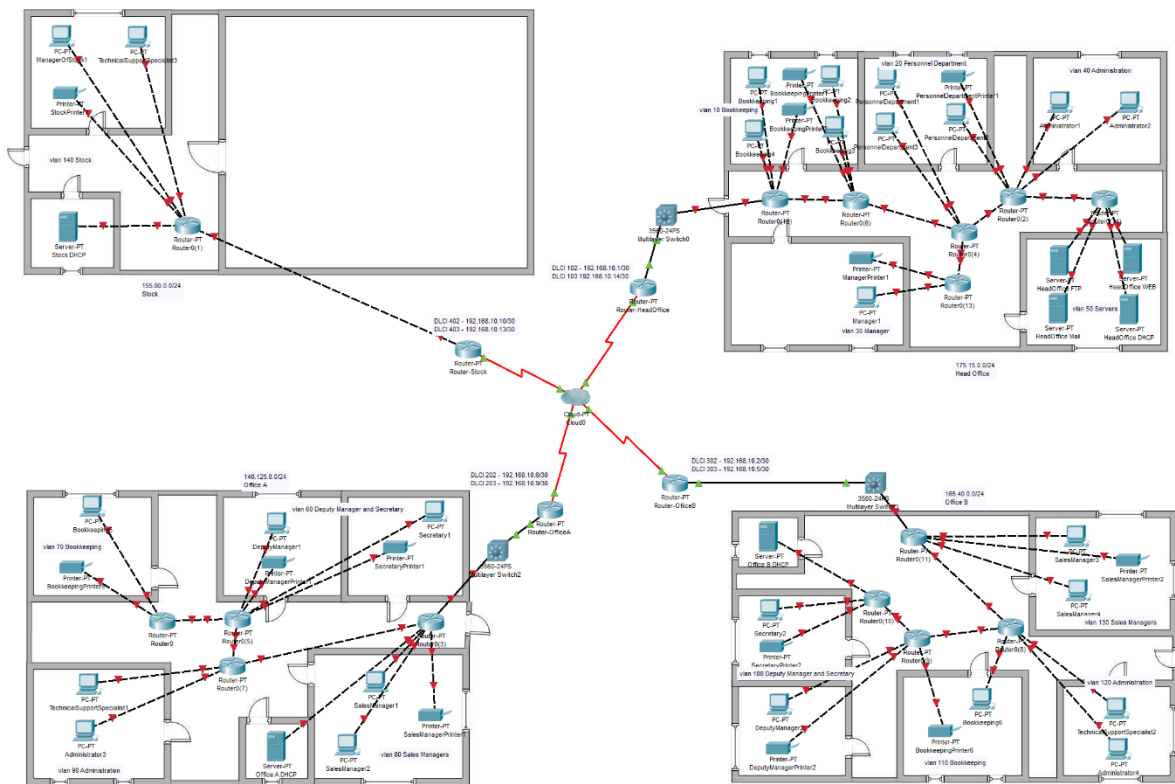


Рисунок 3.13 – Корпоративна мережа на основі маршрутизаторів

Розрахуємо сумарні витрати на створення мережі за формулою (2.1), які включають в себе витрати на створення телекомунікаційної інфраструктури і витрати на використовувані комутаційні пристрої:

$$C_{\Sigma} = 105000 + 60 * 500 + 8000 = 143000 \text{ грн.}$$

Розрахуємо затримку передачі пакета між кожною парою абонентів за формулою (2.2):

$$t_{pq}^{(r)} = (1800 - 1 * 60 * 1,5 * 20)^{-1} = 1.$$

Розрахуємо сумарну затримку просування пакета в маршрутизаторах за формулою (2.3):

$$t_{pq}^{(K)} = (190)^{-1} * 1 * 60 = 0,32.$$

Тоді з (2.2) і (2.3) визначимо повну затримку передачі пакета за формулою (2.4):

$$t_{pq}^{(\Sigma)} = 30 * 1 + 0,32 = 30,32.$$

Також розрахуємо обмеження, які були введені для зменшення затрат на розробку і проектування мережі та зменшення втрат при передачі трафіку в мережі, для мереж на основі комутаторів та на основі маршрутизаторів.

Розрахуємо обмеження на пропускну здатність каналу зв'язку за формулою (2.5):

$$10000 \geq 0,75 * 10 * 32 * 1,5 * 20 = 7200 \text{ – для мережі на основі комутаторів;}$$

$$15000 \geq 0,75 * 10 * 60 * 1,5 * 20 = 13500 \text{ – для мережі на основі маршрутизаторів.}$$

Розрахуємо обмеження на затримку передачі пакета за формулою (2.6):

$$0,98 \leq 10 \text{ – для мережі на основі комутаторів;}$$

$30,32 \leq 50$ – для мережі на основі маршрутизаторів.

Розрахуємо обмеження на продуктивність комутаторів і маршрутизаторів за формулою (2.7):

$8120 \geq (1,5 * 20) * 3,7 * 56 = 6216$ – для мережі на основі комутаторів;

$10320 \geq (1,5 * 20) * 5,2 * 60 = 9360$ – для мережі на основі маршрутизаторів.

Розрахуємо обмеження на загальне число портів комутаторів і маршрутизаторів за формулою (2.9):

$160 \geq 56$ – для мережі на основі комутаторів;

$75 \geq 60$ – для мережі на основі маршрутизаторів.

Виходячи з результатів розрахунків можна зробити висновок що рентабельнішим буде розробляти і проектувати корпоративну комп'ютерну мережу на основі комплексної математичної моделі, використовуючи комутатори як основу для створення телекомунікаційної інфраструктури корпоративної мережі. В порівнянні з маршрутизаторами, комутатори мають меншу затримку передачі пакету між пристроями в мережі, меншу затримку передачі пакетів по всій мережі в цілому. Також сумарні затрати на створення корпоративної мережі менші при використанні комутаторів.

Використовуючи методи локальних динамічних моделей та потокові моделі маршрутизації можна зменшити час проходження пакету на маршрутизаторах, що дасть змогу використовувати їх для проектування телекомунікаційної інфраструктури корпоративної мережі.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності [9].

Результатом магістерської кваліфікаційної роботи «Технологія проектування корпоративної комп'ютерної мережі на основі комплексної математичної моделі» є розробка математичної моделі. Для проведення технологічного аудиту залучено двох незалежних експертів. У нашому випадку такими експертами є: Колесник Ірина Сергіївна (к.т.н., доцент каф. обчислювальної техніки ВНТУ) та Захарченко Сергій Михайлович (к.т.н., доцент каф. обчислювальної техніки ВНТУ).

Оцінювання комерційного потенціалу буде здійснене за критеріями, що наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки бальна оцінка

| Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою) | | | | | |
|--|--|---|---|---|--|
| Кри-терій | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Технічна здійсненність концепції: | | | | | |
| 1 | Достовірність концепції не підтверджена | Концепція підтверджена експертними висновками | Концепція підтверджена розрахунками | Концепція перевірена на практиці | Перевірено працездатність продукту в реальних умовах |
| Ринкові переваги (недоліки): | | | | | |
| 2 | Багато аналогів на малому ринку | Мало аналогів на малому ринку | Кілька аналогів на великому ринку | Один аналог на великому ринку | Продукт не має аналогів на великому ринку |
| 3 | Ціна продукту значно вища за ціни аналогів | Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів | Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів | Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів | Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів |

Продовження таблиці 4.1

| Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою) | | | | | |
|--|---|---|---|---|--|
| Кри-тер. | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 4 | Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів | Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів | Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів | Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів | Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів |
| 5 | Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів | Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів | Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів | Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів | Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів |
| Ринкові перспективи | | | | | |
| 6 | Ринок малий і не має позитивної динаміки | Ринок малий, але має позитивну динаміку | Середній ринок з позитивною динамікою | Великий стабільний ринок | Великий ринок з позитивною динамікою |
| 7 | Активна конкуренція великих компаній на ринку | Активна конкуренція | Помірна конкуренція | Незначна конкуренція | Конкурентів немає |
| Практична здійсненність | | | | | |
| 8 | Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї | Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців | Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату | Необхідне незначне навчання фахівців | Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї |
| 9 | Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні | Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні | Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є | Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є | Не потребує додаткового фінансування |
| 10 | Необхідна розробка нових матеріалів | Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі | Потрібні дорогі матеріали | Потрібні досяжні та дешеві матеріали | Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві |

Продовження таблиці 4.1

| | | | | | |
|----|---|--|---|---|---|
| 11 | Термін реалізації ідеї більший за 10 років | Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років | Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років | Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років | Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років |
| 12 | Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту | Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу | Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу | Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту | Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту |

Результати оцінювання комерційного потенціалу експертами розробки зведено в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

| Критерії | Прізвище, ініціали, посада експерта | |
|------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| | 1 – Колесник | 2 – Захарченко |
| | Бали, виставлені експертами: | |
| 1 | 4 | 4 |
| Ринкові переваги (недоліки): | | |
| 2 | 3 | 3 |
| 3 | 3 | 4 |
| 4 | 4 | 4 |
| 5 | 3 | 4 |
| Ринкові перспективи | | |
| 6 | 3 | 4 |
| 7 | 3 | 3 |
| Практична здійсненність | | |
| 8 | 3 | 4 |
| 9 | 4 | 4 |
| 10 | 4 | 3 |
| 11 | 3 | 4 |
| 12 | 3 | 4 |
| Сума балів | СБ ₁ =40 | СБ ₂ =45 |

| | |
|--|------|
| Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$ | 42,5 |
|--|------|

За даними таблиці 4.2 можна зробити висновок, щодо рівня комерційного потенціалу розробки. Зважимо на результат й порівняємо його з рівнями комерційного потенціалу розробки, що представлено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Рівні комерційного потенціалу розробки

| Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$, розрахована на основі висновків експертів | Рівень комерційного потенціалу розробки |
|--|---|
| 0 – 10 | Низький |
| 11 – 20 | Нижче середнього |
| 21 – 30 | Середній |
| 31 – 40 | Вище середнього |
| 41 – 48 | Високий |

Рівень комерційного потенціалу розробки, становить 42,5 балів, що відповідає рівню «високий».

Проаналізуємо суть технічної проблеми та розглянемо аналоги.

В даний час все більша кількість компаній відчують необхідність в організації сучасних потужних корпоративних мереж. Зростають вимоги як до швидкості передачі інформації (зменшення часу доступу до мережевих ресурсів, що знаходяться в різних географічних поясах), так і до надійності і захисту даних, що передаються.

Однією з найважливіших характеристик корпоративних мереж є їх гетерогенність, тобто здатність забезпечувати обмін інформацією комп'ютерів, що мають різну комунікаційну і апаратну конфігурацію, а також програмне забезпечення.

В якості аналога було обрано технологію проектування корпоративних мереж на основі VPN. Основними недоліками аналога є низька швидкість обміну даними, низька захищеність мережі і велике навантаження на мережу.

У розробці дані проблеми вирішуються за допомогою використання швидкісних комутативних пристроїв, методів балансування навантаження і методів шифрування.

У таблиці 4.4 наведені основні технічні показники аналога і нового продукту.

Таблиця 4.4 – Основні технічні показники аналога і нового продукту

| Показники | Аналог | Новий продукт |
|-------------------------|--------------------------------|--|
| Швидкість обміну даними | Низька швидкість обміну даними | Висока швидкість обміну даними |
| Захищеність | Відсутність методів шифрування | Використання методів шифрування |
| Навантаження на мережу | Високе навантаження на мережу | Використання методів балансування навантаження |
| Витрати на розробку | Низькі затрати на розробку | Низькі затрати на розробку |

Зменшення витрат на розробку і проектування мережі, зменшення навантаження на мережу, і захист інформації, що передається по мережі призведе до підвищення конкурентоздатності розроблюваного продукту. Саме завдяки цьому, даний продукт може стати корисним в сфері застосування.

Нова розробка може бути використана у сфері підприємницької діяльності, а саме – у проектуванні корпоративної комп'ютерної мережі для підприємства. Новий продукт повинен зменшити витрати на розробку і проектування корпоративної мережі, а також зменшити навантаження на мережу використовуючи удосконалений метод локальних динамічних моделей, і удосконалені методи балансування навантаження.

Комерціалізація розробки знаходиться на початковому етапі.

Рівень комерційного потенціалу високий, але для більш успішної реалізації ідеї потрібно провести рекламні заходи, щоб донести інформацію про нову розробку до підприємств.

Просування на ринок буде здійснюватися шляхом рекламної кампанії через інтернет ресурси та бізнес-форуми.

Новому продукту погрожує жорстка конкуренція, тому необхідно адресуватися до широкого кола споживачів, для того щоб довести переваги нової розробки і зацікавити в її придбанні. Також, необхідно приділити значну увагу наданню якісних послуг з технічної підтримки і супроводу нової розробки, яка буде придбана підприємством.

В результаті роботи отримаємо технологію проектування корпоративної мережі на основі комплексної математичної моделі. Дана технологія дасть змогу спроектувати корпоративну мережу для будь-якого підприємства в будь-якому напрямку підприємницької діяльності.

4.2 Прогнозування витрат на виконання наукової роботи та впровадження результатів

Проведемо прогнозування витрат на виконання науково-дослідної, дослідно-конструкторської та конструкторсько-технологічної роботи, яке складається з таких етапів [9]:

1-й етап: розрахунок витрат, які безпосередньо стосуються виконавців даного розділу роботи;

2-й етап: розрахунок загальних витрат на виконання даної роботи;

3-й етап: прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів даної роботи.

Виконаємо розрахунок витрат приймаючи до уваги те, що розробкою займався один розробник.

Основна заробітна розробника-дослідника Z_o :

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ [грн]}, \quad (4.1)$$

де M – місячний посадовий оклад – 7100 грн;

T_p – число робочих днів в місяці; приблизно $T_p = (21)$ день;

t – число робочих днів роботи розробника-дослідника - 50.

$$Z_o = \frac{7100}{21} \cdot 50 = 16904,76 \text{ (грн)}.$$

Додаткова заробітна плата Z_d розробника розраховується як 10% від основної заробітної плати:

$$Z_d = 0,10 \cdot 16904,76 = 1690,48 \text{ (грн)}.$$

Нарахування на заробітну плату $H_{зп}$ розробника становить 22%:

$$H_{зп} = (Z_o + Z_d) \cdot \frac{\beta}{100} \text{ [грн]}, \quad (4.2)$$

де Z_o – основна заробітна плата розробника;

Z_d – додаткова заробітна плата розробника;

β – ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування – 22%.

$$H_{зп} = (16904,76 + 1690,48) \cdot 0,22 = 4090,95 \text{ (грн)}.$$

Амортизація обладнання, комп'ютерів та приміщень, які використовувались під час виконання даного етапу роботи розраховуємо за формулою:

$$A = \frac{Ц \cdot H_a}{100} \cdot \frac{T}{12}, \quad (4.3)$$

де $Ц$ – балансова вартість обладнання, грн;

H_a – річна норма амортизаційних відрахувань % (для програмного продукту 25%);

T – Термін використання ($T=3$ міс.).

Таблиця 4.5 – Розрахунок амортизаційних відрахувань

| Найменування програмного забезпечення | Балансова вартість, грн. | Норма амортизації, % | Термін використання, міс. | Величина амортизаційних відрахувань, грн |
|---------------------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------------|--|
| Персональний комп'ютер | 9000 | 25 | 3 | 562,5 |
| Всього: | | | | 562,5 |

Витрати на матеріали визначаються за формулою:

$$M = \sum_i^n Ni \cdot Ci \cdot Ki - Vi \cdot Cv \text{ [грн.],} \quad (4.4)$$

де N_i - кількість i -го виду матеріалів;

K_i - коефіцієнт транспортних витрат, $K_{тр}=1,1 \dots 1,15$

C_i - ціна одиниці вимірювання i -го виду матеріалів;

V_i - величина відходів i -го виду матеріалів;

C_v - ціна одиниці вимірювання відходів i -го виду матеріалів;

n - кількість видів матеріалів.

Інформацію про матеріали, що використовуються при виготовленні даного інноваційного продукту внесено до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Витрати на комплектуючі, що були використані для розробки ПП

| Найменування матеріалу | Ціна за одиницю, грн. | Витрачено, шт. | Вартість витраченого матеріалу, грн |
|------------------------|-----------------------|----------------|-------------------------------------|
| Флешка | 150 | 1 | 150 |
| Папір (пачка) | 120 | 1 | 120 |
| Ручка | 10 | 1 | 10 |
| Всього | | | 308 |

Витрати на електроенергію визначаються на основі витрат на одиницю продукції та тарифів на енергію за допомогою формули:

$$B_e = B \cdot П \cdot \Phi \cdot K_n \text{ [грн]}, \quad (4.5)$$

де B – вартість 1кВт електроенергії;

$П$ – установлена потужність обладнання, кВт;

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання при створенні нового продукту, годин;

K_n – коефіцієнт використання потужності ($K_n = 0,8$).

Отже, витрати на енергію становлять:

$$B_e = 1,7 \cdot 0,6 \cdot 400 \cdot 0,8 = 326,4 \text{ (грн)}.$$

Також потрібно врахувати витрати на доступ до мережі Інтернет, що використовувався під час виконання роботи.

Витрати за доступ до Інтернет можна розрахувати за формулою:

$$B_{di} = C_{di} \cdot T \text{ [грн]}, \quad (4.6)$$

де C_{di} – це ціна доступу за місяць;

T – кількість місяців використання доступу до мережі.

Отже, витрати на доступ до мережі Інтернет становлять:

$$B_{di} = 200 \cdot 3 = 600 \text{ (грн)}.$$

Величина інших витрат складе:

$$B_{in} = 3_o \cdot 100\% \text{ [грн]}. \quad (4.7)$$

$$B_{in} = 16904,76 \cdot 1 = 16904,76 \text{ (грн)}.$$

Обчислимо витрати на виконання даної роботи, що являтиме собою суму всіх попередніх витрат:

$$B = Z_o + Z_d + H_{зп} + A + B_{\text{мат}} + B_e + B_{\text{ді}} [\text{грн}],$$

$$B = 16904,76 + 1690,48 + 4090,95 + 562,5 + 308 + 326,4 + 600 + 16904,76 = 41387,85 \text{ (грн)}.$$

Розрахуємо загальну вартість всієї наукової роботи $B_{\text{заг}}$ за формулою:

$$B_{\text{заг}} = \frac{B}{\alpha} [\text{грн}], \quad (4.8)$$

де α – частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даного етапу роботи, у відн. одиницях.

Так, як над роботою задіяна одна людина, якою виконується уся робота, то α становить 1. Підставивши дані у формулу, отримуємо:

$$B_{\text{заг}} = 41387,85 \text{ (грн)}.$$

Прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів виконаної роботи. Прогнозування загальних витрат ZB на виконання та впровадження результатів виконаної роботи здійснюється за формулою:

$$ZB = \frac{B_{\text{заг}}}{\beta} [\text{грн}], \quad (4.9)$$

де β – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної роботи.

Так, якщо розробка знаходиться:

- на стадії науково-дослідних робіт, то $\beta \approx 0,1$;
- на стадії технічного проектування, то $\beta \approx 0,2$;

- на стадії розробки конструкторської документації, то $\beta \approx 0,3$;
- на стадії розробки технологій, то $\beta \approx 0,4$;
- на стадії розробки дослідного зразка, то $\beta \approx 0,5$;
- на стадії розробки промислового зразка, $\beta \approx 0,7$;
- на стадії впровадження, то $\beta \approx 0,9$.

Отже, підставимо дані в формулу й отримаємо результат:

$$ЗВ = \frac{41387,85}{0,5} = 82775,7 \text{ (грн)}.$$

4.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

Спробуємо кількісно спрогнозувати, яку вигоду, можна отримати у майбутньому від впровадження результатів виконаної наукової роботи. Зрозуміло, що всі зроблені тут розрахунки будуть приблизними і не передбачають деталізації.

Зростання чистого прибутку можна оцінити у теперішній вартості грошей. Це забезпечить підприємству (організації) надходження додаткових коштів, які дозволять покращити фінансові результати діяльності.

Оцінка зростання чистого прибутку підприємства від впровадження результатів наукової розробки. У цьому випадку збільшення чистого прибутку підприємства $\Delta\Pi_i$ для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, розраховується за формулою:

$$\Delta\Pi_i = \sum_i^n (\Delta\Pi_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N) \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{v}{100}\right) [\text{грн}], \quad (4.10)$$

де $\Delta\Pi_o$ – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році. Зазвичай таким показником може бути ціна одиниці нової розробки;

N – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

ΔN – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки;

Π_0 – основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки;

λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість.

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати $\rho = 0,2 \dots 0,3$;

v – ставка податку на прибуток (18%).

В результаті впровадження результатів наукової розробки витрати на проектування корпоративної мережі зменшаться на 2000 грн (що автоматично спричинить збільшення чистого прибутку підприємства на 2000 грн), а кількість користувачів, які будуть користуватись збільшиться: протягом першого року – на 200 користувачів, протягом другого року – на 250 користувачів, протягом третього року – 300 користувачів. Реалізація інформаційної технології до впровадження результатів наукової розробки складала 500 користувачів, а прибуток, що отримував розробник до впровадження результатів наукової розробки – 200 грн.

Спрогнозуємо збільшення чистого прибутку від впровадження результатів наукової розробки у кожному році відносно базового:

$$\Delta\Pi_1 = [2000 \cdot 1 + (200 + 2000) \cdot 200] \cdot 0,88 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 79736,8 \text{ (грн)}.$$

Збільшення чистого прибутку підприємства $\Delta\Pi$ протягом другого року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе:

$$\Delta\Pi_2 = [2000 \cdot 1 + (200 + 2000) \cdot (200 + 250)] \cdot 0,88 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 178956,8 \text{ (грн)}.$$

Збільшення чистого прибутку підприємства $\Delta\Pi$ протягом третього року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе:

$$\Delta\Pi_3 = [2000 \cdot 1 + (200 + 2000) \cdot (250 + 250 + 300)] \cdot 0,88 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 317864,8 \text{ (грн)}.$$

Отже, розрахунки показують, що комерційний ефект від впровадження розробки виражається у значному збільшенні чистого прибутку підприємства.

4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Основними показниками, які визначають доцільність фінансування наукової розробки інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності. Розрахунок ефективності вкладених інвестицій передбачає проведення наступних розрахунків.

Розраховується теперішня вартість інвестицій PV , що вкладаються в наукову розробку. Такою вартістю можемо вважати прогнозовану величину загальних витрат ZB на виконання та впровадження результатів НДДКР, розраховану за формулою, тобто будемо вважати, що $ZB = PV = 82775,7$ грн.

Розраховується очікуване збільшення прибутку $\Delta\Pi_i$, що його отримає підприємство (організація) від впровадження результатів наукової розробки, для кожного із років, починаючи з першого року впровадження. Таке збільшення прибутку також було розраховане раніше.

Будуємо вісь часу, на яку наносимо всі платежі (інвестиції та прибутки), що мають місце під час виконання науково-дослідної роботи та впровадження її результатів.

Платежі показуємо у ті терміни, коли вони здійснюються.

Припустимо, що загальні витрати ЗВ на виконання та впровадження результатів НДДКР (або теперішня вартість інвестицій PV) дорівнює 82775,7 грн. Результати вкладених у наукову розробку інвестицій почнуть виявлятися протягом трьох років. У першому році підприємство отримає збільшення чистого прибутку на 79736,8 грн відносно базового року, у другому році – збільшення чистого прибутку на 178956,8 грн (відносно базового року), у третьому році – збільшення чистого прибутку на 317864,8 грн (відносно базового року).

Тоді рух платежів (інвестицій та додаткових прибутків) буде мати вигляд, наведений на рис. 4.1.

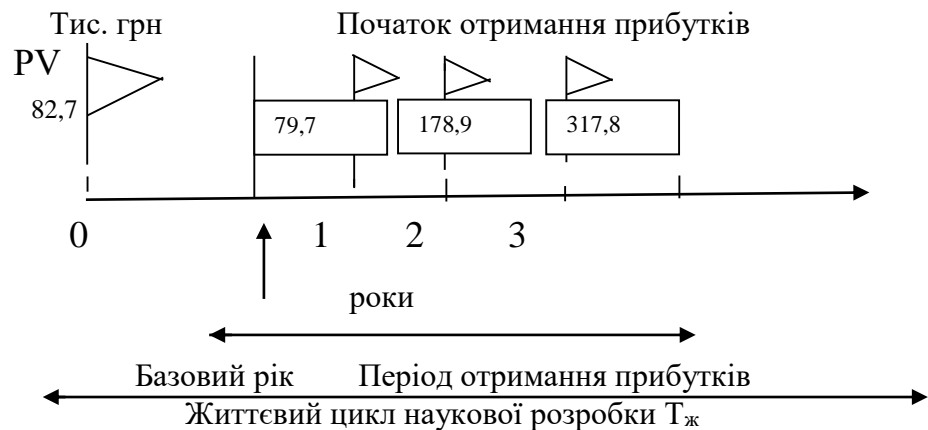


Рисунок 4.1 – Вісь часу з фіксацією платежів, що мають місце під час розробки та впровадження результатів НДДКР

Розраховується абсолютна ефективність вкладених інвестицій $E_{абс}$.

Для цього використовується формула:

$$E_{абс} = (ПП - PV), \quad (4.11)$$

де ПП – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство (організація) від реалізації результатів наукової розробки, грн.;

PV – теперішня вартість інвестицій PV = ЗВ, грн.

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків ПП розраховується за формулою:

$$ПП = \sum_1^t \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (4.12)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДДКР, грн;

t – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,1;

t – період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки „0”.

Якщо $E_{abc} > 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, але це також ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даного проекту (роботи).

Розрахуємо абсолютну ефективність інвестицій, вкладених у реалізацію проекту. Ставка дисконтування τ дорівнює 0,1. Отримаємо:

$$ПП = \frac{79736,8}{(1 + 0,1)^1} + \frac{178956,8}{(1 + 0,1)^2} + \frac{317864,8}{(1 + 0,1)^3} = 459202,73 \text{ (грн)}.$$

Тоді,

$$E_{abc} = 459202,73 - 82775,7 = 376427,03 \text{ (грн)}.$$

Оскільки $E_{abc} > 0$, то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів НДДКР є доцільним.

Розраховуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_v . Для цього використовуємо формулу:

$$E_v = T_{ж} \sqrt[3]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (4.13)$$

де E_{abc} – абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн;

PV – теперішня вартість інвестицій $PV = ZB$, грн;

$T_{ж}$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

Далі, розрахована величина E_v порівнюється з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування τ мін, яка визначає ту мінімальну дохідність, нижче за яку інвестиції вкладатися не будуть.

У загальному вигляді мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування τ мін визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (4.14)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; $d = 0,2$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = 0,1$.

Якщо величина $E_v > \tau$ мін, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки. В іншому випадку фінансування наукової розробки здійснюватися не буде. Спочатку спрогнозуємо величину τ мін. Припустимо, що за даних умов τ мін = $0,2 + 0,1 = 0,3$. Тоді відносна (щорічна) ефективність вкладених інвестицій в проведення наукових досліджень та впровадження їх результатів складе:

$$E_e = \sqrt[3]{1 + \frac{376427,03}{82775,7}} - 1 = \sqrt[3]{5,55} - 1 = 0,77 \text{ або } 77\%.$$

Оскільки $E_B = 77\% > \tau \text{ мін} = 0,3 = 30\%$, то у інвестора буде зацікавленість вкладати гроші в дану наукову розробку, оскільки більші прибутки він отримає від того, що інвестує кошти в розробку, а не розмістить гроші на депозиті у комерційному банку.

Розраховуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій $T_{ок}$ за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_e}. \quad (4.15)$$

Якщо $T_{ок}$ буде менше 5-ти років, то фінансування даної наукової розробки загалом є доцільним. В інших випадках потрібні додаткові розрахунки та обґрунтування. Для нашої розробки термін окупності вкладених у реалізацію проекту інвестицій $T_{ок}$ складе:

$$T_{ок} = \frac{1}{0,77} = 1,3 \text{ (року)},$$

що свідчить про доцільність фінансування даної наукової розробки.

4.5 Висновки до економічної частини

В даному розділі було виконано оцінювання комерційного потенціалу розробки технології проектування корпоративної комп'ютерної мережі на основі комплексної математичної моделі.

Проведено технологічний аудит з залученням двох незалежних експертів. Визначено, що рівень комерційного потенціалу розробки високий. Аналіз комерційного потенціалу розробки показав, що нова розробка за своїми характеристиками випереджає аналогічні продукти і є перспективною

розробкою. Вона має кращі функціональні показники, а тому є конкурентоспроможним товаром на ринку. Існуючі переваги нової розробки дозволять швидко її поширити та популяризувати.

Згідно із розрахунками всіх статей витрат на виконання науково-дослідної, дослідно-конструкторської та конструкторсько-технологічної роботи загальні витрати на розробку складають 82775,7 грн. Розрахована абсолютна ефективність вкладених інвестицій в сумі 376427,03 грн свідчить про отримання прибутку інвестором від комерціалізації нового продукту.

Щорічна ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій складає 77%, що вище за мінімальну бар'єрну ставку дисконтування, яка складає 30%. Це означає потенційну зацікавленість інвесторів у фінансуванні розробки.

Термін окупності вкладених у реалізацію проекту інвестицій становить 1,3 року, що також свідчить про доцільність фінансування нової розробки.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано існуючі технології проектування корпоративних мереж, моделі життєвого циклу інформаційних систем корпоративних мереж, сучасні методи балансування навантаження.

Розглянуто потокові моделі маршрутизації. Проведено порівняльний аналіз якості рішення маршрутних задач, що досліджувалась на різних мережевих структурах. В результаті проведеного порівняльного аналізу різних поточкових моделей маршрутизації, найбільш ефективними моделями в рамках обраних критеріїв є моделі з балансуванням навантаження на шляхах з нерівною вартістю (довжиною). Причому в цих моделях багатосторонньої маршрутизації важливу роль відіграє вибір метрики шляхів передачі, форма якої залежить від стратегії (послідовної чи паралельної) використання нерівних шляхів.

Удосконалено метод локальних динамічних моделей, що дозволяє усунути недоліки існуючих методів балансування навантаження. В його основу покладено динамічну модель маршрутизатора яка складається з функціональної і структурної моделі представлених в просторі станів.

Виконано практичну реалізацію комплексної математичної моделі на корпоративній мережі, що була змодельована в програмному забезпеченні Cisco Packet Tracer. Проведено розрахунок математичних моделей для різних типів комутаторів.

Аналіз результатів досліджень показав, що використання комплексної математичної моделі як основи для проектування корпоративної мережі є кращим вибором серед існуючих технологій проектування, так як в порівнянні з іншими технологіями вона є менш затратною в розробці та підходить для будь-якого підприємства.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Комп'ютерні мережі / О. Д. Азаров, С. М. Захарченко, О. В. Кадук, М. М. Орлова, В. П. Тарасенко // Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2013./МОНУ (Лист №1/11 – 8260 від 15.05 2013 р.) - 500 с.
2. Кульгин М. Технология корпоративных сетей. /М. Кульгин - СПб ПИТЕР, 2014. – 650 с.
3. Трояновська Т. І. Побудова захищених мереж на базі обладнання компанії Cisco. //Захарченко С.М., Трояновська Т. І., Бойко О.В. Навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2017. – 133 с.
4. Розробка моделі мультисервісної мережі / Трояновська Т. І., Поліщук Д. М. // Збірник Матеріалів XLV НТК ВНТУ, 2016 – 100 с.
5. Джо Хабракен. Как работать с маршрутизаторами Cisco: Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 320 с: ил.
6. Troianovska T. I. Method of cyclic ADC calibration by the conversion characteristics analysis / S. M. Zakharchenko, T. I. Troianovska // ADVANCED INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES-2017 : 2-nd International conference, 4-7 July 2017. – Lviv, Ukraine, 2017. – P. 120–123. (Scopus).
7. Олифер В. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов /Н. Олифер, В. Олифер - СПб.: Издательский Дом “Питер”, 2011. - 960 с.
8. Трояновська Т. І. Побудова швидкісних мультисервісних мереж / Трояновська Т. І., Савицька Л. А., Максюта М. О., Поліщук Д. М. // Міжнародна науково-технічна конференція «Smart and Young». – Київ, 2016. – №8, с. 72–78.
9. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. В. О. Козловський – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 22 с.

10. Вільчанський В. М. Практичні рекомендації побудови мереж підприємства /В. М. Вільчанський – СПб.: Издательский Дом “Питер”, 2011. - 440 с.
11. Программа сетевой академии Cisco CCNA 1 и 2. Вспомогательное руководство", 3-издание, исправленное.: Пер. с англ. – М. Издательский дом "Вильямс", 2008 – 1168с.: ил.;
12. Палмер М. Проектирование и внедрение компьютерных сетей. Учебный курс /М. Палмер – М.: ВHV, 2004.–740 с.
13. Тодд Леммл, Кевин Хейлз. CCNP. Настройка коммутаторов Cisco. Учебное руководство. – М.: Издательство «ЛОРИ», 2004. – 505с.
14. Захарченко, С. Мережа академій Cisco – перспективний шлях підготовки фахівців з мережевих технологій / Сергій Захарченко // Proceedings of the ninth international scientific-practical conference "Internet-Education-Science" (IES-2014), Vinnytsia, 14 - 17 October, 2014. - Vinnytsia : VNTU, 2014. - С. 109.
15. К.Кларк, К.Гамильтон. Принципы коммутации в локальных сетях Cisco: Пер. с англ.– М.: Издательский дом "Вильямс", 2003 – 976 с.: ил.
16. Олифер В. Сетевые операционные системы /В. Олифер, Н. Олифер – СПб.: Издательский Дом “Питер”, 2006. – 544 с.
17. Столлингс В. Компьютерные сети, протоколы и технологии Интернета /В. Столлингс – М.: ВНУ, 2005.–650 с.
18. Дэвид Хьюкаби, Стив Мак-Квери. Руководство Cisco по конфигурированию коммутаторов Catalyst: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2004 – 260 с.: ил.
19. Олифер Н.А. Средства анализа и оптимизации локальных сетей. /Н.А.Олифер, В.Г.Олифер 2. – СПб.: Издательский Дом “Питер”, 2006. - 830 с.
20. Уайт Расс, Руководство пользователя операционной системы Cisco IOS:Пер. с англ. – М.:-Вильямс, 2005, 287 стр.

ДОДАТКИ

Додаток А – Технічне завдання
Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОТ

д.т.н, проф, Мартинюк Т. Б.

(наук. ст., вч. зв., ініц. та прізви.)

_____ (підпис)

“ _____ ” _____ 2019 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

Проектування корпоративної комп'ютерної мережі на основі комплексної

математичної моделі

08-23.МКР.030.00.000 ТЗ

Науковий керівник: Захарченко С. М.

_____ (підпис)

студент групи 2КІ-18м

_____ Шостак С. В.

(підпис)

Вінниця 2019 р.

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

- а) відкриття підприємством нових віддалених офісів, що потребують з'єднання в одну корпоративну мережу;
- б) наказ по ВНТУ № 254 від 2 жовтня 2019 р. про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

2. Мета і призначення МКР

- а) мета – вдосконалення процесу проектування корпоративних мереж за рахунок застосування математичних моделей;
- б) призначення розробки – застосування комплексної математичної моделі для проектування корпоративної комп'ютерної мережі.

3. Вихідні дані для виконання МКР

- технічна література;
- математичні моделі комутаторів;
- комплексна математична модель.

4. Вимоги до виконання МКР

- удосконалити метод локальних динамічних моделей;
- удосконалити потокові моделі маршрутизації;
- розробити комплексну математичну модель.

5. Етапи МКР та очікувані результати

| № етапу | Назва етапу | Термін виконання | | Очікувані результати |
|---------|---|------------------|----------|--|
| | | початок | кінець | |
| 1 | Аналіз технологій проектування корпоративних мереж | 16.10.19 | 24.10.19 | Аналітичний огляд літературних джерел, задачі досліджень |
| 2 | Розробка комплексної математичної моделі корпоративної мережі | 24.10.19 | 05.11.19 | Логічні моделі, розділ |
| 3 | Проектування корпоративної мережі на основі комплексної математичної моделі | 05.11.19 | 15.11.19 | розділ |
| 4 | Апробація та/або впровадження результатів дослідження | 15.11.19 | 20.11.19 | тези доповідей /акт впровадження |
| 5 | Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу і/або презентації | 20.11.19 | 30.11.19 | пояснювальна записка, графічний матеріал і/або презентація |

6. Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відзив наукового керівника, відзив опонента, протоколи складання державних екзаменів, анотації до МКР українською та іноземною мовами, нормоконтроль про відповідність оформлення МКР діючим вимогам, акт впровадження.

7. Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів графічної та розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, затвердженою наказом ректора.

8. Вимоги до оформлення МКР

Вимоги викладені в МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВКАХ до дипломного проектування, ДСТУ_ 3008-15, ДСТУ 3974-2000 «Правила виконання дослідно-конструкторських робіт. Загальні положення» та діючого ГОСТ 2.114-95 ЕСКД.

9. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом

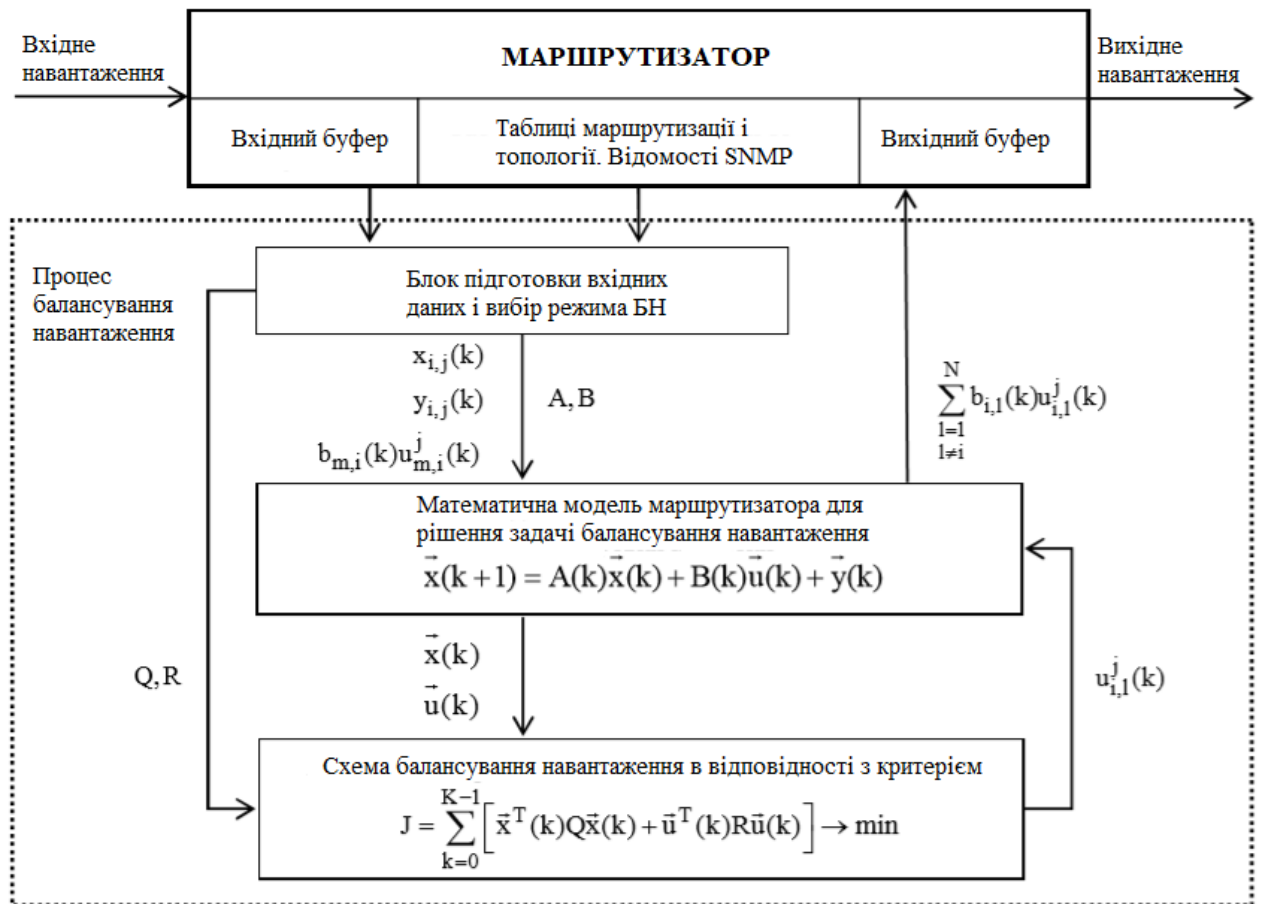
Відсутні.

Технічне завдання до виконання прийняв _____ Шостак С. В.

Додаток Б – Класифікація інформаційних систем корпоративних мереж



Додаток В – Структурна схема роботи методу локальних динамічних моделей



Додаток Г – Результати аналізу поточкових моделей для структури А1

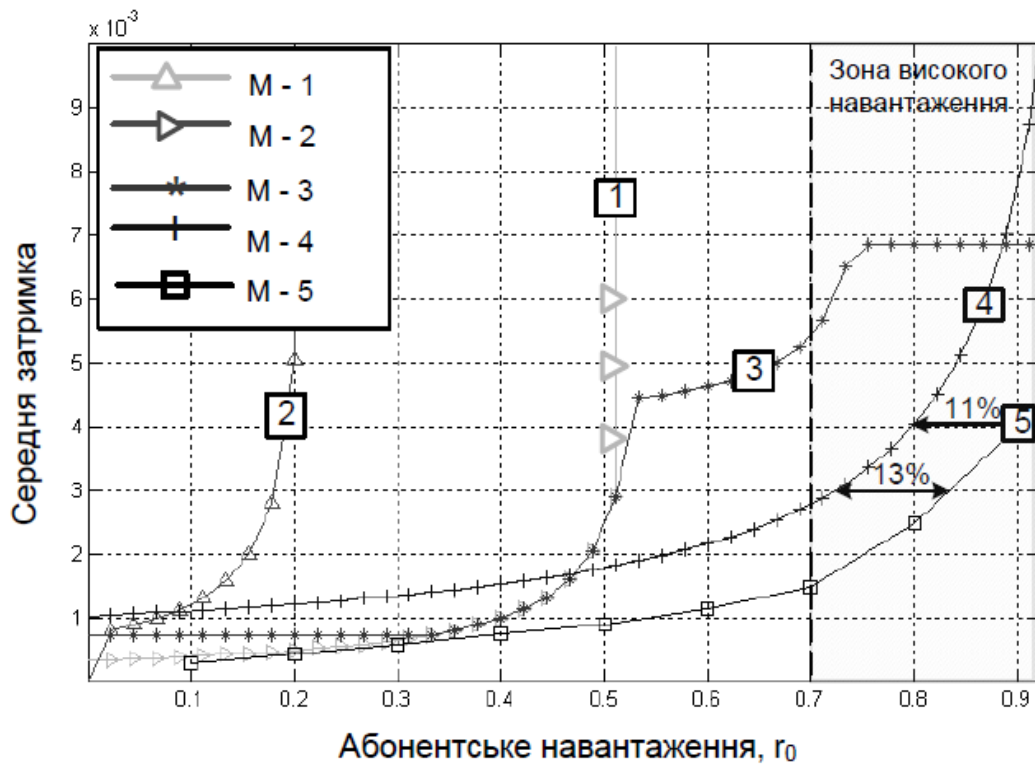


Рисунок Г1 – Середня затримка у структурі А-1 у відсотках

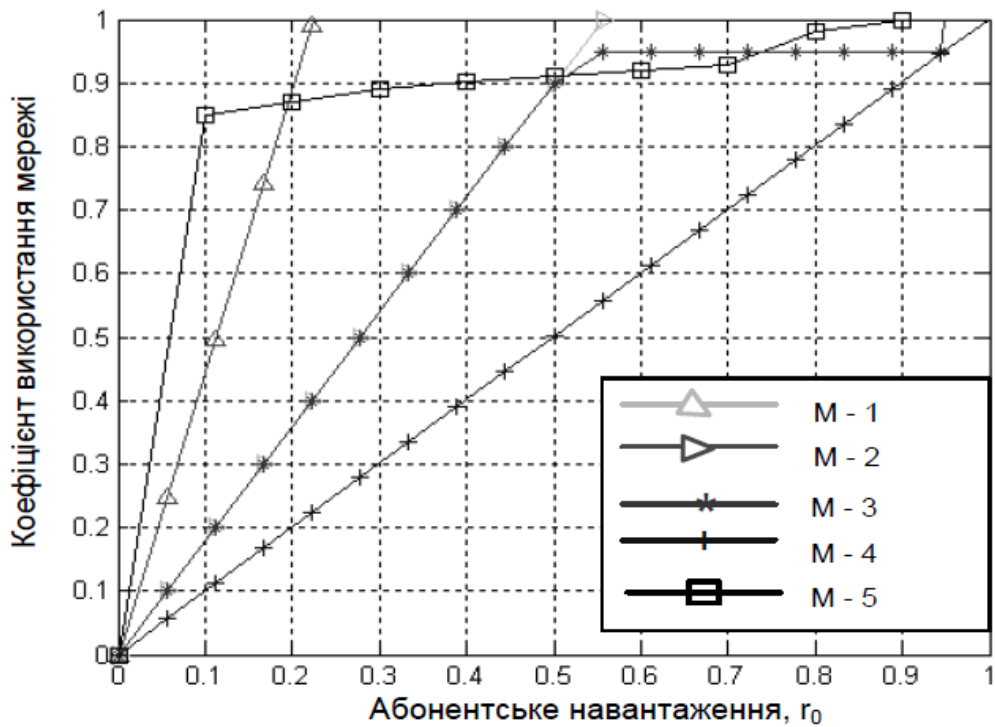


Рисунок Г2 – Коефіцієнт використання структури А-1

Додаток Д – Результати аналізу поточкових моделей для структури А2

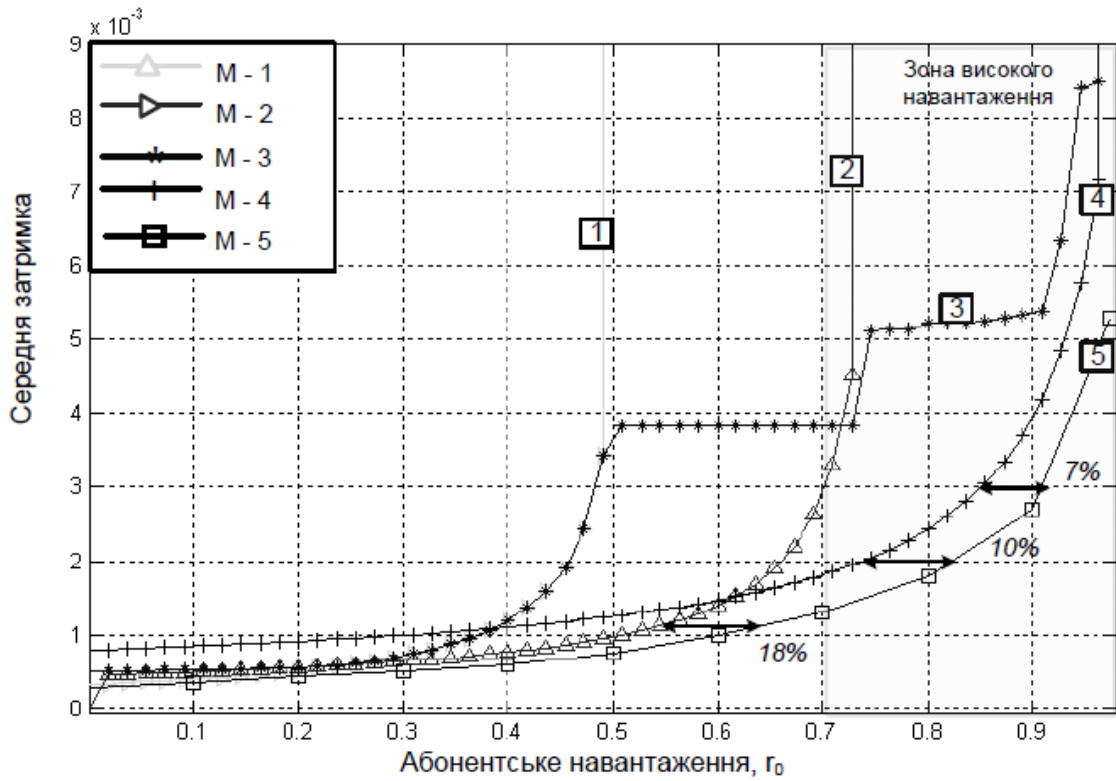


Рисунок Д1 – Середня затримка у структурі А-2 у відсотках

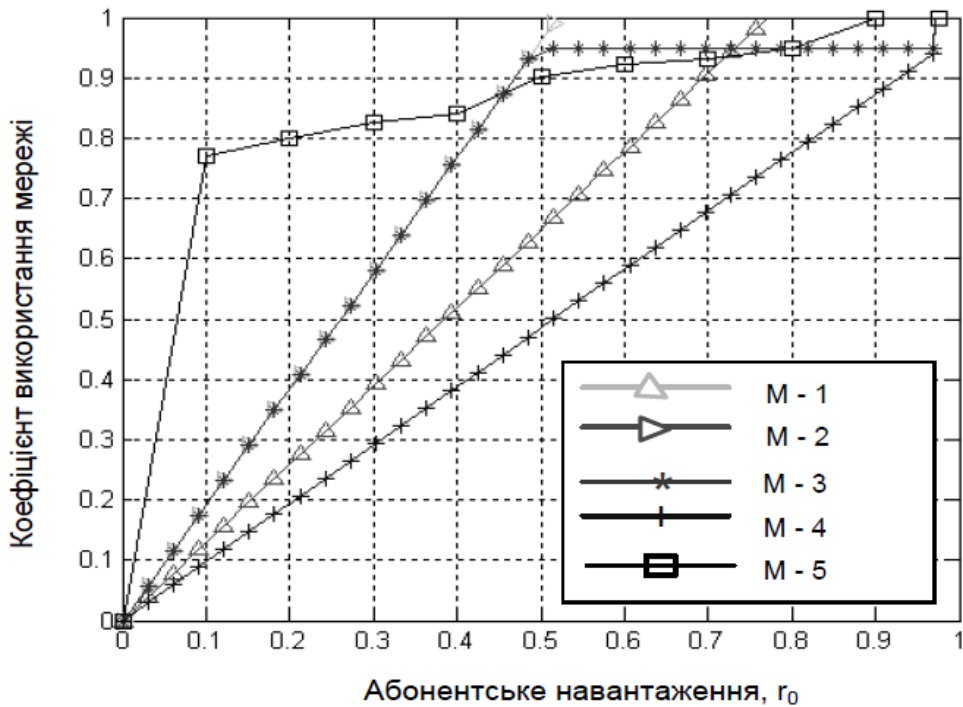


Рисунок Д2 – Коефіцієнт використання структури А-2

Додаток Е – Послідовність дій при проектуванні корпоративної мережі

