

Вінницький національний технічний університет  
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії  
Кафедра обчислювальної техніки

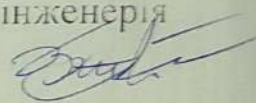
## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:


Технологія моніторингу та прогнозування трафіку в мережі провайдера  
послуг Інтернет

### ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА

Виконав студент 2 курсу, групи ІКІ-21м  
спеціальності 123 — Комп'ютерна інженерія

Кушнір Б.В. 


Керівник к.т.н., доц. каф. ОТ

Захарченко С.М. 

"21 " 12

2022 р.

Опонент к.т.н., доц. каф. МБІС

Карпинець В.В. 

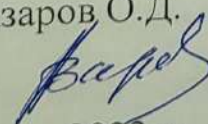
"22 " 12

2022 р.

Допущено до захисту

д.т.н., проф. Азаров О.Д.

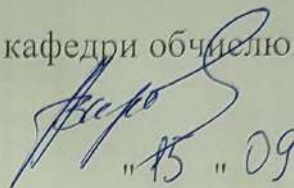
"23 " 12

2022 р. 

Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії  
Кафедра обчислювальної техніки  
Освітній рівень — магістр  
Спеціальність — 123 Комп'ютерна інженерія

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри обчислювальної техніки



"15" "09"

О.Д. Азаров  
2022 р.

### **ЗАВДАННЯ**

#### **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

студенту **Кушніру Богдану Володимировичу**

1 Тема роботи «Технологія моніторингу та прогнозування трафіку в мережі провайдера послуг Інтернет» керівник роботи к.т.н., проф. Захарченко С.М., затверджено наказом вищого навчального закладу від 15.09.2022 року № 205-А.

2 Строк подання студентом роботи 10.12.22 р.

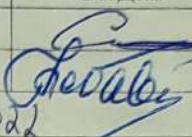
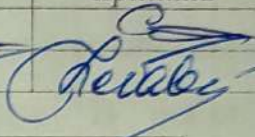
3 Вихідні дані до роботи: база даних з статистикою мережевого обладнання, доступ до конфігурації обладнання інтернет-провайдера, метод розрахунку щільності ймовірностей часу очікування пакетів у черзі та довжини черги в мережі інтернет-провайдера.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, аналіз різновидів трафіку, мережевих характеристик та методів для забезпечення якості транспортування, розробка методів розрахунку середнього часу очікування пакетів у черзі в мережі інтернет-провайдера, обробка статистичних даних мережі інтернет-провайдера, економічна частина.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): технічне завдання, фрагмент схеми мережі інтернет-провайдера, графіки вхідного та вихідного трафіку на мережевих інтерфейсах, зовнішній вигляд обладнання.

6 Консультанти розділів роботи наведені у таблиці 1.

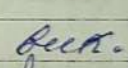













Таблиця 1 — Консультанти розділів КМКР

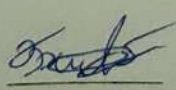
| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата  |   |
|--------|---|---|---|
|        |   | завдання видав  | завдання прийняв  |
| 1-3    | к.т.н., проф. каф. ОТ Захарченко С.М.     |   |   |
| 4      | к.е.н., проф. каф. ЕПВМ Небава М. І.      |  |  |


7 Дата видачі завдання 06.09.2022

8 Календарний план виконання МКР наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 — Календарний план КМКР

| № з/п | Назва етапів МКР  | Строк виконання | Підпис  |
|-------|---|-----------------|---|
| 1     | Постановка задачі   | 09.09.2022      |  |
| 2     | Аналіз різновидів трафіку та мережевих характеристик                                  | 11.09.2022      |  |
| 3     | Розробка методів розрахунку середньої швидкості                                       | 19.09.2022      |  |
| 4     | Розробка методу визначення ефективної смуги пропускання                               | 01.10.2022      |  |
| 5     | Розрахунок аналогової частини   | 20.10.2022      |  |
| 6     | Робота з ПЗ для збору статистики  | 05.11.2022      |  |
| 7     | Аналіз статистичних даних, зібраних з реальної мережі інтернет-провайдера.            | 05.11.2022      |  |
| 8     | Розрахунок економічної частини  | 20.11.2022      |  |
| 9     | Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу                          | 21.11.2022      |  |
| 10    | Виконання магістерської кваліфікаційної роботи  | 01.12.2022      |  |
| 11    | Перевірка якості виконання магістерської кваліфікаційної роботи та усунення недоліків | 15.12.2022      |  |
| 12    | Підписи супроводжувальних документів у керівника, опонента, нормоконтролера           | 19.12.2022      |  |
| 13    | Перевірка «антиплагіат»   | 16.12.2022      |  |
| 14    | Попередній захист   | 24.11.2022      |  |

Студент  Кушнір Б.В.

Керівник проекту (роботи)  Захарченко С.М.

## АНОТАЦІЯ

УДК 004.7 (075)

Кушнір Б.В. Технологія моніторингу та прогнозування трафіку в мережі провайдера послуг Інтернет. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 123 — Комп'ютерна Інженерія, освітня програма — комп'ютерна інженерія. Вінниця: ВНТУ, 2022. 103 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 20 назв; рис.: 24; табл.: 9.

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розробці методів розрахунку швидкості передачі пакетів та ефективній смузі пропускання для різної кількості користувачів в мережі інтернет-провайдера. В роботі розраховано залежності коефіцієнту навантаження мережі від якості сервісу, який надається інтернет-провайдером. Проаналізовано щільність ймовірності розподілу інтенсивності надходження пакетів у однолінійних системах масового обслуговування.

Наведені результати аналітичного та імітаційного моделювання процесу передачі даних по мережі Ethernet, результати аналізу середньої довжини черги та часу очікування пакетів у пристрої обслуговування інтернет-провайдера, результати експериментального дослідження комутатора третього рівня.

Ключові слова: інтернет-провайдер, параметри трафіку, якість обслуговування, ефективна смуга пропускання, вхідний трафік.

## ABSTRACT

UDC 004.7 (075)

Kushnir B.V. Technology for monitoring and forecasting traffic in the Internet service provider's network. Master's thesis on specialty 123 — Computer Engineering, educational program — computer engineering. Vinnytsia: VNTU, 2022. 103 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 20 titles; fig.: 24; tab.: 9.

The master's thesis is devoted to the development of methods for calculating the speed of packet transmission and the effective bandwidth for different numbers of users in the Internet provider's network. The paper calculates the dependence of the network load factor on the quality of the service provided by the Internet provider. The probability density of the distribution of the intensity of the arrival of packages in one-line mass service systems is analyzed.

The results of analytical and simulation modeling of the process of data transmission over the Ethernet network, the results of the analysis of the average queue length and packet waiting time in the service device of the Internet provider, and the results of the experimental study of the third-level switch are given.

Keywords: Internet provider, traffic parameters, quality of service, effective bandwidth, incoming traffic.

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ВСТУП.....  | 8  |
| 1 МЕРЕЖА ISP-ПРОВАЙДЕРА. РІВЗНОВИДИ ТРАФІКУ, МЕРЕЖЕВІ<br>ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА МЕТОДИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ<br>ТРАНСПОРТУВАННЯ..... | 10 |
| 1.1 Класифікація інтернет-провайдерів, структура мережі ISP-провайдера  | 10 |
| 1.1.1 Технології передачі даних в мережі інтернет-провайдера .....  | 10 |
| 1.1.2 Класифікація провайдерів по видам послуг, які вони надають .....  | 15 |
| 1.1.2.1 Безпосередній або прямий доступ (доступ по виділеній лінії).....  | 16 |
| 1.1.2.2 Підключення по технології ADSL (Asymmetric digital subscriber<br>lines).....  | 16 |
| 1.1.2.3 Підключення через технологію GPON (Gigabit Passive Optical<br>Network) .....  | 17 |
| 1.1.2.4 Безпроводний доступ (Радіодоступ).....  | 18 |
| 1.1.2.5 IP-телефонія.....   | 19 |
| 1.1.2.6 Хостинг .....   | 20 |
| 1.2 Мережеві характеристики притаманні інтернет-провайдера. Методи<br>обробки інформації в мережі інтернет-провайдера .....       | 20 |
| 1.2.1 Характеристики та сучасні вимоги до мережі Інтернет .....   | 20 |
| 1.2.2 Послуга CIR та якість обслуговування.....   | 21 |
| 1.3 Керування чергами в мережі інтернет-провайдера.....   | 27 |
| 1.3.1 FIFO .....  | 29 |
| 1.3.2 WQF.....  | 29 |
| 1.3.3 RED.....  | 29 |
| 1.3.4 Черги з пріоритетами .....  | 30 |

|                  |             |                        |               |             |  |                          |             |                |
|------------------|-------------|------------------------|---------------|-------------|--|--------------------------|-------------|----------------|
|                  |             |                        |               |             | <b>08-23.КМКР.007.00.000 ПЗ</b>  |                          |             |                |
| <i>Змн.</i>      | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i>        | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |  |                          |             |                |
| <i>Розроб.</i>   |             | <i>Кушнір Б.В.</i>     |               |             | <b>Технологія моніторингу та<br/>прогнозування трафіку в мережі<br/>провайдера послуг Інтернет</b> | <i>Літ.</i>              | <i>Арк.</i> | <i>Аркушів</i> |
| <i>Перевір.</i>  |             | <i>Захарченко С.М.</i> |               |             |  |                          | 6           | 103            |
| <i>Реценз.</i>   |             | <i>Карпінець В.В.</i>  |               |             |  | <i>ВНТУ, гр. 1КІ-21м</i> |             |                |
| <i>Н. Контр.</i> |             | <i>Швець С. І.</i>     |               |             |  |                          |             |                |
| <i>Затверд.</i>  |             | <i>Азаров О. Д.</i>    |               |             |  |                          |             |                |

|  |     |
|--|-----|
| 1.3.5 Довільні черги .....   | 31  |
| 1.4 Система моніторингу Zabbix .....   | 33  |
| 2 РОЗРОБКА МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ СЕРЕДНЬОГО ЧАСУ ОЧІКУВАННЯ<br>ПАКЕТІВ У ЧЕРЗІ В МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ-ПРОВАЙДЕРА .....                   | 37  |
| 2.1 Аналітична та імітаційне моделювання процесу передачі даних по<br>мережі Ethernet .....                                      | 37  |
| 2.2 Імітаційне моделювання .....   | 47  |
| 2.3 Алгоритм розрахунку розміру буферу в мережі інтернет-провайдеру..  | 48  |
| 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ .....   | 62  |
| 3.1 Обробка статистичних даних 4-х користувачів у мережі ПП «Радіонет»<br>.....  | 62  |
| 3.2 Аналіз трафіку та характеристика поведінки інтернет-користувачів у<br>мережі ПП «Радіонет» .....                             | 68  |
| 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....   | 75  |
| 4.1 Комерційний та технологічний аудит науково-технічної розробки .....  | 75  |
| 4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної (дослідно-<br>конструкторської) роботи .....                             | 79  |
| 4.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її<br>можливої комерціалізації потенційним інвестором..... | 84  |
| 4.3.2 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності. ....   | 87  |
| ВИСНОВКИ .....   | 91  |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....   | 92  |
| ДОДАТОК А Технічне завдання .....  | 98  |
| ДОДАТОК Б Теоретичні розрахунки параметрів: $\chi$ та $\phi$ .....   | 98  |
| ДОДАТОК В Графіки передачі даних на кожному порті .....  | 100 |
| ДОДАТОК Г Протокол перевірки кваліфікаційної роботи .....  | 103 |

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження** полягає в тому, що з кожним роком можна спостерігати колосальний ріст кількості користувачів, з такою ж швидкістю збільшується пропускна здатність каналів у інтернет-провайдерів.

Постачальникам послуг Інтернет добре відомо, що кінцевих користувачів цікавить швидкість, з якою вони можуть отримувати дані. Тому, між користувачем та провайдером будуються компромісні відносини, виходячи з фінансового положення користувача та можливостей інтернет-провайдера.

Такий компроміс реалізується у так званій послугі CIR (Commitment Information Rate) [4, 12]. При купівлі віртуального каналу укладається контракт на використання мінімальної пропускної спроможності, відповідно до обсягу даних, який планується передавати по мережі провайдера для виходу в мережу Інтернет. Але, окрім пропускної здатності каналу, на швидкість передачі даних дуже впливає фактор втрати пакетів. Тому, постачальники послуг можуть створювати черги великого об'єму, однак збільшення черг призводить до появи затримок в трафіку реального часу. Враховуючи, середню кількість інтерфейсів на транзитному шляху, який проходить пакет по всій ланці провайдера — це може зайняти декілька секунд. Це може викликати, наприклад, порушення цілісності фрагментованого пакету або затримку доставки даних для додатку чутливим до затримок, що зводить функціональність додатку до нуля.

**Основною задачею** даної роботи є — аналіз та розробка методів розрахунку параметрів трафіку, таких як: інтенсивність отримання пакетів, інтенсивність обслуговування, середній час очікування пакетів у черзі, довжина черги, та завантаженість вузла зв'язку інтернет-провайдера.

**Мета роботи** полягає в аналізі методів розрахунку параметрів вхідного трафіку інтернет-провайдера, а також дослідження впливу параметрів трафіку на якість обслуговування, наданий користувачу інтернет-провайдером.



Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі **задачі**:

- проаналізувати доступ в Інтернет з гарантованою швидкістю доставки трафіку;
- визначення ефективної ширини смуги пропускання;
- проаналізувати статистичні дані, зібраних з реальної мережі.

Для досягнення поставленої в роботі мети використовуються такі **методи дослідження**:

- системний аналіз;
- теорія ймовірності;
- математична статистика;
- комбінаторика.

**Наукова новизна** полягає у вдосконаленні методу аналізу параметрів трафіку комп'ютерної мережі, що дозволило підвищити точність визначення необхідної пропускнуєї спроможності каналів передачі даних.

**Практичне значення** роботи полягає в тому, що розроблено методикку визначення середньої затримки пакету та довжини черги в мережі інтернет-провайдера; результати аналізу параметрів трафіку, залежно від необхідної якості обслуговування можуть бути корисні при побудові мережі інтернет-провайдера. Результати магістерської роботи були запроваджені в ТОВ «Скайстрім» та експлуатуватимуться при реалізації проектів по запуску та обслуговуванню вузлів зв'язку.

**Апробація** роботи здійснена в доповіді на LI Науковій-технічній конференції факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії (2022).

# **1 МЕРЕЖА ISP-ПРОВАЙДЕРА. РІВЗНОВИДИ ТРАФІКУ, МЕРЕЖЕВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА МЕТОДИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТРАНСПОРТУВАННЯ**

## **1.1 Класифікація інтернет-провайдерів, структура мережі ISP-провайдера**

### **1.1.1 Технології передачі даних в мережі інтернет-провайдера**

Початок розвитку мережі Інтернет в Україні припадає на 90-ті роки ХХ століття [5]. Як і все, що відновилось до сфери високих технологій, розвиток мережі Інтернет ріс у геометричній прогресії. З кожним роком можна було спостерігати колосальний ріст кількості користувачів, з тою ж неймовірною швидкістю збільшувалась і пропускна спроможність каналів у інтернет-провайдерів.

В загальнодоступному Інтернеті мережі доступу з'єднуються з «іншою мережею» за допомогою ієрархій мереж інтернет-провайдерів. Внизу ієрархії знаходяться мережі резидентних інтернет-провайдерів, до яких, зазвичай, під'єднуються кінцеві робочі системи. Верхня частина ієрархії представлена мережами інтернет-провайдерами першої ланки. З одного боку, мережі цих інтернет-провайдерів мають типові риси комп'ютерних мереж — наявністю маршрутизаторів та зв'язку з іншими мережами. З другого боку, мережі інтернет-провайдерів першої ланки мають свою специфіку. По-перше, їх лінії зв'язку зазвичай забезпечують швидкість передачі в діапазоні від 2,5, до 10 Гбіт/с. По-друге, маршрутизатори мереж інтернет-провайдерів першої ланки повинні функціонувати з гранично високими швидкостями для того, щоб не викликати затримок пакетів. По-третє, всі мережі інтернет-провайдерів першої ланки напряму під'єднані між собою. По-четверте, у кожній мережі інтернет-провайдера першої ланки підключена велика кількість мереж інтернет-провайдерів другої ланки та інших комп'ютерних мереж.

Мережі інтернет-провайдерів першої ланки часто називають магістралями Інтернету. До магістральних компаній відносяться: Dataline, IT-SYSTEMS, Omegatelecom, Eurotelecom.

Мережі інтернет-провайдерів другої ланки, як правило, володіють регіональною територією охоплення та під'єднуються до декількох мереж першої ланки, а також можуть з'єднуватися з мережами тієї ж ланки. До таких провайдерів відносяться ТОВ «Скайстрім», ТОВ «Mobit», «HomeNet», ПрАТ «Датагруп».

Маршрутизатор — головний компонент вузла. Він забезпечує направлення IP (Internet Protocol) трафіку по вказаним адресам, регулювання полоси пропускання між підсистемами вузла та мережею Інтернет. На основі інформації про топологію мережі (таблиці маршрутизації) та певних правил, маршрутизатор приймає рішення про пересилку пакетів мережевого рівня моделі OSI (International Standardization Organization) отримувачу. Зазвичай маршрутизатор застосовується для зв'язку декількох сегментів мережі [10]. Маршрутизатори можуть бути багатопротокольними, тобто, розуміють декілька форматів адрес мережевого рівня и можуть працювати з декількома протоколами маршрутизації: RIP (Routing Information Protocol), OSPF (Open Shortest Path First), EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol), BGP (Border Gateway Protocol) та інші [19]. До таких відносяться маршрутизатори компанії Cisco, які використовують більшість компаній на рівні другої ланки.

Комутатор — мережевий пристрій, який функціонує на рівні каналу передачі даних: з'єднує декілька мережевих сегментів в один логічний мережевий сегмент. Комутатор керує трафіком на основі протоколу канального рівня моделі OSI, він у змозі контролювати MAC-адреси (Media Access Control Addresses) під'єднаних до нього пристроїв та може забезпечувати трансляцію пакетів із одного стандарту в інший. Особливо успішно результати цієї можливості представлені в комутаторах третього рівня, тобто на пристроях у

яких можливості максимально наближені до можливостей маршрутизатора [14]. Лінійку таких комутаторів випускають компанії Cisco, Hewlett-Packard, Edge-Core та ін.

Система O & M (Operation & Management) дозволяє реалізувати контроль за справністю всіх компонентів системи, виявляти можливі неполадки в роботі вузла, проводити збір інформації про стан системи для подальшого аналізу і т.д. Іншою важливою можливістю системи O & M — централізоване конфігурування компонентів вузла [4].

Для автентифікації, авторизації та обліку всіх підключень призначена білінгова система. В її склад входить RADIUS-сервер та білінговий сервер. Тарифи залежать від часу, об'єму трафіку та використовуваних служб. На серверах служб інтернет-провайдер вмістить: WWW-сервер, FTP-сервера, поштові сервера, сервера служби доменних імен (Domain Name System, DNS), хостинг. Сервери служб взаємодіють з робочими станціями користувачів по протоколам прикладного рівня OSI: HTTP (Hypertext Transfer Protocol), FTP (File Transfer Protocol), SMTP (Simple Mail Transfer Protocol), POP3 (Post Office Protocol) [19].

Брандмауер — це система або комбінація систем, які дозволяють розділити мережі на дві або більше частин та реалізувати набір правил, який визначає умови проходження пакетів з однієї частини мережі в іншу. Як правило, брандмауери функціонують на будь-якій UNIX платформі.

Основними компонентами вузла, які відповідають за базові послуги, являються сервера доступу RAS (Remote Access Server). В RAS агрегуються потоки трафіку від користувачів комутуючого доступу та передаються далі, а також з їх допомогою під'єднуються клієнти по виділеній лінії. RAS вмістить в собі: інтерфейс з мережею, через яку підключається віддалений користувач, засоби інкапсуляції та виділення дейтаграм протоколів третього рівня моделі OSI в пакети канального рівня, засоби автентифікації. Інтерфейс між RAS та

білінговою системою реалізується за допомогою протоколу RADIUS (Remote Authentication Dial In User Service) [2], який забезпечує автентифікацію, авторизацію користувачів підключених до пристроїв доступом та обліком проведених сеансів.

Вибір технології канального рівня, працюючий в сегментах, підмережах та на магістральній мережі інтернет-провайдера, являється стратегічним питанням. На початку 90-х років в мережах працювало достатньо велика кількість технологій канального рівня: Ethernet, Token Ring, ATM, FDDI.

Основним напрямком вдосконалення технологій мереж пов'язано з технологією Ethernet. Цей стандарт був розроблений корпорацією Xerox та реалізований сумісно з Intel та Digital Equipment Corporation (DEC) в 1978 році [7]. Основана на стандарті IEEE 802.3, технологія Ethernet передає дані зі швидкістю 10 Мбіт/с та використовує множинний доступ. В мережі Ethernet пристрої перевіряють наявність сигналу в мережевому каналі. Якщо канал не використовує ніякий інший пристрій, то пристрій Ethernet передає дані. Кожна робоча станція в цьому сегменті локальної мережі аналізує дані та визначає, чи призначені вони їй. Така схема найбільш дієва при невеликій кількості користувачів або незначній кількості переданих в сегменті повідомлень. При збільшенні кількості користувачів мережа буде працювати не так ефективно. У цьому випадку, оптимальним рішенням буде збільшенням числа сегментів для обслуговування груп з меншою кількістю користувачів. Між тим, останнім часом спостерігається тенденція надавати кожній настільній системі виділені лінії 10 Мбіт/с. Ця тенденція визначається доступністю недорогих комутаторів Ethernet.

Fast Ethernet має специфікацію IEEE 802.3u, яка офіційно прийнята 26 жовтня 1995 року [13]. Технологія Fast Ethernet визначає стандарт протоколу канального рівня для мереж, працюючих при використанні як мідного, так і оптоволоконного кабелю із швидкістю 100Мбіт/с. Нова специфікація являється

наслідником стандарту Ethernet IEEE 802.3, використовуючи такий ж формат кадру та множинний доступ [16].

Мережі Gigabit Ethernet (стандарт IEEE 802.3z) сумісні з мережевою інфраструктурою Ethernet та Fast Ethernet, але функціонує зі швидкістю 1 Гбіт/с [19]. Gigabit Ethernet — потужне рішення, що дозволяє усунути «вузькі місця» основної мережі (куди підключаються мережеві сегменти). Вони виникають через: появу вимогливих до смуги спроможності додатків, все більшого збільшення непередбачуваних потоків трафіку інтрамереж та додатків мультимедіа. Gigabit Ethernet надає спосіб плавного переходу груп Ethernet та Fast Ethernet на нову технологію.

ATM (Asynchronous Transfer Mode) або режим асинхронної передачі — це технологія комутації, в якій для пересилки даних застосовуються комірки фіксованої довжини в 53-и байти. Функціонуючи з високими швидкостями, мережі ATM підтримують інтегровану передачу мови, відео та даних в одному каналі, граючи роль і локальних, і територіально-розподілених мереж. Оскільки їх робота потребує спеціальної інфраструктури, такі мережі, в основному, застосовуються в якості магістральних мереж. Перші послуги ATM пропонувались в основному зі швидкістю 25 Мбіт/с. Зараз більшість операторів пропонують швидкість 155 Мбіт/с, 622 Мбіт/с, 2.488 Гбіт/с, але зазвичай у такій смузі немає потреби, до того ж вартість таких послуг достатньо велика [9]. Для більшості користувачів, які планують організувати доступ до ATM, основною проблемою є вартість обладнання.

FDDI (Fiber Distribute Data Interface) також являє собою кільцеву технологію, але вона розроблена для оптоволоконного кабелю та використовується в магістральних мережах. FDDI стандартизована комітетом по стандартам ANSI X3T9.5 в середині 80-х років [19]. Даний протокол аналогічний Token Ring та передбачає передачу маркера по кільцю від однієї робочої станції до іншої. На відміну від Token Ring, мережі FDDI зазвичай складається з двох

кругів, маркери яких, циркулюють в протилежних напрямках. Це робиться задля того, щоб забезпечити безперебійну роботу мережі — для відмовостійкості в одному з кілець. Мережі FDDI підтримують швидкість 100 Мбіт/с та передачу даних на великі відстані. Максимальна довжина кола мережі FDDI складає 100 км, а відстань між робочими станціями — 2 км [16].

В цілому, технології сімейства Ethernet являються найбільш перспективним та дешевим рішенням для створення мереж любых розмірів — від мережі масштабів локальної мережі приватного будинку до мереж кампусів та мегаполісів.

### 1.1.2 Класифікація провайдерів по видам послуг, які вони надають

Інтернет має колосальний потенціал, який став дуже вадливим у різних областях людської діяльності, де хоч якось фігурує інформація. Ця інформація може бути любого роду: наукова, комерційна, політична, гуманітарна, знаннями, накопичені людством, або носити характер реклами.

Темпи технічного прогресу залежать від швидкості накопичення інформації про навколишній світ та про нас самих. Один із параметрів, який визначає цей процес — затримка з моменту отримання інформації та її отримання зацікавленими лицьми. Інтернет скоротив затримку та став самим відомим та швидким засобом масової інформації.

Використання інтернету стало популярним в області медицини та освіти. Консультації пацієнтів через інтернет неможливо переоцінювати, адже важко розраховувати на висококваліфіковану допомогу у віддалених районах України. Дистанційне навчання може вирішити проблему посібників та відкрити нові можливості у додатковій освіті [12].

Розглянемо основні види послуг, які надає інтернет-провайдер своїм користувачам. Наприклад, доступ в Інтернет. Розглянемо декілька видів доступу до мережі Інтернет.

### 1.1.2.1 Безпосередній або прямий доступ (доступ по виділеній лінії)

Безпосередній доступ пропонує найбільш гнучке та високошвидкісне підключення до мережі Інтернет. Інтернет-провайдер підключає до порту свого комутатора другого чи третього рівня виділену лінію, на порту налаштовує VLAN (Virtual LAN, віртуальна локальна мережа) та «прокидає» його далі до комутатора користувача. Порт комутатора користувача кабелем з'єднується з ПК користувача або з локальною мережею користувача. При цьому методі підключення швидкість передачі даних може бути рівною пропускну здатності каналу інтернет-провайдера, але, як правило, провайдер ділить свою смугу пропускання між всіма користувачами та приймає міри по обмеженню швидкості передачі для ефективного використання своїх ресурсів. Дане рішення вигідно широкому спектру компаній, яким необхідно щоденно використовувати значну кількість ресурсів інтернет, обмінюватись великим об'ємом інформації.

Наприклад, так більшість своїх клієнтів у багатонаселених пунктах підключає до мережі Інтернет компанія ПП «Радіонет» та ТОВ «Скайстрім», використовуючи технології Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet.

### 1.1.2.2 Підключення по технології ADSL (Asymmetric digital subscriber lines)

Технологія ADSL, на теперішній час, втратила свою популярність, але її все ще можливо зустріти у далеких кутках України. ADSL — це телекомунікаційна технологія постійного некомутуючого зв'язку користувача, яка дозволяє передавати дані з швидкістю до 8 Мбіт/с по звичайним телефонним лініям [15]. Технологія дозволяє надавати послуги, потребуючі високошвидкісного цифрового каналу передачі даних по існуючим кабельним телефонним мережам.

Схема підключення по технології ADSL доволі проста. На закінченнях діючої телефонної лінії встановлюються спеціальні пристрої (сплітери) — один



на АТС та один на території користувача. До сплітеру користувача під'єднується звичайний аналоговий телефон та ADSL-модем, який може виконувати функції маршрутизатора або мосту між локальною мережею користувача та прикордонним маршрутизатором провайдера. Для передачі даних використовується діапазон, який знаходиться вище смуги частот відведеної для передачі голосу (вище 4 КHz). При цьому зберігається можливість користуватися традиційними телефонними послугами одночасно з обміном даними.

### 1.1.2.3 Підключення через технологію GPON (Gigabit Passive Optical Network)

GPON — представник сімейства пасивних технологій оптичних мереж доступу PON. Технологію специфіковано у рекомендації ITU-T G.984. Серед інших технологій PON можна виділити застарілі: APON, BPON, EPON; та конкуруючу GEPON. GEPON є стандартом IEEE, та здебільшого присутня на азійських ринках, у глобальному світі перевагу надано GPON. Серед переваг GPON можна відзначити найбільшу швидкість, синхронний формат кадру, інтеграцію з ATM та TDM технологіями та визначені плани розвитку.

Мережа GPON складається впершу чергу з станційного терміналу OLT (Optical Line Terminal), якій містить у собі певну кількість портів GPON (типово від 4 до 112) та порти Gigabit Ethernet або 10 Gigabit Ethernet для підключення до транспортної IP мережі.

Невід'ємною частиною також є абонентський термінал ONT (Optical Network Terminal). ONT може бути розрахованим на одного користувача та мати порти Ethernet, POTS та RF TV, або на групу користувачів, або на організацію, та мати порти Ethernet, xDSL, POTS, E1, RF TV.

Повністю пасивної оптичної розподільчої мережі між ними, яка складається зі сплітерів з коефіцієнтом розділення від 1:2 до 1:64, що розташовані централізовано, або розподілено.

Передача з OLT ведеться на довжині хвилі 1490 нм зі швидкістю 2,5 Гбіт/с, а прийом на довжині хвилі 1310 нм зі швидкістю 1,25 Гбіт/с. Таким чином забезпечується робота системи по одному волокну за принципом WDM. Асиметричність швидкостей потоку обумовлена характером трафіку низхідного протоку (закачування файлів, передача відео).

Побудова розподільної мережі GPON є цікавим і творчим процесом, при якому необхідно враховувати як технічні характеристики, так і економічні аспекти різних топологій. У міській місцевості раціональним є застосування сплітерів малої ємності (1:2 — 1:4 у зовнішній мережі), далі у будинку коефіцієнт сплітера залежить від кількості абонентів (1:8, 1:16, 1:24, 1:32, 1:64) і далі індивідуальне волокно іде до кожного з абонентів. У сільській місцевості переваги GPON проявляються навіть у більшій мірі. Тут раціональним є встановлення кінцевого сплітера в залежності від групи близьких один до одного домів. Також, окрім FTTH, GPON може використовуватися у FTTB та FTTC топологіях із застосуванням групових ONT.

Завдяки найвищим швидкостям та механізмам керування трафіком технологія GPON дозволяє надати найкращий та найякісніший пакет послуг та максимізувати прибутки оператора. Оптимізація капітальних витрат досягається завдяки концентрації великої кількості абонентів на одне волокно та централізацією та малою кількістю активного обладнання. Експлуатаційні витрати є головною статтею економії завдяки GPON. Головні фактори — централізація обладнання та керування мережею, проста та надійна пасивна інфраструктура мережі, відсутність активного обладнання всередині мережі, відповідно значна економія електроенергії та орендних витрат.

#### 1.1.2.4 Безпроводний доступ (Радіодоступ)

Радіодоступ — це оптимальний вибір для компаній, яким потрібен постійний високошвидкісний інтернет та не бажають залежати від наявності та

якості провідних комунікацій, але в першу чергу це рішення призначено для підключення користувачів, доступ до яких з використанням інших технологій утруднений або дуже дорогий. Технологія радіодоступу дозволяє оптимізувати затрати на доступ в Інтернет, виходячи з поточних потреб в трафіку. Радіодоступ є економічно-вигідним рішенням через невеликі щомісячні витрати на оренду радіочастоти, відсутності прив'язки до фізичного місцезнаходження користувача (у більшості випадків). Швидкість передачі даних може сягати до 50 Мбіт/с, в залежності від інсталюваного обладнання [3]. Для надання радіодоступу достатньо встановити щоглу з антеною на даху будівлі, забезпечивши її прямою видимістю на антену базової станції.

#### 1.1.2.5 IP-телефонія

IP-телефонія сьогодні об'єднує телефонні мережі та мережі передачі даних в єдину комунікаційну мережу. Рішення IP-телефонії комбінують голос та дані в одній мережі та пропонують дешеві міжнародні та міжміські дзвінки та цілий набір комунікаційних послуг будь-якому користувачу.

Поняття Voice over IP має на увазі не стільки використання мережі Інтернет в якості середовища передачі даних, скільки сам протокол IP та технології, які забезпечують надійну та високоякісну передачу голосової інформації в мережах пакетної комутації. Стандартизація голосових технологій на основі стеку TCP/IP та їх підтримка лідерами ринку пакетної телефонії забезпечує сумісність обладнання різних виробників та дозволяє створювати системи в яких можливі виклики з аналогового телефонного апарату на персональний комп'ютер, або з персонального комп'ютера на номер телефону, у рамках трьох сценаріїв IP-телефонії:

- телефон – телефон;
- комп'ютер – комп'ютер;

— комп'ютер – телефон.

#### 1.1.2.6 Хостинг

Хостинг — це розміщення інформації користувача на віртуальному Web-сервері. Віртуальний Web-сервер фізично розміщують на цілодобовому працюючому сервері, безпосередньо підключеному до швидкісних каналів Інтернет. Інформація користувача знаходиться у відведеному, для нього, дисковому просторі (каталог серверу). Оновлювати інформацію у цьому каталозі (завантажувати, переміщувати, видаляти застарілі файли) користувач може віддалено, наприклад, з офісного комп'ютера, підключаючись до мережі Інтернет через модем по телефонній лінії, або іншим способом.

### 1.2 Мережеві характеристики притаманні інтернет-провайдеру. Методи обробки інформації в мережі інтернет-провайдера

#### 1.2.1 Характеристики та сучасні вимоги до мережі Інтернет

Працюючи в мережі Інтернет, користувач формує певні вимоги до її характеристик. Наприклад, користувач може вимагати, щоб середня швидкість передачі його інформації через мережу не опускалася нижче 10 Мбіт/с. Тобто, в даному випадку, користувач задає той діапазон значень для середньої швидкості передачі інформації через мережу який для нього означає гарну якість сервісу. Вся більшість характеристик якості транспортних послуг можна віднести до однієї з наступних груп:

- продуктивність;
- надійність;
- безпека;
- характеристики, які мають значення тільки для постачальника послуг.

Перші три групи відповідають трьом найбільш важливим для користувача характеристикам транспортних послуг — можливості без втрат та переривань в обслуговуванні (надійність) передавати із заданою швидкістю (продуктивність) захищену від несанкціонованого доступу та підміни інформації (безпека). Зрозуміло, що постачальник мережевих послуг, прагнучи задовольнити потреби користувачів, також уділяє увагу цим характеристикам. В той же час, існує ряд важливих для постачальника характеристик мережі, які не цікавлять користувачів.

Справа в тому, що мережа обслуговує велику кількість користувачів, і постачальнику послуг потрібно організувати роботу своєї мережі таким чином, щоб одночасно задовольнити потреби всіх користувачів. Як правило, це серйозна проблема, так як основні ресурси мережі — лінії зв'язку та комутатори (маршрутизатори) поділяються між інформаційними потоками користувачів. Постачальнику необхідно знайти такий баланс в розподіленні ресурсів між конкуруючими потоками, щоб вимоги всіх користувачів були дотримані. Вирішення цієї задачі включає в себе планування та контроль витрат ресурсів у процесі передачі користувацького трафіку. Постачальника цікавлять ті характеристики ресурсів, за допомогою яких він обслуговує користувачів. Наприклад, його цікавлять продуктивність комутатора, так як постачальник повинен оцінити, яку кількість потоків користувачів він може опрацювати за допомогою даного комутатора. Для користувача продуктивність комутатора не представляє інтерес, йому важливий кінцевий результат — буде його потік обслугований якісно чи ні.

### 1.2.2 Послуга CIR та якість обслуговування

Послуги, які надаються в мережах передачі даних поділяються на три основні групи: мовлення, відео та передача пакетних повідомлень. Перша і друга група потребують необхідну кількість обслуговування (QoS) та гарантовану

ширину смуги пропускання. Передача повідомлень третьої групи допускає затримки.

Передача мовлення представляє собою сигнал з перемінною інтенсивністю надходження бітів. Є технічні можливості зменшення смуги частот, яка необхідна для передачі мовлення, за рахунок використання пауз. При цьому смуга частот зменшується приблизно в 10 раз з 64 КБіт/с до 6-8 КБіт/с [9]. Сигнали з низькою інтенсивністю мають відчутно більшу, чим зазвичай, затримку при її представленні у пакетному вигляді.

Стискання голосу в той же час може привести до погіршення якості передачі мовлення та збільшенню затримок. Згідно рекомендаціям ІТУ затримки для міжнародних дзвінків не повинна перевищувати 150 мс, а затримка на ланцюгах не повинна перевищувати 15-30 мс. Тому, вимоги мінімізації затримок також призводять до того, що кількість компресій/декомпресій повинно бути мінімальним [7, 16, 18].

Передача відеозображення може відбуватись із постійною інтенсивністю (вона досягається за допомогою спеціального буферу) або з перемінною. У першому випадку з'являється систематична затримка, з якою потрібно боротись за допомогою більш деталізованим алгоритмом керуванням буферу. У другому випадку негативним моментом являється сильна залежність інтенсивності потоку від вмісту відеозображення, який ускладнює оцінку розмірів буферу мультимплексу. Інтенсивність відеосигналу залежить від якості відтворення та змінюється від 1,5 Мбіт/с для якості, відповідним побутовим відеомагнітофонам, до 20 або 30 Мбіт/с — для телебачення високої чіткості [7, 13].

Особливістю передачі пакетних повідомлень з допустимістю деякої затримки являється можливість адаптації інтенсивності потоку до наявного вільного передавального середовища. Це дозволяє оптимізувати її використання. Транспортовані об'єми інформації сильно залежать від характеру документу.

Аналіз подібних систем ускладнюється необхідністю обліку умов передачі навантаження, породженою сучасними комунікаційними додатками, тобто наявністю багатьох класів навантаження з різноманітними вимогами до смуги пропускання, топологією мережі та подібним. Найбільш ефективною є схема, при якій вся смуга пропускання надається на правах абсолютного пріоритету мультимедійному навантаженню, а пакети нижчої пріоритетності використовують залишкову смугу пропускання.

Причиною перевантажень в мережі може бути вихід з ладу ділянок мережі (обрив ВОЛЗ, вихід з ладу обладнання), при якому на активну частину мережі падає більше навантаження, непередбачувані вимоги до смуги деяких видів трафіку і т.д. Відсутність механізмів керування такими ситуаціями приводить до переповнення буферу, втраті пакетів, погіршення якості зв'язку [10, 11].

Одним з важливих статистичних властивостей навантаження, які створюють сучасні додатки — це наявність залежностей між окремими її частинами, яка не зникає при зміні шкали часу в сторону збільшення, як це зазвичай відбувається з традиційними випадковими процесами. Процес передачі трафіку по мережі характеризується низкою якісних параметрів. Але характеристики передачі можна оцінювати двояко: із позиції користувача або з позиції адміністратора мережі інтернет-провайдера.

Якість обслуговування (QoS) визначається як низка інтегральних характеристик, які вказують ступінь задоволення користувача рівнем обслуговування. QoS визначає кількісні оцінки ймовірності того, що мережа буде передавати визначений потік даних між двома вузлами у відповідності з вимогами додатку чи користувача.

Технологія якості обслуговування здатна забезпечити розподіл трафіку по категоріям для забезпечення проходження більш пріоритетного трафіку по мережі з забезпеченням заданих параметрів та незалежно від конкуренції з боку іншого трафіку. Визначаючим при використанні технології якості

обслуговуванні є саме надання захисту найбільш пріоритетному трафіку від різного виду «обставин» зі сторони менш пріоритетного трафіку. Дуже важлива роль QoS для справедливого розподілу мережевих ресурсів та вироблення звички у користувачів очікувати від мережі виконання саме тих параметрів, що вони запитували. Потреба в цій технології збільшується по мірі того, як багаточисленні магістралі мереж з різними характеристиками і розробленою системою пріоритетів для різного типу трафіку об'єднуються для створення єдиної мережі масштабу підприємства або декількох підприємств. Модель QoS зображена на рисунку 1.1.

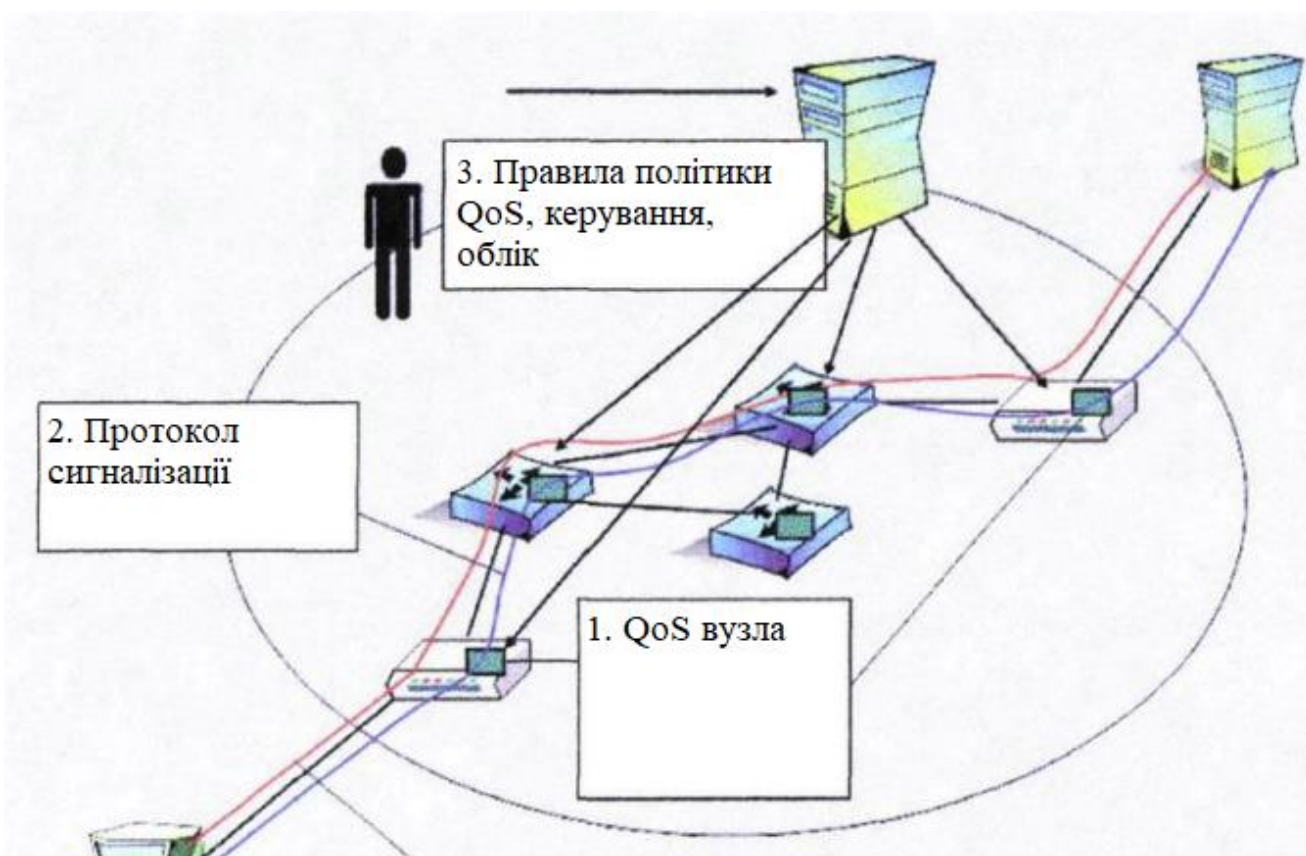


Рис. 1.1 — Модель служби QoS.

Оскільки дані, якими обмінюються два кінцевих вузла, проходять через деяку кількість транзитних мережевих пристроїв, таких як концентратори, комутатори та маршрутизатори, то підтримка QoS потребує взаємодії всіх



мережевих елементів на шляху трафіку, тобто з одного кінця в інший. Будь-які гарантії QoS настільки відповідають дійсності, наскільки їх забезпечує найбільш «слабкий» елемент в ланці між відправником та отримувачем. Тому, потрібно чітко розуміти, що підтримка QoS тільки в одному мережевому пристрої, нехай навіть в магістральному, може лише дуже незначно покращити якість обслуговування або ж не принести результати взагалі [11, 12].

В рекомендаціях ITU I.370 гарантована швидкість передачі інформації CIR визначається як: «Швидкість передачі інформації, яку гарантує мережа при нормальних умовах. Швидкість усереднюється за мінімальний проміжок часу. Швидкість CIR визначається в ході встановлення з'єднання» [12].

Основним моментом у цьому уривку є «нормальні умови», тобто інтернет-провайдери повинні проектувати свою мережу таким чином, щоб замовники при «нормальних умовах», надавалась би пропускна швидкість не менша CIR. Усереднення по часу грає тут важливу роль. Припустимо, що через лінію доступу з пропускною швидкістю 64 Кбіт/с інтернет-провайдер визначає одне віртуальне з'єднання з CIR, рівною 32 Кбіт/с. Це означає, що прийняв, наприклад, в перші півсекунди 32 Кбіт, мережа може відхилити всі інші біти, які прийшли за інші півсекунди. Тому, вводиться поняття узгодженого імпульсного об'єму переданої інформації (Committed Burst Size —  $B_c$ ) — максимального об'єму даних, яку мережа зобов'язана передавати за час  $T_c$ . Цей час вимірюють наступним чином:  $T_c = \frac{B_c}{CIR}$ , а по своїй сутності воно пропорційне нерівномірності трафіку [4].

Якщо пакети не вкладаються в рамки, задані параметрами CIR та  $B_c$ , то вони передаються із встановленим бітом DE (discard eligibility), який дозволяє мережі їх відкинути у випадку перевантаження. При цьому часто використовують ще один параметр — надлишковий імпульсний об'єм переданої інформації (Excess Burst Size —  $B_e$ ). Він визначає максимальний об'єм даних поверх  $B_c$  (надлишкові дані), які мережа намагається передати впродовж часу  $T_c$ .

Ймовірність доставлення даних  $V_e$ , які передаються з спеціальним бітом DE, очевидно, нижча ймовірність доставлення даних  $V_c$ . Всі дані, які перевищують об'єм  $V_e$ , мережа «відхиляє» [3].

Пропускна швидкість лінії доступу ділиться на три зони:

- узгодженні дані, які мережа зобов'язана передати;
- надлишкові дані (передаються зі встановленим бітом DE), які мережа намагається передати (успіх залежить від доступних у мережі ресурсів);
- всі дані поверх надлишкових, які мережа автоматично скидає.

Таким чином, орендна оплата за віртуальне підключення залежить від двох його параметрів: швидкості CIR і так званій швидкості при піковому навантаженні (Peak Rate, PR). Організувавши віртуальне підключення через лінію доступу 64 Кбіт/с та обравши CIR, рівною, наприклад, 16 Кбіт/с, можна визначити PR, рівною 32 або 64 Кбіт/с. Пакети, надіслані із швидкістю більше CIR, але менше PR, будуть передані з спеціальним бітом DE. Дані, які передаються зі швидкістю більше PR, відкидаються мережею автоматично [4].

Можливість зниження значення CIR, отже і економія коштів, залежить від того, як в мережі інтернет-провайдера обробляються надлишкові дані. Якщо мережа сильно обмежує передачу надлишкових даних, отже, пропускна швидкість віртуального з'єднання не набагато зможе перевищити швидкість CIR, яку, в цьому випадку, краще встановити практично рівною максимальній (піковій) швидкості передачі даних. Якщо мережа обмежує передачу надлишкових даних тільки в періоди свого максимального навантаження, то можна поступити наступним чином. Для додатків, у яких розподіл трафіку збігає з розподілом трафіку звичайних комерційних додатків (наприклад, для пересилання фінансових звітів у кінці робочого дня), слідус назначити CIR із значенням близьким до пікової швидкості передачі даних, а для інших додатків обирати більш низьку CIR. Якщо ж, мережа передає велику частину надлишкових даних, то CIR можна встановити максимально низькою, або навіть,

рівною нулю. Також потрібно відмітити, що вибір CIR залежить від типу трафіку: для трафіку «чутливого» до затримок, бажано назначати більш високу CIR.

У середовищі користувачів поширена помилка щодо того, що CIR надає гарантовану пропускну здатність, яка може тільки перевищуватись. Хоча, в дійсності інтернет-провайдер може гарантувати пропускну швидкість CIR, та повідомляти що обіцяна користувачам сумарна пропускну швидкість буде перевищувати фізичні можливості мережі, однак з комерційної точки зору це буде не вигідно, так як плата за послуги Інтернет нижче чи рівна платі за виділену лінію, а витрати на капітальне обладнання та обслуговуючий персонал суттєво вище по зрівнянню з виділеними лініями.

На практиці всі провайдери послуг Інтернет набирають клієнтів так, щоб їхнє загальне значення CIR перевищувало фізичні можливості мережі, та гарантує CIR тільки з деякою статистичною ймовірністю, щоб скористатись нерівномірним характером трафіку локальних мереж. Чим більше сумарне значення CIR буде перевищувати фізичні можливості мережі, тим менше буде статистична ймовірність досягнення (або перевищення) [12].

### 1.3 Керування чергами в мережі інтернет-провайдера

Керування трафіку складається з набору механізмів та операцій, за допомогою яких пакети формуються в чергу для прийому/передачі через мережевий інтерфейс.

Керування трафіком можливо, тільки якщо у інтернет-провайдера в наявності деякий запас пропускну здатності з'єднання. Якщо його немає, тобто трафік дуже інтенсивний, тоді навіть самі витончені методи його балансування будуть безсильні. Коли черга на інтерфейс переповнюється, інтерактивні протоколи збільшують затримки між передачами, і тим самим знижують споживаючу пропускну здатність [6]. Звісно ж, найкращим рішенням даної проблеми буде збільшення пропускну здатності з'єднання, але можливо досягти

покращення умов для деяких протоколів або сесій без сильного тиску на інших, застосовуючи спеціальні методи організації черг. Ці методи можна поділити на три основні групи: спеціальні стратегії організації мереж, шейпінг трафіку (Traffic Shaping) та обмеження швидкості [3].

Черги утворюють основу всього керування трафіком і є невід'ємною частиною системи планування. В мережах під чергою розуміють буфер, де пакети (або інші одиниці даних) очікують передачі пристроєм.

Утворення черг відбувається тільки у випадку, коли інтерфейс занадто зайнятий, якщо ж він вільний, то пакети передаються без всякої додаткової обробки. Всі стандартні черги працюють по принципу FIFO. Якщо черга заповнена до відказу та надходять нові пакети, то відбувається «відкидання пакетів». Більш витончені методи організації черг часто використовують декілька черг. Пакети класифікуються у відповідності з потребами користувача, а потім сортуються по відповідним чергам. Потім, при звільненні інтерфейсу, за допомогою спеціального алгоритму обирається черга, пакет із якої буде відправлений. Наприклад, маршрутизатори Cisco підтримують декілька стратегій організації черг: FIFO (First Input — First Output), черга з вагами WQF (Weighted Fair Queuing), розпізнання перевантаження RED (Random Early Detection), черга пріоритетів (Priority Queuing), довільні черги (Custom Queuing) [11]. Варто відзначити, що всі спеціальні методики організації черг дають ефект тільки у випадку, коли неможливо негайно відправити пакет через інтерфейс. Якщо ж інтерфейс вільний та в черзі не знаходяться пакети, то новий пакет пересилається одразу.

Всі ці черги можуть бути сконфігуровані в одному маршрутизаторі одночасно, але на конкретний інтерфейс може бути назначений тільки один тип черги.

### 1.3.1 FIFO

Стратегія FIFO — сама проста та популярна. При її використанні пакети передаються у тому ж порядку, в якому надходять. Як правило, її застосовують на швидких інтерфейсах [1]. Щоб її увімкнути на маршрутизаторі, необхідно відключити всі інші механізми організації черг.

### 1.3.2 WQF

Механізми, які використовують черги з вагами, намагаються розділити пропускну здатність між декількома потоками даних (зазвичай це TCP-сесії), таким чином, щоб потоки трафіку з більшою активністю не захоплювали монопольне з'єднання. З точки зору черги з вагами, існують дві категорії потоків даних: потоки з великим об'ємом даних та потоки з малим об'ємом даних. Потоки з малим об'ємом даних мають пріоритет над іншими, а потоки з великим об'ємом даних розділяють між собою пропускну здатність каналу пропорційну назначеним вагам.

При досягненні трафіком на інтерфейсі лімітного значення навантаження, пакети з потоків із великим об'ємом даних відкидаються. Пакети з потоків із малим об'ємом даних продовжують ставати у чергу. Таким чином, можливі ситуації, коли число пакетів у черзі перевищує заданий ліміт. Як правило, WQF використовується для низькошвидкісних інтерфейсів.

### 1.3.3 RED

При переповненні черги RED починає відкидати пакети для запобігання перевантаженню каналу. Більше всього RED звертає увагу на сесії з найбільшим об'ємом трафіку, тому саме вони сповільнюються у першу чергу.

При використанні розпізнання перевантаження з вагами (Weighted random early detect), в першу чергу будуть відкидатись пакети з найменшим пріоритетом.

На відміну від WFQ, черг з пріоритетами та довільних черг, RED невибаглива до процесорного часу та може застосовуватись на високошвидкісних інтерфейсах. Їй необхідно більший розмір чергу на передачу, ніж стандартні 40 пакетів, щоб мати можливість почати відкидання пакетів завчасно. Такий тип черги використовується у швидкісних мережах для попередження перевантаження каналів (на відміну від черг, які дозволяють керувати трафіком через перевантажені канали). Після увімкнення даного методу на інтерфейсі, він починає відкидати при перевантаженні певну долю пакетів, яка зазначена у конфігурації. Якщо на інтерфейсі сконфігурований також RSVP (Resource Reservation Protocol), то RED переважно відкидає пакети з інших потоків, а не з того, який зарезервований по RSVP. Також на вибір відкинутих пакетів впливає значення IP precedence, чим він нижчий, тим більша ймовірність того, що пакет буде відкинутий при перевантаженні інтерфейсу.

В RFC 2309 проблемна група проектування Інтернет (IETF) рекомендує використовувати RED в інтернет-маршрутизаторах [3].

### 1.3.4 Черги з пріоритетами

При використанні такої методики, трафік класифікується по пріоритетам. Пріоритет може бути високим, нормальним, середнім та низьким. Якщо в потоці наявності високопріоритетний трафік, то він передається у першу чергу, потім передається трафік з середнім пріоритетом і т.д. Це може сповільнити низькопріоритетний трафік або навіть зовсім його призупинити у випадку, коли високопріоритетний трафік монополізує всю пропускну здатність каналу.

Хоча чергу пріоритетів можна встановити на будь-якому інтерфейсі, але вона створювалась для роботи з низькошвидкісними, перевантаженими трафіком послідовними інтерфейсами. Увімкнення черги пріоритетів збільшує навантаження на маршрутизатор, яке допустиме для випадку з повільними інтерфейсами, але недопустима, при встановленні цієї черги на швидких

інтерфейсах (напр. Ethernet). Існує чотири черги пріоритетів (у порядку спадання пріоритету): high, medium, normal, low. Контрольним пакетам перевірки працездатності інтерфейсів (keepalive) назначається найвищий пріоритет автоматично. Пріоритети іншого службового трафіку необхідно вказувати явно. Трафік, пріоритет якого явно не вказаний, попадає в чергу з пріоритетом normal [11, 13].

### 1.3.5 Довільні черги

У даному випадку застосовуються декілька черг. Для кожної черги є можливість задати кількість інформації, яке повинно бути передано з неї перед тим, як почнеться передача з наступної черги. Ця методика дозволяє гарантувати деяке мінімальне значення пропускнуої здатності, яке відводиться під кожний вид трафіку. У той же час, незадіяна пропускна швидкість доступна іншим видам трафіку.

При використанні довільних черг є можливість керувати частиною смуги пропускання каналу, виділеною для певних типів трафіку. Якщо на інтерфейс увімкнені довільні черги, то система підтримує 17 вихідних черг на даному інтерфейсі, 16 з яких можна конфігурувати. Для черг номером з 1 по 16 маршрутизатор перебирає черги послідовно, надсилаючи пакети з кожної черги, перед тим як перейти до наступної черги. З кожною чергою пов'язаний лічильник байтів, який визначає скільки байт даних система повинна передати з даної черги, перед тим як перейти до наступної. Система передає дані з даної черги до тих пір, поки не перевищить значення даного лічильника, або поки черга не звільниться. Після цього система переходить до наступної черги. Виділена черзі смуга пропускання задається непрямым чином через величину лічильника байтів та довжини черги. Черга за номером 0 — системна, вона вивільняється раніше будь-якої черги з більшим номером. В цій черзі містяться високопріоритетні пакети (keepalive). Призначити в цю чергу який-небудь ще трафік неможливо. При

увімкнених чергах пріоритетів та довільних чергах на передачу пакетів витрачається більше часу, так як на аналіз приналежності до пакету до однієї з черг витрачаються ресурси маршрутизатора [11, 13].

### 1.3.6 Traffic Shaping та обмеження швидкості трафіку

При застосуванні шейпінгу, відбувається підрахунок трафіку для певного інтерфейсу. Шейпінг може застосовуватись до всього трафіку, або ж тільки до того, який задовольняє якому-небудь списку/правилу. Це відбувається незалежно від того, вільний інтерфейс, чи в черзі знаходяться пакети. Коли трафік досягає деякого заданого користувачем значення, наступні пакети, що надходять, стають у чергу та затримуються. Таким чином пропускна швидкість, яка споживається, обмежується на налаштоване значення [6].

Обмеження швидкості, яке інколи називають також обмеженням трафіку, схожу на шейпінг. Відмінність полягає у тому, що надмірний трафік опрацьовується окремо від звичайного, по правилам, налаштовані користувачем. Найбільш поширений спосіб обробки надмірного трафіку — відкидання, але існують і інші способи, наприклад, зменшення значення поля пріоритету в IP-заголовку. Шейпінг та обмеження швидкості зазвичай застосовуються, коли необхідно обмежити доступну клієнту пропускну здатність, якщо, наприклад, обраний дешевий тариф, а підключення проводиться по інтерфейсу, який має високу пропускну здатність. Однак у даному випадку краще не застосовувати обмеження швидкості, так як воно може відкидати багато пакетів, змушуючи TCP міркувати, що лінія перевантажена. Тому він сповільнюється, але через деякий час знову намагається пришвидшити темп, викликаючи тим самим повторну втрату пакетів. З іншого боку, шейпінг лише сповільнює пакети, тому через деякий час TCP адаптується до доступної пропускної здатності.

Окрім відбивання атак типу «відмова в обслуговуванні», обмеження швидкості має ще одне потенційне застосування. На відміну від шейпінгу та інших механізмів організації черг може бути застосовано і до вхідного трафіку.



Коли провайдер домовляється з клієнтом про певну пропускну здатність, він може використовувати шейпінг для обмеження доступної клієнту вхідної пропускну здатності. Але так як неможливо використовувати шейпінг до вхідних у інтерфейс пакетів, на клієнта покладається задача шейпінгу його вихідного трафіку. Для того щоб переконатися, що клієнт не перевищує обумовлений ліміт трафіку, провайдер може додатково застосувати обмеження швидкості на вихідний трафік.

#### 1.4 Система моніторингу Zabbix

Моніторинг мережі — це процес захоплення, обробки та аналізу пакетів даних, які передаються або приймаються по комп'ютерній мережі. Ці пакети даних можна проаналізувати по різноманітним показникам, таким як використання смуги пропускання, швидкість втрати пакетів, кількість розірваних з'єднань і т.д. ПЗ для моніторингу мережі використовується для збору даних в мережі, їх аналізу та надання інформації про роботу мережі. Його можна використовувати для багатьох цілей, включаючи: моніторинг продуктивності мереж, виявлення будь-яких проблем з продуктивністю, оповіщення мережевих адміністраторів при виникненні проблеми, допомоги мережевим спеціалістам в діагностиці та усуненню проблем.

Моніторинг мережі важливий, щоб дізнатись, наскільки добре вона працює. Мережевий адміністратор може контролювати різні аспекти мережі, такі як використання смуги пропускання, продуктивність серверу та безпека. Моніторинг можна виконувати вручну або за допомогою інструментів мережевого моніторингу, які відслідковують різні аспекти мережі. Він зосереджений на п'яти ключових областях: доступність, продуктивність, безпека, планування ємності та відповідність потребам.

У магістерській роботі буде використано програмний продукт Zabbix, який слугує системою моніторингу. Zabbix — це універсальний інструмент

моніторингу, здатний відслідковувати динаміку роботи серверів та мережевого обладнання, швидко реагувати на неочікувані ситуації та попереджувати можливі проблеми з навантаженням. Система моніторингу Zabbix може збирати статистику у вказаному робочому середовищі та діяти у певних випадках заданим чином.

У Zabbix є в наявності 4 основних інструменти, за допомогою яких можливо слідкувати за певним робочим середовищем та збирати про неї повний пакет даних для оптимізації роботи:

Сервер — ядро, яке зберігає в собі всі дані системи, включаючи статистичні, оперативні та конфігурацію. Дистанційно керує мережевими сервісами, повідомляє адміністратора про існуючі проблеми з обладнанням.

Проксі — сервіс, який збирає дані про доступність та продуктивність пристроїв, які працюють від імені серверу. Всі зібрані дані зберігаються в буфер та завантажуються на сервер. Завдяки цьому процесу зменшується завантаженість на процесор та жорсткий диск. Для роботи проксі Zabbix потрібно окремо база даних.

Агент — програма (демон), яка активно спостерігає та збирає статистику роботи локальних ресурсів (накопичувачі, оперативна пам'ять, процесор та ін.) та додатків.

Веб-інтерфейс — являється частиною серверу системи та потребує для роботи веб-сервер.

Для опису системи моніторингу Zabbix існує два ключових поняття: вузол мережі та елементи даних. Вузол мережі — це робочі пристрої та їх групи (сервери, робочі станції, комутатори), які необхідно перевіряти. Елементи даних — це набір самостійних метрик, по яким відбувається збір даних з вузлів мережі. Налаштування елементів даних відбувається на вкладці «Елемент даних» або в автоматичному режимі — через підключення шаблону.

Zabbix-агент здатний відображати поточний стан фізичного серверу, збираючи низку даних. У нього достатньо багато метрик, за допомогою яких можна перевірити завантаженість ядра, стан інтерфейсів, вхідний та вихідний трафік на мережевих інтерфейсах.

Підводячи результат, можна дійти даного висновку, у першому розділі розглянуті взаємозв'язки між мережами інтернет-провайдерів, які поділяються на види [19]:

— Інтернет-провайдери першої ланки: Dataline, IT-SYSTEMS, Omegatelecom, Eurotelecom.

— Інтернет-провайдери другої ланки: «Скайстрім», ТОВ «Mobit», «HomeNet», ПрАТ «Датагруп».

Розглянута структура мережі інтернет-провайдера другої ланки та її основні компоненти, а також вид послуг, які надаються інтернет-провайдерами користувачам [3, 8, 14, 15]. Інтернет по виділеній лінії (технологія Ethernet, ADSL, VDSL), Інтернет по комутуючій лінії (dial-up), радіодоступ, IP-телефонія, хостинг. В майбутньому буде покращуватись якість надання цих послуг за рахунок використання нових технологій, збільшення таких параметрів як швидкість, пропускна здатність каналу передачі даних, а також якість сервісу та захист інформації.

У розділі освітлені основні аспекти технологій, існуючих на каналному рівні моделі OSI (Ethernet та його модифікації, ATM, FDDI, GPON) [9, 10, 13, 16].

В мережі інтернет-провайдера взаємодія між пристроями або додатками відбувається за рахунок створення статистично мультиплексованих віртуальних з'єднань та передачі по ним сигналів або мережевих потоків різної природи: аудіо, відео та комп'ютерних даних. На характеристики цих сигналів суттєвий вплив виявляють особливості організації мережевої структури та випадкова поведінка сигналів у мережі [1, 7, 9, 14, 16, 17, 20]. Технологія якості обслуговування здатна забезпечити розподіл трафіку по категоріям для

забезпечення проходження більш пріоритетного трафіку по мережі з забезпеченням заданих параметрів та незалежно від конкуренції з боку іншого трафіку. Модель служби QoS представлена на рисунку 1.1 [7, 20] . В розділі описані відношення між користувачами та інтернет-провайдером, які будуються на компромісній основі, виявленою у вигляді гарантованої швидкості передачі інформації CIR.

Методи керування чергами дають інтернет-провайдеру можливість раціонально використовувати свої ресурси та надавати користувачу якісну послугу у вигляді гарантованої швидкості доставки трафіку. Ці методи можна поділити на три основні групи: спеціальні стратегії організації черг, traffic shaping та обмеження швидкості [3]. У розділі також розглянуті види черг: FIFO, WQF, RED, priority queuing, custom queuing. Розглянуто поняття системи моніторингу мережі, її цілі та інструменти. Детальніше описано особливості інструменту Zabbix, який буде надалі використовуватись [11].

Існує багато робіт, в яких освітлюється всі вище перераховані запитання, вирішуються проблеми, які з ними пов'язані. В даній магістерській роботі основна увага приділяється якості надання послуг Інтернет, здійснено аналіз вхідного трафіку інтернет-провайдера, досліджені його ймовірні властивості.

## **2 РОЗРОБКА МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ СЕРЕДНЬОГО ЧАСУ ОЧІКУВАННЯ ПАКЕТІВ У ЧЕРЗІ В МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ-ПРОВАЙДЕРА**

### **2.1 Аналітична моделювання процесу передачі даних по мережі Ethernet**

В мережах передачі даних часто виникають проблеми з відправкою інформації, які призводять до утворень черг з невідправлених даних. Це відбувається в тому випадку, якщо швидкість передачі трафіку становиться менше максимальної швидкості його формування.

Наскільки б не була якісна та ефективна ширина смуги пропускання, на вузлі інтернет-провайдера часто виникають затримки, обумовлені випадковими процесами в мережі. Тому, отримання значень ефективної ширини смуги пропускання є необхідним, але не достатньою умовою гарної якості надаваної послуги. В силу цього потрібно розрахувати додаткові характеристики вузла мережі інтернет-провайдера, продемонстрованого у вигляді моделей систем типу M/G/1 та G/M/1 під взаємодією заданого трафіку. Такими характеристиками є: інтенсивність обслуговування, середній час очікування пакетів у черзі та розмір буферу комутаційного пристрою інтернет-провайдера, а також коефіцієнт завантаження мережі, який також залежить від якості сервісу.

Розраховувати дані параметри будемо двома методиками. Перша методика приймається на мережі інтернет-провайдера, побудованій по технології передачі даних Ethernet, де на вхід обслуговуючого пристрою надходить пуассонівський потік. Друга методика дозволяє досліджувати ймовірні властивості вхідного потоку та застосовується в мережі інтернет-провайдера, де на вхід обслуговуючого пристрою надходить потік, який має довільний розподіл.

Складемо оцінку вище перелічених параметрів трафіку по першій методиці за допомогою аналітичного та імітаційного моделювання.

Аналітичне моделювання. Розглянемо процес передачі даних по мережі Ethernet на рисунку 2.1.

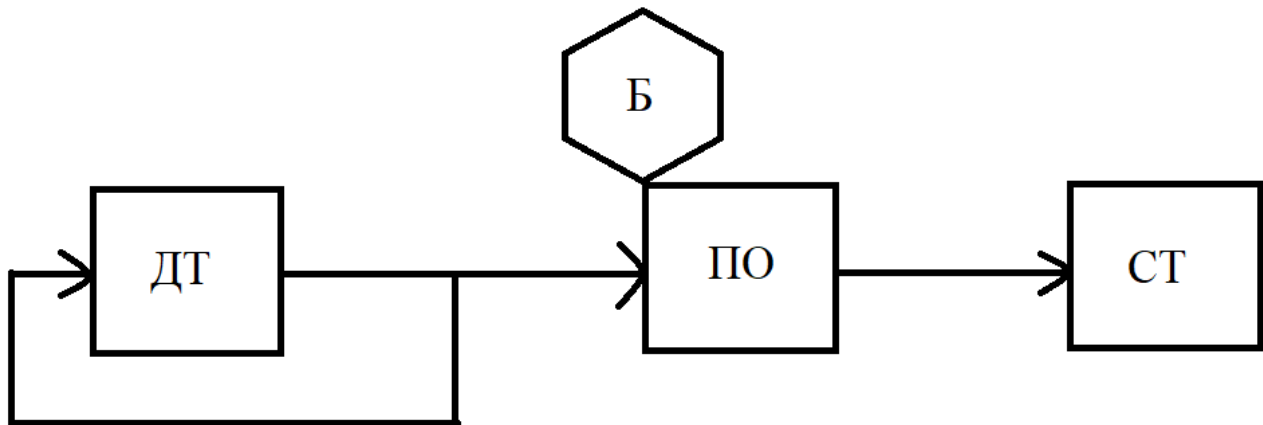


Рисунок 2.1 — Структурна схема процесу передачі даних по мережі Ethernet

Дана система являється системою типу  $M/G/1$ , де вхідний процес характеризується розподілом Пуассона із швидкістю надходження пакетів  $\lambda$  та інтенсивністю обслуговування  $\mu$  [11].

Введемо позначення:

$n$  — номер пакету;

$X_n$  — його час очікування в черзі;

$Y_n$  — тривалість обробки цього пакету;

$Z_n$  — інтервал часу між надходженням  $n$  та  $n + 1$  пакету.

На вхід пристрою обробки (ПО) від джерела трафіку (ДТ) надходить потік пакетів, який описується двома випадковими величинами: інтервал часу між надходженням пакетів  $Z_n$  та розміром пакету  $L_n$ . Час обробки  $Y_n$  залежить від розміру пакету  $L_n$ . Буфер (Б) працює по схемі FIFO та вмістить чергу з пакетів, які очікують свою обробку в ПО. Споживач трафіку (СТ) слугує навантаженням.

Кадр Ethernet складається з преамбули (слугує для синхронізації передавача та приймача фізичного рівня), службової інформації, корисного навантаження та контрольної суми (див. рис. 2.2). Розмір преамбули в

дуплексному режимі зафіксований в 64 біти, а службової інформації в 112 біт. Контрольна сума складає 32 біта. Корисне навантаження — змінна величина та тримається в діапазоні [368,12000] біт.

В результаті отримуємо, що  $L_n$  визначена на бітовому відрізьку [512,12144] біт.



Рисунок 2.2 — формат кадру Ethernet

Передача кадру в каналі складається з двох фаз: під першою фазою розуміється між кадрова пауза («р-»), під другою фазою — передача кадру («р+») [16, 17]. Розрахуємо ефективну ширину смуги  $h$  в залежності від значення якості інтернет-сервісу  $c$  за допомогою наступної формули [5]:

$$h = \frac{\ln\left(\int_0^G a^x w(x) dx\right)}{\ln(a)}, \quad (2.1)$$

де  $a = e^{\frac{c}{G}}$ .

Кожному користувачу надається своя смуга з тією якістю, яку він заказав. Така смуга пропускної здатності для кожного користувача є номінальною.

Розрахуємо коефіцієнт навантаження мережі при якості сервісу  $c$  рівним 2, 10, 20 та 70, так як ці значення визначають низьку, середню та високу якість обслуговування, яке частіше всього замовляють користувачі, і демонстративно

розглянути як змінюється цей коефіцієнт із збільшенням довжини пакету. Буде розглядатись ситуація, коли в мережі інтернет-провайдера 10 користувачів.

Значення ефективної ширини смуги  $h$  в залежності від значення якості інтернет-сервісу  $c$  представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Значення ефективної ширини смуги  $h$

| Якість сервісу, $c$ | Номинальна смуга пропускання, $h$ ,<br>Мбіт/с |
|---------------------|---|
| 2                   | 7,340   |
| 4                   | 7,480   |
| 6                   | 7,540   |
| 8                   | 7,580   |
| 10                  | 7,610   |
| 20                  | 7,772   |
| 30                  | 7,870   |
| 40                  | 8,001   |
| 50                  | 8,100   |
| 60                  | 8,300   |
| 70                  | 8,330   |

Час передачі пакетів залежить від номінальної пропускнуої здатності мережі та від розміру пакету:

$$T_{\text{пер.}} = \frac{L_n}{h} \quad (2.2)$$

По стандарту між пакетами повинна витримуватись технологічна пауза  $T_{\text{т.п.}}$  в 9.6 мкс [16]. Тому період повторення пакетів становить:

$$Z_n = T_{\text{пер.}} + T_{\text{т.п.}} \quad (2.3)$$



Час обробки пакетів також залежить від довжини пакету. Слід відмітити, що значення довжини береться без преамбули, так як на каналному рівні преамбула не оброблюється.

$$Y_n = \frac{L_{n_{\text{без пр.}}}}{h}. \quad (2.4)$$

Коефіцієнт завантаження мережі визначається з співвідношення:

$$\rho = \frac{Y_n}{z_n}. \quad (2.5)$$

Для стабільності системи необхідно, щоб  $\rho < 1$ .

Розрахуємо значення коефіцієнта навантаження мережі для трьох значень якості сервісу від довжини пакету та результати зведемо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 — Коефіцієнти навантаження мережі

| $L_n$ , біт | $\rho$ при $c = 2$ | $\rho$ при $c = 10$ | $\rho$ при $c = 70$ |
|-------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| 576         | 0,792              | 0,788               | 0,781               |
| 1584        | 0,919              | 0,917               | 0,913               |
| 2608        | 0,950              | 0,949               | 0,946               |
| 3616        | 0,964              | 0,963               | 0,961               |
| 4640        | 0,972              | 0,971               | 0,969               |
| 5648        | 0,977              | 0,976               | 0,975               |

Продовження таблиці 2.2.

|      |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|
| 6672 | 0,980 | 0,979 | 0,977 |
| 7680 | 0,983 | 0,982 | 0,981 |
| 8704 | 0,985 | 0,984 | 0,984 |

|       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| 9712  | 0,986 | 0,986 | 0,985 |
| 10736 | 0,988 | 0,987 | 0,987 |
| 11744 | 0,989 | 0,988 | 0,988 |
| 12208 | 0,989 | 0,989 | 0,988 |

По результатам таблиці 2.2 побудуємо графіки.

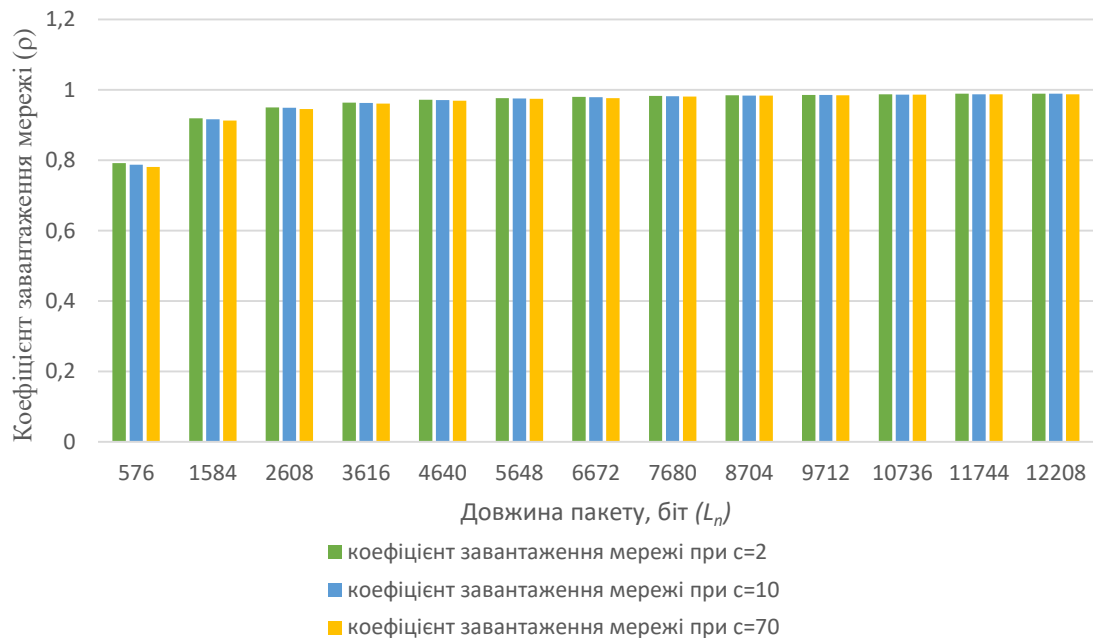


Рисунок 2.3 — Залежність коефіцієнту навантаження мережі  $\rho$  від довжини пакету  $L_n$  при різній якості сервісу  $s$ .

З графіків, побудованих на рис. 2.3 можемо спостерігати, що зі збільшенням довжини пакету росте завантаження мережі, очевидне і те, що зі збільшенням якості навантаження зменшується, але не сильно залежить від параметру  $s$  та визначається довжиною пакету.

Одною з задач аналітичного моделювання — визначення ємності або об'єму буферу для невідправлених даних. Проведемо розрахунок об'єму буферу виходячи з середнього часу очікування пакетів у черзі  $\chi$  та середнього значення довжини черги  $\phi$  [16, 17].

Середнє значення довжини черги  $\bar{\varphi}$  при заданій середній вхідній частоті пакетів  $\lambda$  та середньому часу очікування  $\bar{\chi}$  визначається на основі теореми Літла [15]:

$$\bar{\varphi} = \lambda \bar{\chi} \quad (2.6)$$

Для варіанту черги M/G/1 ймовірність надходження  $k$  пакетів на вхід за час  $t$  рівне:

$$p(k) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (2.7)$$

Середній час очікування пакетів в черзі буде рівнятися [15]:

$$\bar{\chi} = \frac{\lambda \cdot \bar{x}^2}{2(1-\rho)}, \quad (2.8)$$

де  $\bar{x}^2 = \frac{2}{\mu^2}$  — другий початковий момент обслуговування, залежить від закону перерозподілу.

$\lambda = \frac{1}{Z_n}$  — інтенсивність надходження пакетів,

$\mu = \frac{1}{Y_n}$  — інтенсивність обслуговування пакетів.

Тоді можемо спростити формулу:

$$\bar{\chi} = \frac{\lambda}{\mu(1-\rho)}, \quad (2.9)$$

Таким чином, розрахунок середнього часу очікування зводиться до системи типу М/М/1. При виконанні аналогічного розрахунку для системи типу М/Г/1 при різній тривалості обслуговування.

Рівномірна функція розподілу тривалості обслуговування.

Тоді

$$\overline{x^2} = \frac{Y^2}{3}, \quad (2.10)$$

де  $Y$  — тривалість обслуговування, мкс.

В даному прикладі  $Y$  визначається як значення тривалості обслуговування пакету певного розміру при заданій шкалі якості сервісу  $c$ , наприклад, якщо пакет має мінімальний розмір  $L_n = 576$  біт, то  $Y = 65,73$  мкс, якщо максимальний розмір  $L_n = 12208$  біт, то  $Y = 1559$  мкс.

Усічена нормальна функція розподілу тривалості обслуговування.

$$\overline{x^2} = \sigma_x^2 + m_x^2, \quad (2.11)$$

де  $\sigma_x$  — середнє квадратичне відхилення часу обслуговування,

$m_x \geq 3 \cdot \sigma_x$  — математичне очікування.

Так як  $m_x + 3 \cdot \sigma_x = Y$ , тоді відповідно для нашого прикладу при мініальному розмірі пакету  $m_x = 32,88$  мкс,  $\sigma_x = 10,96$  мкс, при максимальному —  $m_x = 779,5$  мкс,  $\sigma_x = 259,83$  мкс.

Логарифмічно-нормальна функція розподілу тривалості обслуговування.

$$\overline{x^2} = \lim_{t \rightarrow \infty} e^{\frac{-a^2 + \sigma^2}{2\sigma^2} + \frac{\sigma^2}{2} \left(2 + \frac{a}{\sigma^2}\right)^2} \operatorname{erf} \left[ \frac{1}{\sqrt{2}\sigma} t - \frac{\sigma}{\sqrt{2}} \left(2 + \frac{a}{\sigma^2}\right) \right] + \operatorname{erf} \left[ \frac{\sigma}{\sqrt{2}} (2\sigma^2 + a) \right] \cdot e^{2\sigma^2 + 2a},$$

де  $erf(x) = \int_0^x \frac{2}{\pi} e^{-t^2} dt$  — спеціальна функція, яка повертає значення інтегралу помилок в  $x$ ,  $x$  — дійсне число або вираз.

$a$  — математичне очікування логарифму випадкової величини, яке визначається як  $a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(Y_i)$  та для нашого прикладу при мінімальному розмірі пакету рівний 4,2 мкс., а при максимальному буде рівним 7,25 мкс.

$\sigma$  — середнє квадратичне відхилення, яке визначається як  $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln(Y_i) - a)^2}$  та рівний 0,084 мкс та 0,008 відповідно.

Гамма функція розподілу тривалості обслуговування.

$$\bar{x}^2 = \frac{1}{\beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha)} \cdot (2 + \alpha)! \left(\frac{1}{\beta}\right)^{(2+\alpha)-1}, \quad (2.13)$$

де  $\alpha$  і  $\beta$  — параметри гамма розподілу. Для нашого випадку візьмемо ці параметри наступними:  $\alpha=20$ ,  $\beta=40$ .

Підставляючи по чергово (2.10-2.13) в (2.8), розрахуємо середній час очікування пакетів у черзі  $\bar{\chi}$ , а також середню довжину черги  $\bar{\varphi}$  при якості інтернет-сервісу  $c=10$ . Результати обчислень (додаток Б) відображені на рисунках 2.4 та 2.5 суцільними лініями.

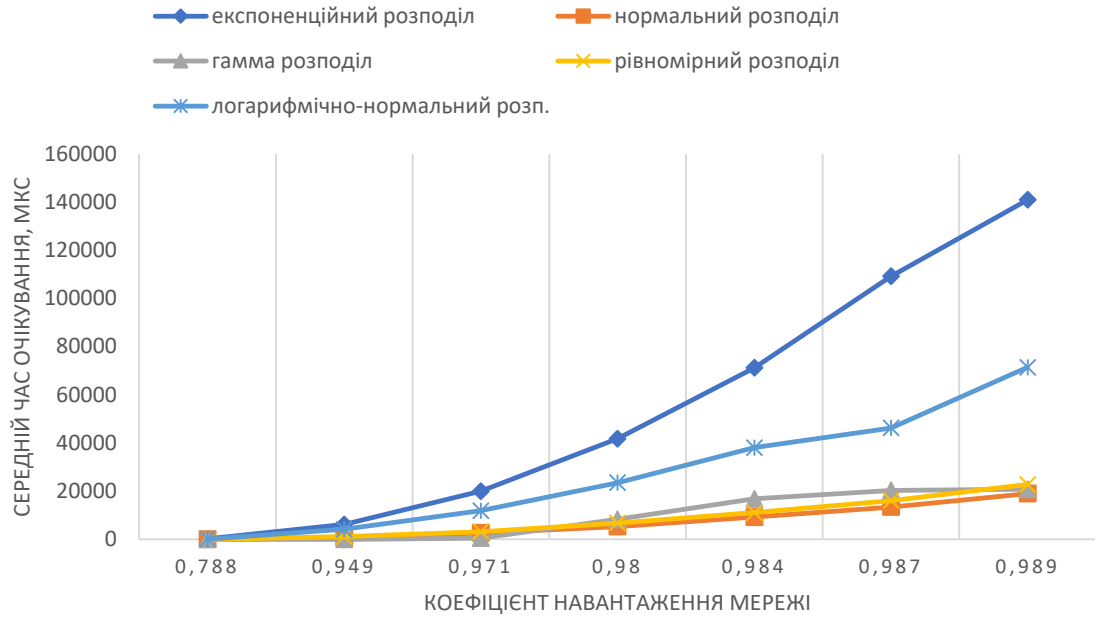


Рисунок 2.4 — Залежність середнього часу затримки від коефіцієнту завантаження мережі

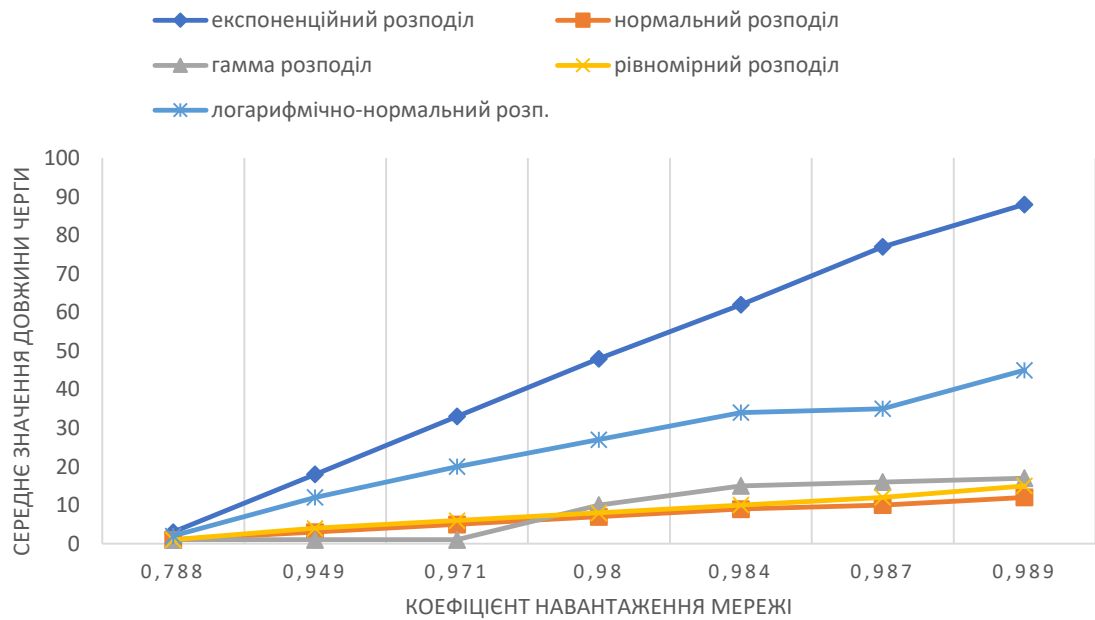


Рисунок 2.5 — Залежність середньої довжини черги від коефіцієнту завантаження мережі.

## 2.2 Імітаційне моделювання процесу передачі даних по мережі Ethernet

Коли аналітично не вдається змоделювати систему, прибігають до імітаційного моделювання. Це відбувається у тому випадку, коли мова йде про розподілення, яке відрізняється від класичного.

У даній роботі технологія імітаційного моделювання реалізується на основі системи FlexSim, один з найбільш простих для задач досліджування систем операційного та продуктивного менеджменту. Її особливістю можна зазначити: завершеність, цілісність та простота використання для дослідження доволі важких систем, постійні оновлення.

Переваги цього додатку у наступному:

- найбільш приближений до реальної системи, краще ніж у математичних моделях;
- використання залежностей більш складного характеру, не описуючі простими математичними співвідношеннями;
- зручний та зрозумілий інтерфейс.

Для наших цілей пакет програм FlexSim використовувався як основна платформа моделювання систем масового обслуговування різного типу.

В процесі виконання роботи змінювалась інтенсивність надходження пакетів  $\lambda$  та інтенсивність обслуговування кадрів  $\mu$ . В якості вихідних характеристик були визначені: середня довжина черги  $\varphi$  та середній час очікування пакетів у черзі  $\chi$  для системи типу M/G/1, де використовуються наступні розподіли:

- експоненціальний розподіл;
- рівномірний розподіл;
- нормальний розподіл з параметрами:  $\sigma_x$  та  $m_x$  (визначаються довжиною пакету);

— логарифмічно-нормальне розподілення з параметрами:  $a$  і  $\sigma$  (визначаються довжиною пакету);

— гамма розподілення з параметрами:  $\alpha=20$ ,  $\beta=40$ .

Порівнюючи результати, отримані при імітаційному та аналітичному моделюванні, можна зробити такі висновки: зберігається тенденція зросту середнього часу очікування та середньої довжини черги при збільшенні коефіцієнту завантаження мережі для всіх законів розподілення часу обслуговування. Результати, отримані при аналітичному моделюванні та шляхом імітаційного моделювання, приблизенні один до одного.

Зі зростом розміру буферу, росте середній час затримки та зменшується ймовірність втрат. Таким чином, за допомогою даних досліджень можна вирішити задачу оптимізації — при заданому значенню затримки та ймовірності втрат обрати розмір буферу.

### 2.3 Алгоритм розрахунку розміру буферу в мережі інтернет-провайдеру

У цьому розділі буде представлена методика визначення характеристик вузла мережі інтернет-провайдеру у вигляді вирішення інтегрального рівняння Ліндлі за допомогою спектральних методів для служб масового розподілу:

$$F(x) = \begin{cases} \int_{-\infty}^x F(x-U) dK(U), & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (2.14)$$

З цієї формули інтегрального рівняння можна примітити, що інтеграл Ліндлі майже, але не зовсім, має вигляд згортки. Важливою відмінністю є те, що інтегральна форма рівняння Ліндлі має місце тільки для невід'ємних значень аргументу. Для від'ємних значень аргументу функція розподілення тотожно рівний нулю. Так як інтеграл виходить тільки для половини осі, то для вирішення



рівняння, на жаль, прийдеться скористатись технікою, запозичену з теорії функцій комплексної змінної та контурного інтегрування.

Щоб обійти цю складність, застосуємо наступну просту схему: визначимо додатковий час очікування, який доповнює згортку та який дає значення інтегралу тільки для від'ємних  $\chi$ , тобто:

$$F(\chi) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \chi \geq 0; \\ \int_{-\infty}^{\chi} F(\chi - U) dK(U), & \text{якщо } \chi \leq 0. \end{cases} \quad (2.15)$$

Склавши (2.14) та (2.15), отримаємо інтегральний вираз для всіх значень аргументу:

$$F(\chi) = \int_{-\infty}^{\chi} F(\chi - U) k(U) dU \text{ — для всіх дійсних } \chi, \quad (2.16)$$

де  $k(U)$  — щільність розподілу величини  $U$ .

Вирішимо рівняння (2.16) відповідно алгоритму, наведеному в [11]. Сенс алгоритму складається в тому, що спочатку визначається перетворення Лапласа для щільності розподілу інтервалу часу між надходженням пакетів  $A(s)$  та часу обслуговування пакетів  $B(s)$ .

$$A(s) = \int_0^{\infty} w(z) e^{-sz} dz, \quad (2.17)$$

де  $w(z)$  — щільність розподілу інтервалу часу між надходженням пакетів.

$$B(s) = \int_0^{\infty} w(y) e^{-sy} dy, \quad (2.18)$$

де  $w(y)$  — щільність розподілу часу обслуговування.

Раніше, проводились розрахунки щільності розподілення швидкості надходження пакетів для різної кількості користувачів  $N$ . Будемо використовувати цю щільність для визначення параметрів трафіку.

Наприклад, при  $N = 2$  щільність розподілу швидкості надходження пакетів має вигляд:

$$w(x) = \begin{cases} \frac{1,25x - 1,25m_1 - 1,25m_2}{(1-m_2)}, x \in [m_1 + m_2; 1 + m_1]; \\ 1,25, x \in [1 + m_1; 1 + m_2]; \\ \frac{-1,25x + 2,5}{(1-m_2)}, x \in [m_2 + 1; 2]. \end{cases} \quad (2.19)$$

де  $m_i$  — випадкова величина із значенням з інтервалу  $[0,1]$ , Мбіт/с.

Уже при  $N \geq 3$  дана щільність добре апроксимується усіченим нормальним законом розподілу. Зокрема, при  $N=4$  щільність розподілу має вигляд:

$$w(x) = \frac{A}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}, \quad (2.20)$$

де

$$A = \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left( \int_0^{\frac{1,5m_1+0,5m_2+0,5m_3+0,5m_4}{\sigma_x}} e^{-\frac{u^2}{2}} du - \int_0^{\frac{-(0,5m_1+0,5m_2+0,5m_3+0,5m_4-2)}{\sigma_x}} e^{-\frac{u^2}{2}} du \right)},$$

$$m_x = \frac{4+m_1+m_2+m_3+m_4}{2},$$

$$\sigma_x^2 = \frac{(1-m_1)^2 + (1-m_2)^2 + (1-m_3)^2 + (1-m_4)^2}{12}.$$

Щоб показати, що можна досягти доброї апроксимації, побудуємо графік щільності розподілу швидкості надходження пакетів для  $N=4$  через формулу (3.30) при заданих випадкових параметрів  $m_1=0,2$  Мбіт/с,  $m_2=0,4$  Мбіт/с,  $m_3=0,5$  Мбіт/с,  $m_4=0,7$  Мбіт/с.

Результати представлені на рис. 2.6.

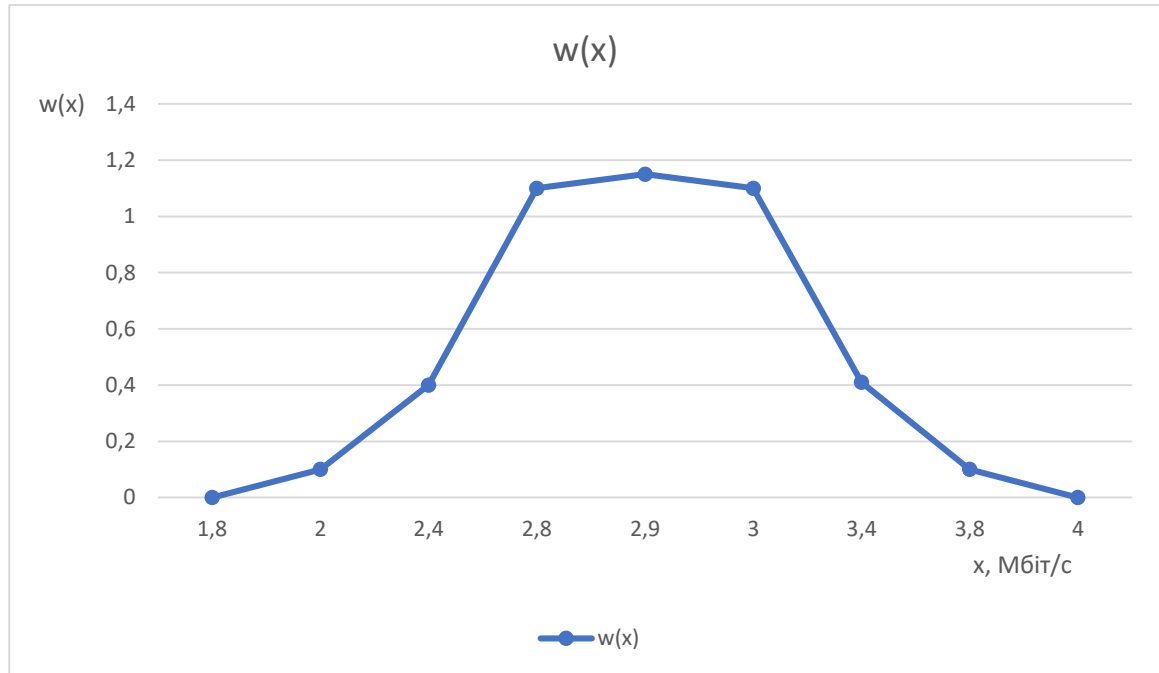


Рисунок 2.6 — Графік кривої  $w(x)$  при  $N=4$ .

Перейдемо до щільності розподілу інтервалу часу між надходженням пакетів. З врахуванням очевидного взаємозв'язку швидкості надходження пакетів  $x$  та інтервалу часу між надходженням пакетів  $z$ , відображеною у вигляді  $z = \frac{1}{x}$ , щільність розподілу  $z$  можна визначити через відношення [8]:

$$w(z) = \frac{1}{z^2} w\left(\frac{1}{z}\right), \quad (2.21)$$

Тоді отримаємо:

для  $N = 2$ :

$$w(z) = \begin{cases} \frac{1,25\frac{1}{z} - 1,25m_1 - 1,25m_2}{(1-m_2)}, z \in \left[\frac{1}{m_1+m_2}; \frac{1}{1+m_1}\right]; \\ \frac{1,25}{z^2}, z \in \left[\frac{1}{1+m_1}; \frac{1}{1+m_2}\right]; \\ \frac{-1,25\frac{1}{z} + 2,5}{(1-m_2)z^2}, z \in \left[\frac{1}{m_2+1}; 0,5\right]. \end{cases} \quad (2.22)$$

для  $N = 4$ :

$$w(z) = \frac{A}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} e^{-\frac{(\frac{1}{z}-m_x)^2}{2\sigma_x^2}} \frac{1}{z^2} \quad (2.23)$$

Графік щільності розподілу при  $N = 2$  і  $N = 4$  показаний на рис. 2.7 та рис. 2.8 і відповідно та розрахований при:  $m_1=0,2$  Мбіт/с,  $m_2=0,4$  Мбіт/с,  $m_3=0,5$  Мбіт/с,  $m_4=0,7$  Мбіт/с.

Тепер для випадку  $N = 2$  визначимо перетворення Лапласа  $A(s)$  для щільності розподілу інтервалу часу між надходженням пакетів  $w(z)$ :

$$A(s) = \frac{1,25}{(1-m_2)} \int_{\frac{1}{1+m_2}}^{\frac{1}{1+m_1}} \frac{e^{-sz}}{z^3} dz - (m_1 + m_2) \frac{1,25}{(1-m_2)} \int_{\frac{1}{1+m_2}}^{\frac{1}{1+m_1}} \frac{e^{-sz}}{z^2} dz +$$

$$+ \int_{\frac{1}{1+m_1}}^{\frac{1}{1+m_2}} \frac{1,25e^{-sz}}{z^2} dz + \frac{1}{(1-m_2)} \int_{0,5}^{\frac{1}{1+m_2}} \frac{-1,25e^{-sz}}{z^3} dz + \frac{1}{(1-m_2)} 2,5 \int_{0,5}^{\frac{1}{1+m_2}} \frac{e^{-sz}}{z^2} dz. \quad (2.24)$$

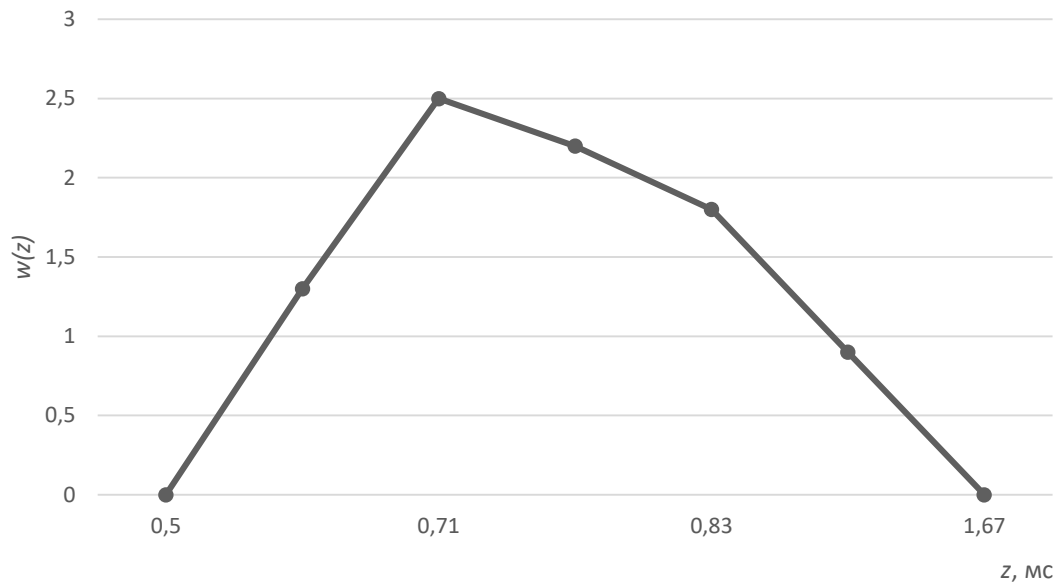


Рисунок 2.7 — Щільність розподілу інтервалу часу між надходженням пакетів при  $N=2$ .

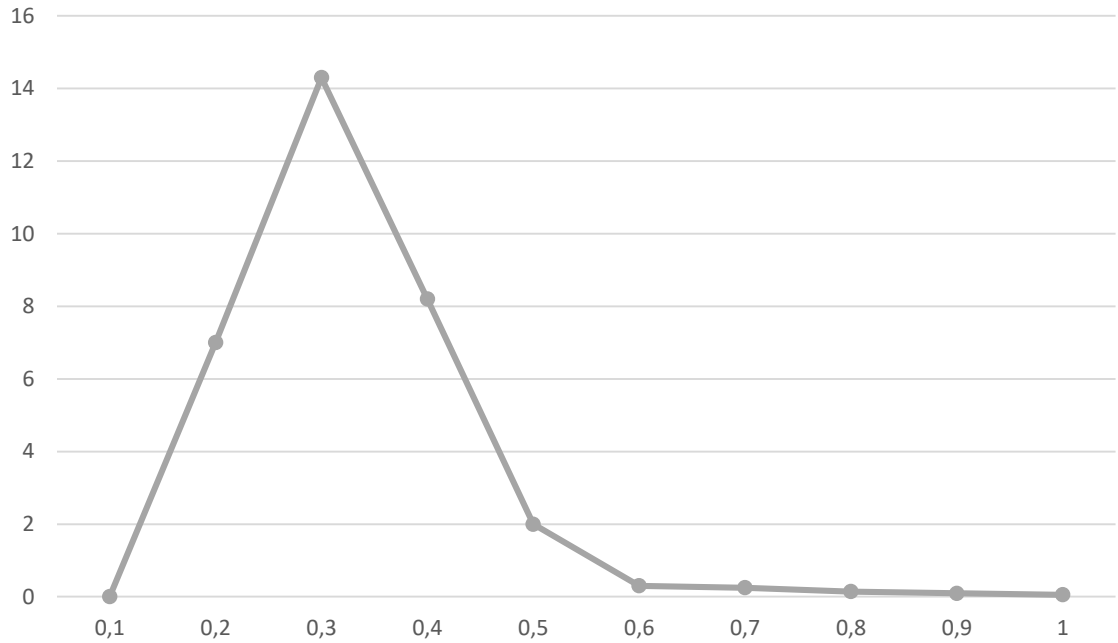


Рисунок 2.8 — щільність розподілу інтервалу часу між надходженнями пакетів при  $N = 4$ .

Обрахувавши та перетворивши (2.24), отримаємо:

$$\begin{aligned}
 A(s) = & \frac{1,25e^{-\frac{s}{m_1+m_2}}}{1-m_2} \left( \frac{m_1^2}{2} + m_1 m_2 + \frac{m_2^2}{2} + \frac{m_1 s}{2} + \frac{m_2 s}{2} \right) - \frac{0,625s^2}{1-m_2} \left( \ln \frac{(1+m_1)}{(m_1+m_2)} + \right. \\
 & \ln((1+m_2)0,5) + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(\frac{s}{m_1+m_2}\right)^k}{k \cdot k!} - \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(\frac{s}{1+m_1}\right)^k}{k \cdot k!} - \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(\frac{s}{1+m_2}\right)^k}{k \cdot k!} + \left. \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(0,5s)^k}{k \cdot k!} \right) + \\
 & \frac{1,25e^{-\frac{s}{1+m_1}}}{1-m_2} \cdot (-0,5 - 0,5m_1^2 - m_1 - 0,5s - 0,5sm_1) \frac{1,25s}{1-m_2} \left( (m_1 + m_2) \frac{\ln(1+m_1)}{\ln(m_1+m_2)} - \right. \\
 & (1 - m_2) \frac{\ln(1+m_2)}{\ln(1+m_1)} + 2 \ln((1 + m_2)0,5) + (m_1 + m_2) \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(\frac{s}{1+m_2}\right)^k}{k \cdot k!} + (m_1 + \\
 & \left. m_2) \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(\frac{s}{1+m_1}\right)^k}{k \cdot k!} + (1 - m_2) \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(\frac{s}{1+m_2}\right)^k}{k \cdot k!} - (1 - m_2) \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(\frac{s}{1+m_1}\right)^k}{k \cdot k!} +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(0,5s)^k}{k \cdot k!} \Big) - 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(\frac{s}{1+m_2}\right)^k}{k \cdot k!} + \frac{1,25e^{-\frac{s}{1+m_2}}}{1-m_2} (-0,5 - 0,5m_2^2 - m_2 - 0,5s - \\
& 0,5sm_2) + e^{-0,5s}(2,5 + 1,25s)
\end{aligned} \tag{2.25}$$

Для випадку  $N = 4$  це перетворення буде наступним:

$$A(s) = \int \frac{1}{m_1+m_2+m_3+m_4} \frac{A}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} e^{-\frac{(\frac{1}{z}-m_x)^2}{2\sigma_x^2}} \frac{1}{z^2} \cdot e^{-sz} dz. \tag{2.26}$$

Зробимо заміну в (2.26) [8]:

$$\begin{aligned}
e^{-\frac{(\frac{1}{z}-m_x)^2}{2\sigma_x^2}} &= \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{-(\frac{1}{z}-m_x)^2}{2\sigma_x^2}\right)^k}{k!}, \\
\sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} &= e, \sum_{k=0}^{\infty} \alpha q^k = \frac{\alpha}{1-q}, \text{ де } |q| < 1, \alpha=1, q = \frac{-(\frac{1}{z}-m_x)^2}{2\sigma_x^2}.
\end{aligned}$$

Тоді отримаємо:

$$A(s) = \frac{Ae\sqrt{2\sigma_x^2}}{\sqrt{\pi}} \int \frac{1}{m_1+m_2+m_3+m_4} \frac{e^{-sz}}{z^2(2\sigma_x^2+m_x^2)-2m_xz+1} dz. \tag{2.27}$$

У формулі (2.27) вираз під інтегралом у знаменнику представимо у вигляді виразу:

$$rz^2 - gz + c,$$

де  $r = 2\sigma_x^2 + m_x^2$ ,  $g = 2m_x$ ,  $c = 1$ .

Проведемо заміну змінної  $z$  та введемо нову змінну  $f$  для спрощення обрахунку інтегралу:

$$t = z - \frac{g}{2r}, f^2 = \frac{c}{r} - \frac{g^2}{4r^2}.$$

Отримаємо:

$$A(s) = \frac{Ae\sqrt{2\sigma_x^2}}{\sqrt{\pi}r} \int \frac{1}{m_1+m_2+m_3+m_4 - \frac{g}{2r}} \frac{e^{-s(t+\frac{g}{2r})}}{t^2+f^2} dt. \quad (2.28)$$

Зробимо заміну в (2.28) наступного вигляду:

$$e^{-\frac{s(t+\frac{g}{2r})^2}{2\sigma_x^2}} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{-s(t+\frac{g}{2r})^2}{2\sigma_x^2}\right)^k}{k!}.$$

Отримаємо:

$$A(s) = \frac{Ae\sqrt{2\sigma_x^2}}{\sqrt{\pi}r} \int \frac{1}{m_1+m_2+m_3+m_4 - \frac{g}{2r}} \frac{1}{(t^2+f^2)\left(1+s(t+\frac{g}{2r})\right)} dt. \quad (2.29)$$

Вирахуємо (2.29) при заданих параметрах  $m_1=0,2$  Мбіт/с,  $m_2=0,4$  Мбіт/с,  $m_3=0,5$  Мбіт/с,  $m_4=0,7$  Мбіт/с та, перетворивши його, отримаємо наступний вираз для  $A(s)$ :

$$A(s) = 231,02 \frac{64,17s+330,39+14s \ln(125+69,50s)}{1813s^2+15625+10500s} - 231,02 \frac{-119,19s-248,4+14s \ln(125+69,50s)}{1813s^2+15625+10500s}. \quad (2.30)$$

Щільність розподілу часу обслуговування пакетів задається у відповідності з режимом роботи комутатора. Види режимів роботи комутаторів розглянуті у першому розділі. Час обробки пакетів комутатором, згідно (2.4), залежить від довжини пакету. Припустимо, що комутатор опрацьовує пакети по присвоєному йому пріоритету. Допустимо, пакети маленького розміру мають високий пріоритет (в якості прикладу можна взяти голосові пакети, які завжди мають найвищий пріоритет обробки) та опрацьовуються комутатором у першу чергу, а більшого розміру — низький пріоритет, тоді щільність розподілу часу обслуговування пакетів матимуть вигляд:

$$w(y) = \mu e^{-\mu y}, \quad (2.31)$$

де  $\mu = \frac{1}{Y}$  — інтенсивність обслуговування пакетів.

Щільність виду (2.31) відповідає системі G/M/1. Задаючи замість експоненціальної щільності щільність іншого виду, можна по викладеній методиці дослідити систему G/G/1.

Для (2.31) знайдемо пряме перетворення Лапласа, використовуючи формулу (2.18) і отримаємо:

$$B(s) = \frac{\mu}{s+\mu}. \quad (2.32)$$

Відомо, що перетворення Лапласа згортки дорівнює добутку перетворень Лапласа функцій, що згортаються [13], тому можна записати:



$$K(s) = A(-s)B(s). \quad (2.33)$$

Очевидно, що час, проведений у черзі, повинен бути невід'ємною випадковою величиною, тому:

$$\Phi_+(s) + \Phi_-(s) = \Phi_+(s)K(s).$$

де  $\Phi(s) = \int_0^\infty F(\chi)e^{-s\chi}d\chi$  — перетворення Лапласа для функції часу очікування  $F(\chi)$ .

Таким чином, з рівності (2.33) виходить

$$\Phi_-(s) = \Phi_+(s)[A(-s)B(s) - 1]. \quad (2.34)$$

Перейдемо до спектрального розкладу. Його ціль складається в тому, що для виразу

$$A(-s)B(s) - 1 \quad (2.35)$$

знайти відповідне уявлення у вигляді добутку двох множників, наприклад:

$$A(-s)B(s) - 1 = \frac{\psi_+(s)}{\psi_-(s)}. \quad (2.36)$$

Зрозуміло, що  $\frac{\psi_+(s)}{\psi_-(s)}$  являється деякою раціональною функцією від  $s$ . Ці функції повинні задовольняти наступні умови:

$$\text{— для } Re(s) > 0 \quad \lim_{|s \rightarrow \infty} \frac{\psi_+(s)}{s} = 1;$$

— для  $Re(s) < D$   $\lim_{|s \rightarrow \infty} \frac{\psi_-(s)}{s} = -1$ .

Відповідно рівнянню (2.33), перетворення Лапласа для щільності розподілу  $k(U)$  величини  $U$  для випадку  $N = 2$  можна записати у вигляді:

$$\begin{aligned}
 K(s) = \frac{\mu}{s+\mu} & \left[ \frac{1,25e^{\frac{s}{1+m_2}}}{1-m_2} \left( \frac{m_1^2}{2} + m_1 m_2 + \frac{m_2^2}{2} - \frac{m_1 s}{2} - \frac{m_2 s}{2} \right) - \right. \\
 & \frac{0,625s^2}{1-m_2} \left( \ln \frac{(1+m_1)}{(m_1+m_2)} + \ln((1+m_2)0,5) + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(\frac{-s}{m_1+m_2}\right)^k}{k \cdot k!} - \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(\frac{-s}{1+m_1}\right)^k}{k \cdot k!} - \right. \\
 & \left. \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(\frac{-s}{1+m_2}\right)^k}{k \cdot k!} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-0,5s)^k}{k \cdot k!} \right) + \frac{1,25e^{\frac{s}{1+m_1}}}{1-m_2} (-0,5 - 0,5m_1^2 - m_1 + 0,5s + \\
 & 0,5sm_1) + \frac{1,25s}{1-m_2} \left( (m_1 + m_2) \frac{\ln(1+m_1)}{\ln(m_1+m_2)} - (1 - m_2) \frac{\ln(1+m_2)}{\ln(1+m_1)} + 2 \ln((1 + \right. \\
 & m_2)0,5) + (m_1 + m_2) \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(\frac{-s}{m_1+m_2}\right)^k}{k \cdot k!} + (m_1 + m_2) \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(\frac{-s}{1+m_1}\right)^k}{k \cdot k!} + (1 - \\
 & m_2) \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(\frac{-s}{1+m_2}\right)^k}{k \cdot k!} - (1 - m_2) \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(\frac{-s}{1+m_1}\right)^k}{k \cdot k!} + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-0,5s)^k}{k \cdot k!} - \left. - 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(\frac{-s}{1+m_2}\right)^k}{k \cdot k!} \right) + \\
 & \left. \frac{1,25e^{\frac{s}{1+m_2}}}{1-m_2} (-0,5 - 0,5m_2^2 - m_2 + 0,5s + 0,5sm_2) + e^{0,5s} (2,5 - 1,25s) \right]. \quad (2.37)
 \end{aligned}$$

Для випадку  $N = 4$   $K(s)$  буде дорівнювати:

$$F(\chi) = \frac{1}{\mu} (\mu + 1,392e^{-1,392\chi} - e^{-1,392\chi}\mu), \chi \geq 0. \quad (2.48)$$

Тоді щільність ймовірності часу очікування (з урахуванням коефіцієнтом нормування) має наступний вигляд для  $N = 2$ :

$$w(\chi) = \frac{1,386}{\mu} (-1,938e^{-1,392\chi} + 1,392e^{-1,392\chi}\mu), \chi \geq 0. \quad (2.49)$$

Знаючи щільність легко визначити середній час очікування пакетів у черзі. Для щільності вигляду (2.19) та обраних значень  $\mu$ ,  $m_1$  та  $m_2$  дані часу складуть 0,718 мс.

Для випадку  $N = 4$ , вираз перетворення Лапласа функції розподілу часу очікування матиме вигляд:

$$\Phi(s) = \frac{R}{\psi_+(s)} = \frac{1,02(s+\mu)}{\mu s(s+1,02)}. \quad (2.50)$$

Знайдемо з виразу (2.50) функцію розподілу часу очікування за допомогою зворотного перетворення Лапласа:

$$F(\chi) = \frac{1}{\mu} (\mu + 1,02e^{-1,02\chi} - e^{-1,02\chi}\mu), \chi \geq 0. \quad (2.51)$$

Тоді щільність ймовірності часу очікування (з врахуванням коефіцієнту нормування) матиме вигляд:

$$w(\chi) = \frac{1,256}{\mu} (-1,04e^{-1,02\chi} + 1,02e^{-1,02\chi}\mu), \chi \geq 0. \quad (2.52)$$

Графік цієї щільності зображений на рис. 2.9. Середній час очікування при обраних значеннях параметрів  $\mu$ ,  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  та  $m_4$  складає 0,98 мс.

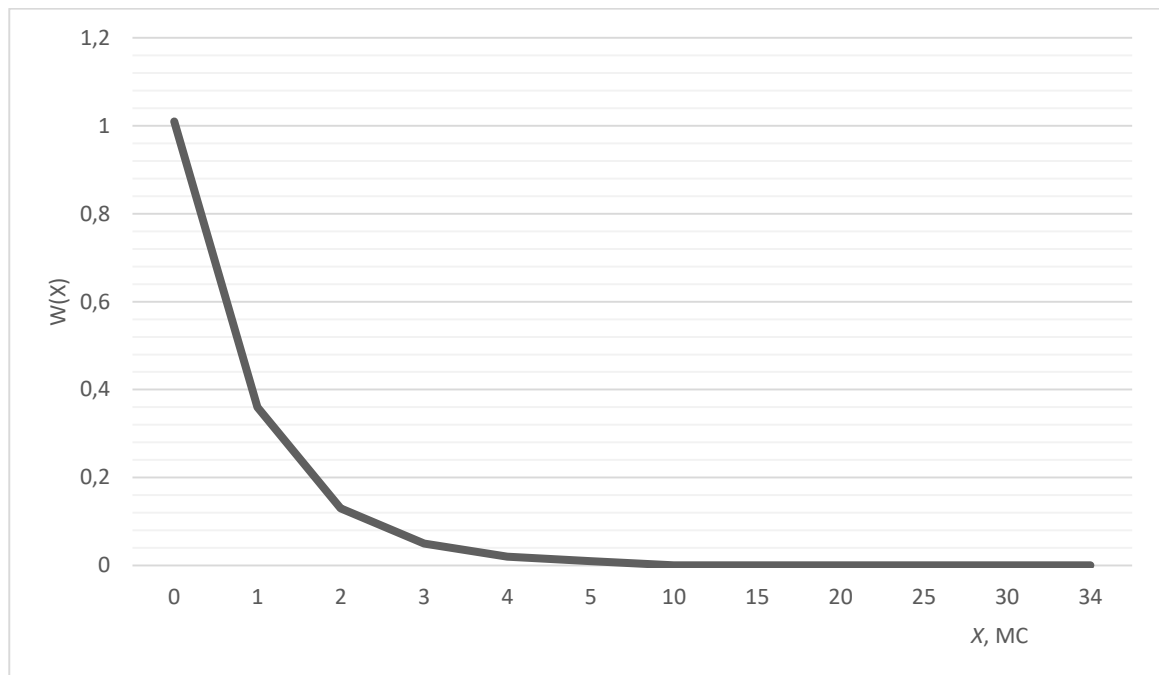


Рисунок 2.9 — функція щільності ймовірності часу очікування пакетів у черзі при  $N = 4$

Згідно рівнянню (2.6), знайдемо середню довжину черги для обох випадків.  
 $\bar{\varphi} = \lambda \bar{\chi}$ , де  $\lambda$  була визначена раніше та складає для  $N = 2$  — 1,25 Мбіт/с та при довжині пакету в 128 байт — 1,3 пакети/мс, для  $N = 4$  — 3 пакети/мс.

Таким чином, для  $N = 2$ :  $\bar{\varphi} = 0,93$ , або 1 пакет.

Для  $N = 4$ :  $\bar{\varphi} = 2,94$ , або 3 пакети.

Розглянутий в роботі випадок  $N = 4$  характеризує алгоритм розрахунку щільності ймовірнісного часу очікування пакетів у черзі для систем обслуговуючого типу G/M/1, при довільному числі користувачів у інтернет-провайдера буде легко обрахувати необхідні дані, так як при збільшенні користувачів ( $N$ ) вид щільності (2.20) залишається незмінним та для отримання щільності  $w(\chi)$  потрібно тільки знати дані для коефіцієнтів  $m_i, i=1,2,\dots,N$ .

При знайденій  $w(\chi)$  середній час очікування пакетів у черзі визначається безпосереднім інтегруванням з використанням цієї щільності.

Для конкретних розглянутих випадків  $N = 2$  та  $N = 4$  продемонстровано, що середній час очікування пакетів у черзі для чотирьох користувачів у 1.356 раз більше, ніж для двох.

Підводячи підсумки, у даному розділі представлені дві методики визначення характеристик вузла мережі інтернет-провайдера, представлених у вигляді моделей типу M/G/1 та G/M/1.

Перша методика дозволяє найбільш краще розглянути взаємозв'язок між основними характеристиками мережі: середнім часом очікування пакету в черзі, довжину черги та коефіцієнт навантаження мережі при заданих параметрах ефективної ширини смуги пропускання та якості сервісу.

Було з'ясовано, що зберігається тенденція зросту середнього часу очікування та середньої довжини черги при збільшенні коефіцієнту навантаження мережі для всіх законів розподілу часу обслуговування (рисунок 2.4). Зі зростом розміру буферу, росте середній час затримки та зменшується ймовірність втрат.

Друга методика являється аналітичним обчисленням основних параметрів вузла зв'язку, які впливають на якість обслуговування — це середній час очікування пакетів у черзі та довжина черги. Визначено, що для двох користувачів цей час є меншим, ніж для чотирьох користувачів мережі Інтернет, що підтверджується дослідженням на реальній мережі.

Таким чином, за допомогою даних досліджень можна вирішити задачу оптимізації — при заданому значенні затримки та ймовірності втрат обирати розмір буферу, що збільшить продуктивність та зменшить навантаження мережі.

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1 Обробка статистичних даних 4-х користувачів у мережі ПП «Радіонет»

У даному розділі наведено опис експериментальних досліджень на реальній існуючій мережі компанії ПП «Радіонет».

На рисунку 3.1 зображено фрагмент мережі ПП «Радіонет», який приймає участь в експерименті.

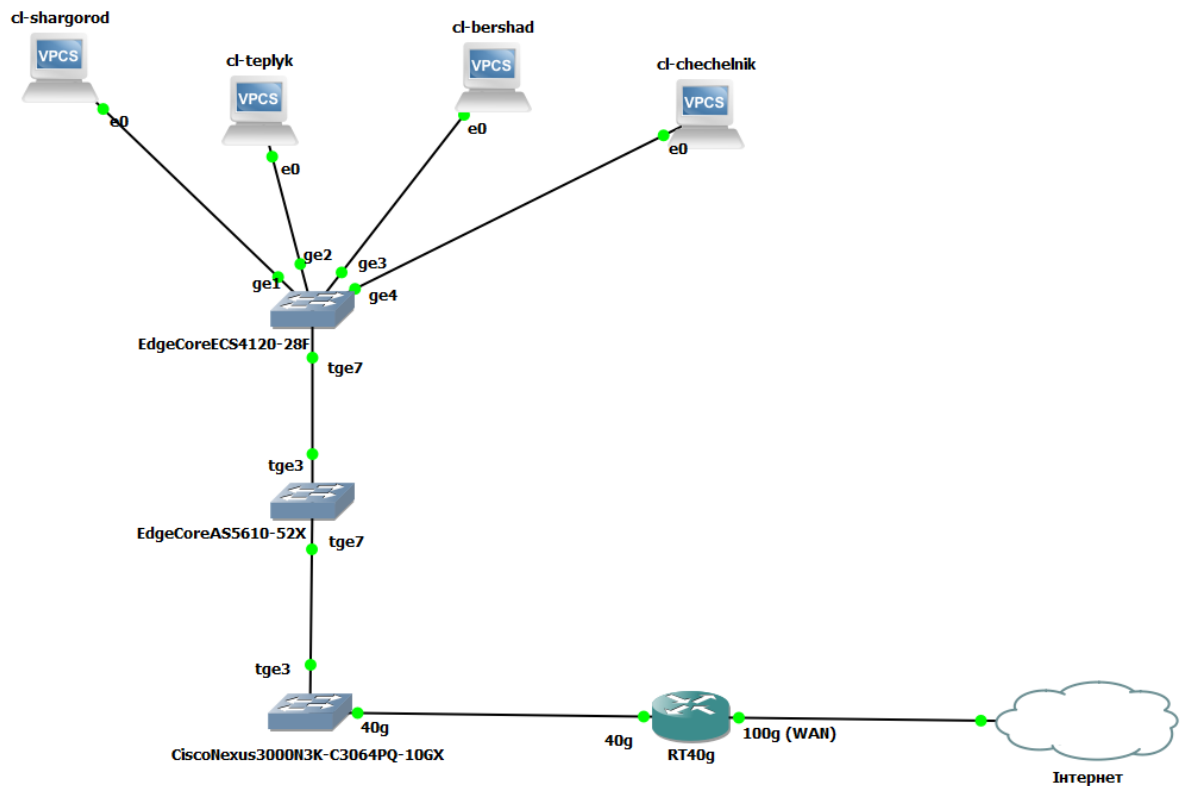


Рис. 3.1 — фрагмент мережі ПП «Радіонет»

До керованого 28-и портового комутатору 2-го рівня Edgescore ECS4120-28F (надалі 4120) під'єднано 4 користувача до портів 1, 2, 3 та 4 відповідно. Всі користувачі знаходяться в одній підмережі, в одному VLAN (віртуальна локальна мережа) та мають виділені реальні IP-адреси для виходу в мережу Інтернет (рисунок 3.2).

Interface > Port > General

Action: Show Information

Port List Total: 28

| Port | Type         | Name            | Admin   | Oper Status | Shutdown Reason | Media Type | Autonegotiation | Oper Speed Duplex | Oper Flow Control | MTU Size | Link Up Down Trap |
|------|--------------|-----------------|---------|-------------|-----------------|------------|-----------------|-------------------|-------------------|----------|-------------------|
| 1    | 1000BASE SFP | shargorod-life  | Enabled | Up          |                 | None       | Enabled         | 1000full          | None              | 9216     | Enabled           |
| 2    | 1000BASE SFP | teplyk-life     | Enabled | Up          |                 | None       | Enabled         | 1000full          | None              | 9216     | Enabled           |
| 3    | 1000BASE SFP | bershad-life    | Enabled | Up          |                 | None       | Enabled         | 1000full          | None              | 9216     | Enabled           |
| 4    | 1000BASE SFP | chechelnik-life | Enabled | Up          |                 | None       | Enabled         | 1000full          | None              | 9216     | Enabled           |
|      | 1000BASE     |                 |         |             |                 |            |                 |                   |                   |          |                   |

Рис. 3.2 — стисла інформація про статус портів на комутаторі Edgescore ECS4120

Порти 1, 2, 3 та 4 об'єднані в 1001 VLAN та являються нетегованими (untagged), тобто передають кадри, видаляючи з них мітку VLAN, та використовуються для під'єднання кінцевих користувачів. Порт 28 являється тегованим (tagged), тобто передає кадри цього VLAN, зберігаючи мітку та являється транковим.

Edgescore ECS4120 першим портом увімкнений в 32-ий тегований порт 48 портового керованого комутатора Edgescore AS5610-52X. На AS5610 піднятий віртуальний інтерфейс для здійснення міжвланової маршрутизації VLAN 1001:

```
interface vlan 1001
```

`ip address xxx.xxx.xxx.254 255.255.255.0` — адрес шлюзу мережі, де знаходяться користувачі

```
interface Ethernet 1/32
```

```
switchport allowed vlan add 1001 tagged
```

```
ip access-group 100 in
```

```
ip access-group 100 out
```

```
exit
```

```

ip access-list extended 100
    deny tcp 0.0.0.0 255.255.255.255 0.0.0.0 255.255.255.255 eq 445
    deny tcp 0.0.0.0 255.255.255.255 0.0.0.0 255.255.255.255 eq 135
    deny tcp 0.0.0.0 255.255.255.255 0.0.0.0 255.255.255.255 eq 139
    deny udp 0.0.0.0 255.255.255.255 0.0.0.0 255.255.255.255 eq 137
    deny udp 0.0.0.0 255.255.255.255 0.0.0.0 255.255.255.255 eq 139
    permit ip 0.0.0.0 255.255.255.255 0.0.0.0 255.255.255.255
exit

```

IP access-group 100 in та IP access-group 100 out — фільтри на вході та виході інтерфейсу. Фільтри записуються у конфігурацію для обмеження передачі та прийому пакетів на відповідні порти та слугують для здійснення безпеки від вірусів та спаму.

Edgecore AS5610-52X тегованими портами, об'єднаними за допомогою агрегації, 10, 18, 19, 21, 37, 39 до тегованих портів 19-24 керованого 52-х портового комутатора Cisco Nexus 3000 N3K-C3064PQ-10GX, який у свою чергу 52-им тегованим портом увімкнений в 2-ий порт sfr+ маршрутизатора на системі UNIX з вбудованими високошвидкісними мережевими інтерфейсами.

Для визначення середньої швидкості передачі даних фіксувалась статистика з кожного порту Edgecore ECS4120 впродовж одного робочого дня. З портів надходив трафік довільною інтенсивністю, переважав TCP. Пакети відправлялись розміром 1518 та 128 байт.

На рисунках 3.3 — 3.5 зображені графіки процесу передачі даних для робочої станції, підключеної з першого порту.



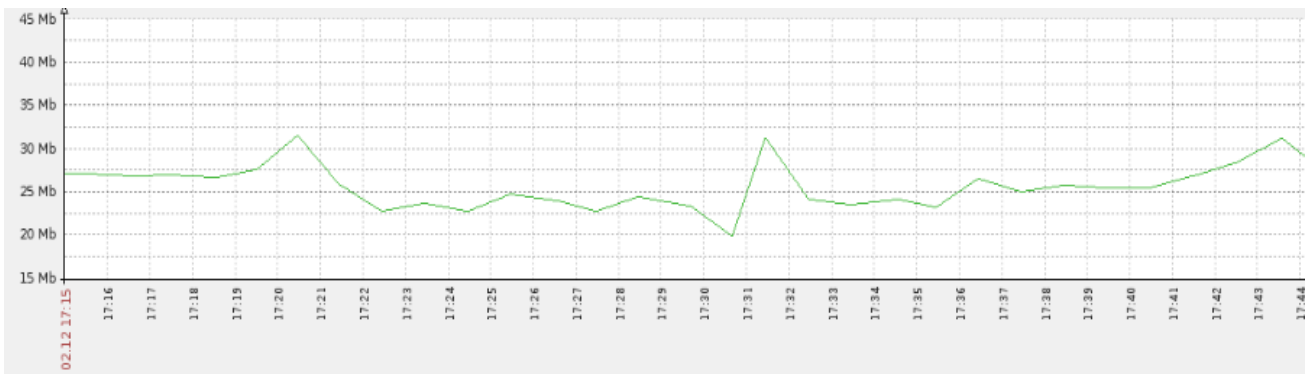


Рис. 3.3 — Передача даних в реальному часі від 1 порту до користувача

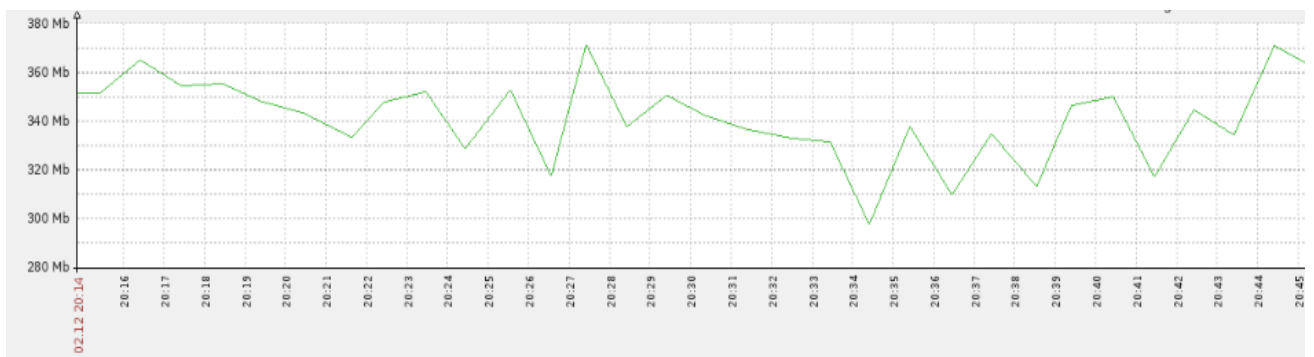


Рис. 3.4 — Передача даних в реальному часі від користувача до 1 порту ECS4120.

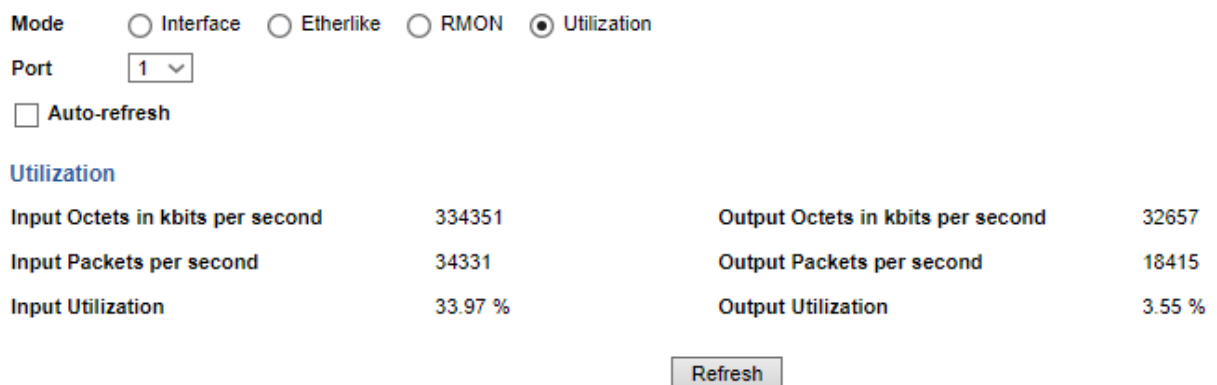


Рис. 3.5 — Загальний аналіз передачі даних в реальному часі першим портом

На рисунках 3.6 — 3.9 зображені графіки процесу передачі даних для робочої станції, підключеної з першого порту.

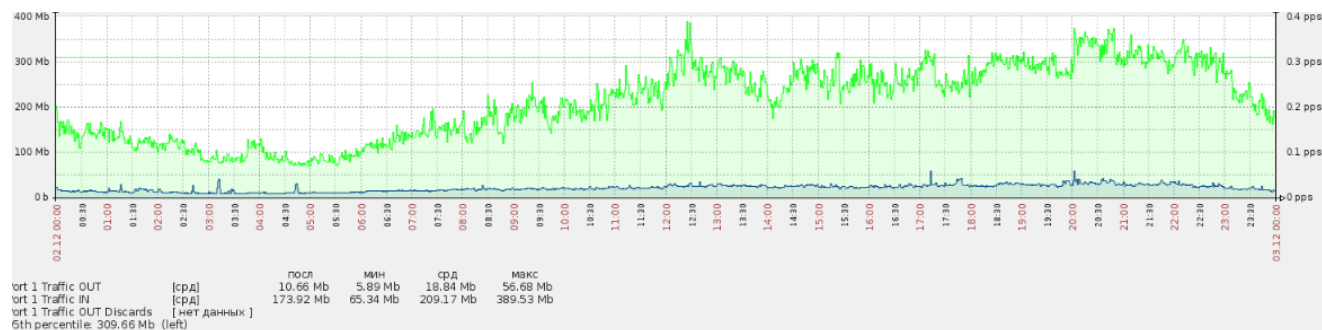


Рис 3.6 — Швидкість передачі даних першим портом ECS4120 за 24-и ГОДИНИ.

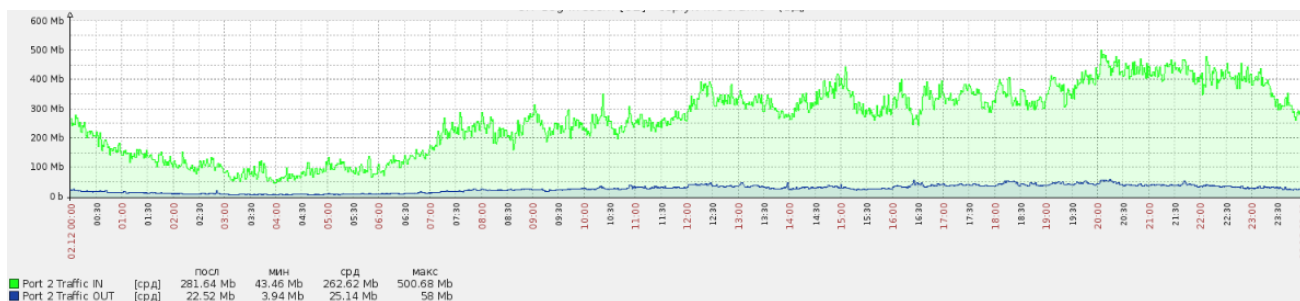


Рис. 3.7 — Швидкість передачі даних другим портом ECS4120 за 24-и ГОДИНИ.

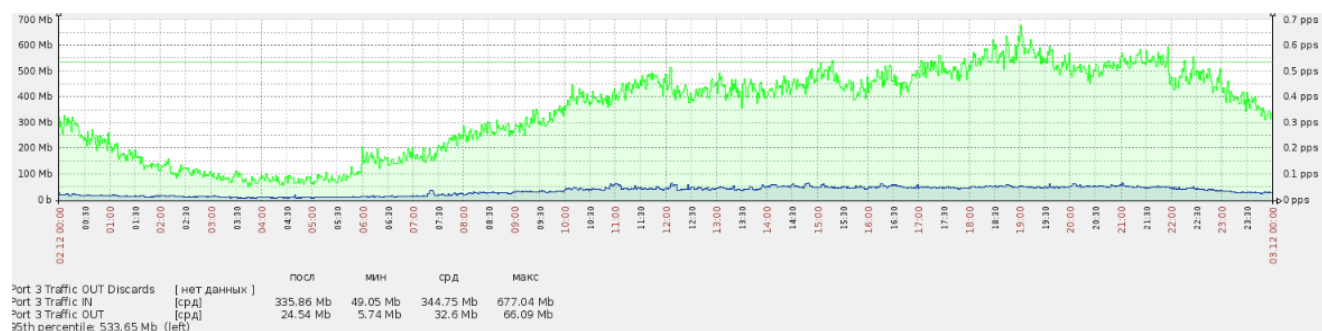


Рис. 3.8 — Швидкість передачі даних третім портом ECS4120 за 24-и ГОДИНИ.

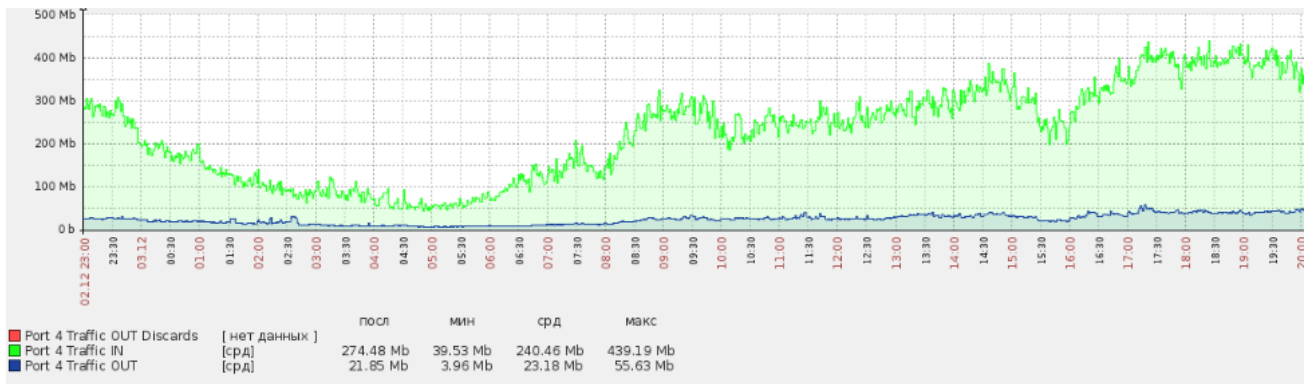


Рис. 3.9 — Швидкість передачі даних четвертим портом ECS4120 за 24-и години.

Користувачам надана загальна смуга пропускання 1Гбіт/с.

Середня швидкість передачі даних для 4-х користувачів за даний проміжок роботи в мережі Інтернет складає 264,25 Мбіт/с. Якщо встановити, що дані формуються в пакети розміром 128 байт та, знаючи середню швидкість передачі даних, можна визначити інтервал часу між надходженнями пакетів:

$$\bar{Z} = \frac{\bar{L}}{\bar{X}}, \quad (3.1)$$

де  $\bar{L}$  — середня довжина пакету;

$\bar{X}$  — середня швидкість передачі даних.

Таким чином  $\bar{Z} = 3,87$  мкс, при розмірі пакету 128 байт, і  $\bar{Z} = 45,9$  мкс при середньому розмірі пакету 1518 байт.

Теоретично було розраховано, що при середній швидкості надходження рівним 3 пакети/мс, середній час між надходженням пакетів склало 0,33 мс. Така відмінність пояснюється тим, що насправді користувачі займають не всю смугу пропускання рівною 1 Гбіт/с, виділеною провайдером, а лише, в середньому, 264,25 Мбіт/с. У теоретичному розділі середня швидкість надходження пакетів

розраховувалась саме при використанні користувачами всієї ефективної смуги пропускання.

Швидкість обробки пакетів визначається продуктивністю комутатора Edgescore ECS4120, який складає 95 Мпакетів/с (Mpps) розміром в 64-и байти. Реальний час обробки пакетів розраховується виходячи з смуги пропускання та середньої довжини пакетів:

$$\bar{Y} = \frac{\bar{L}}{h}, \quad (3.2)$$

де  $h$  — смуга пропускання.

Тоді  $\bar{Y} = 1,02$  мкс, при розмірі пакету 128 байт, і  $\bar{Y} = 12,14$  мкс при середньому розмірі пакету 1518 байт. Теоретично величина середнього часу обслуговування складає 1 мкс. Таким чином, можна розрахувати коефіцієнт реального навантаження мережі:

$$\rho = \frac{\bar{Y}}{\bar{Z}} = 0,26. \quad (3.3)$$

Якщо користувачам на маршрутизаторі обмежити смугу пропускання до 300 Мбіт/с, то середній час обробки пакетів становитиме 3,41 мкс і коефіцієнт навантаження мережі буде рівним 0,88. Теоретично коефіцієнт навантаження рівний 0,6.

### 3.2 Аналіз трафіку та характеристика поведінки інтернет-користувачів у мережі ПП «Радіонет»

Дані, отримані в даній магістерській роботі, були отримані від регіонального інтернет-провайдера Вінницької області. Мережа пропонує своїм

клієнтам доступ до глобальної мережі Інтернет, а також інші послуги, такі як оренда каналу, IPTV, хостинг. Мережа основана здебільшого на оптоволокні, та на обладнанні через радіорелейний зв'язок. В мережі використовуються динамічні виділені IP-адреси за допомогою реалізації DHCP, термін оренди IP-адреси складає 10 хв. В даному розділі буде розглянуто трафік смт. Ситківці та населених пунктів поблизу, в яких нараховується 549 унікальних користувачів. Всі користувачі працюють через технологію GPON, через її особливість користувачі розкинуті по великій області, надаючи велику кількість можливих демографічних груп. Швидкість інтернету варіюється від 30 Мбіт/с до 100 Мбіт/с, в залежності від того, яку послугу обрали користувачі.

На рисунку 3.10 відображений графік трафіку в мережі у будній день.

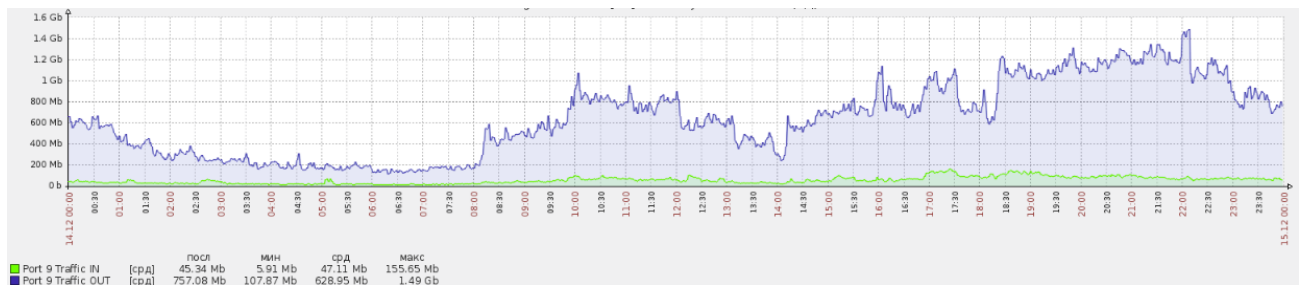


Рис. 3.10 — Трафік у мережі в будній день

На рисунку 3.11 відображено графік трафіку в мережі у вихідний день.

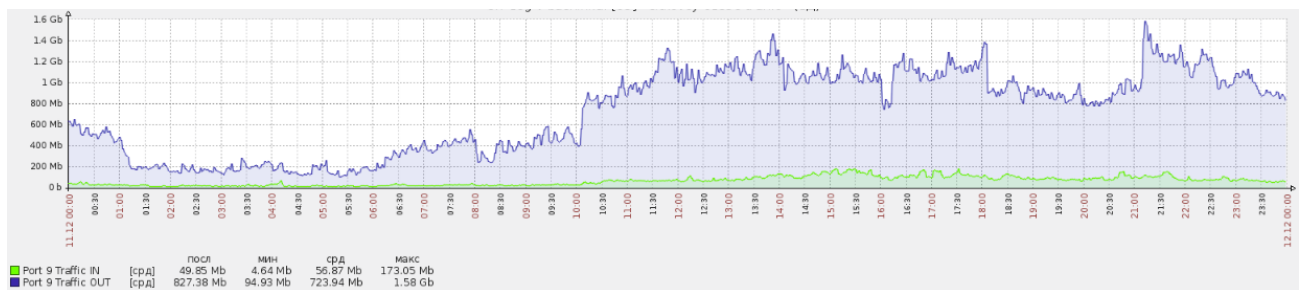


Рис. 3.11 — Трафік в мережі у вихідний день

Як видно на графіках вище, інтенсивність використання мережі в будні та вихідні доволі подібні. Піковий час використання припадає на 18:30-23:00, у вихідні час пік з 11:30 до 23:30, однак існують невеликі прогалини між 18:00-21:00. Однак середній об'єм трафіку приблизно однаковий. Окрім того, трафік асиметричний, вихідного трафіку більше, ніж вхідного. Це пов'язано з обміном файлами P2P.

Таблиця 3.2 — Аналіз вибору трафіку користувачів

| Пропускна здатність    | 30 Мбіт/с | 50 Мбіт/с | 60 Мбіт/с | 100 Мбіт/с |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Кількість користувачів | 8         | 2         | 298       | 202        |

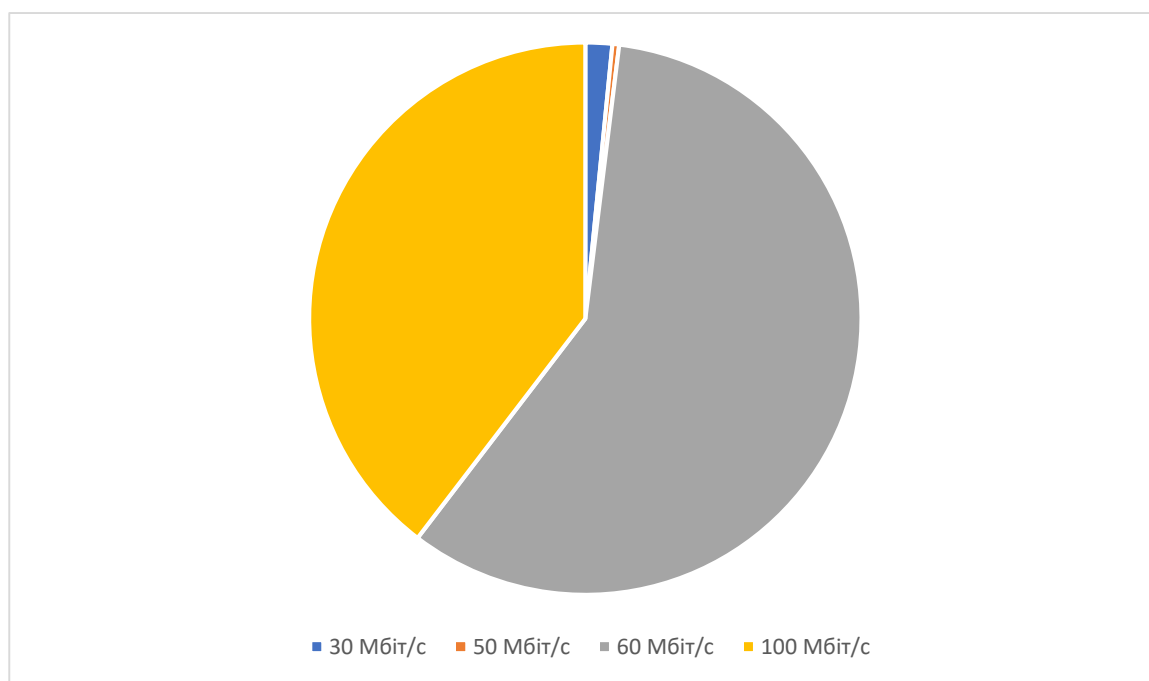


Рис. 3.12 — Діаграма переваги вибору смуги пропускання

В таблиці 3.2 та на рисунку 3.12 розглянуто сукупний аналіз трафіку під час поділу користувачів із різною швидкістю широкосмугового доступу. Як видно, користувачі з більш високою пропускнуою здатністю є більш активними користувачами інтернету, ніж користувачі з меншою пропускнуою здатністю, як з боку обсягів трафіку, так і часу. Користувачі з найвищою пропускнуою

спроможністю (100/100 Мбіт/с) знаходяться в мережі та активні в середньому 480 хвилин на день, що відповідає 8 годинам на день. Користувачі з найнижчою пропускною здатністю (30/30 Мбіт/с) в мережі активні тільки в середньому 5 годин на день.

Розглянувши дослідження у розділі 3.1 можемо підтвердити, що при збільшенні користувачів, смуга пропускання не буде використовуватись на максимальну спроможність. При сумі добутків пропускної здатності та кількості користувачів у смт. Ситківці, ми отримаємо необхідний розмір каналу передачі даних: 38,42 Гбіт. Звісно ж, компанія може встановити мережеве обладнання, які будуть мати в наявності інтерфейси 40 GigabitEthernet, але це буде нераціональним рішенням. Якщо повторно глянути на статистику (3.11, 3.12), що в будній день, що у вихідний день швидкість передачі даних не перевищував 1,6 Гбіт/с. Від швидкісного мережевого інтерфейсу 40 GigabitEthernet це складає 4%, доцільніше буде встановлення 10 GE. З врахуванням можливого масштабування, недовантажена мережа буде кращою стратегією з ефективною смугою пропускання.

Однією з цілей магістерської роботи було: проаналізувати зміну об'єму трафіку при форс-мажорних обставинах, щоб охарактеризувати поведінку користувача у співвідношенні використання інтернету.

Одним з аспектів використання інтернету являється його динаміка, а інколи і швидкі зміни, що робить аналіз тенденцій надзвичайно важливою темою дослідження.

Тим не менш, слід вказати, що однією з форс-мажорних обставин — вважається військовий стан, який вступив у силу 24 лютого 2022 року. На рисунку 4.13 відображений об'єм трафіку на каналі передачі даних одного з вищестоящих провайдерів, з 21 лютого 2022 р. по 28 лютого 2022р.

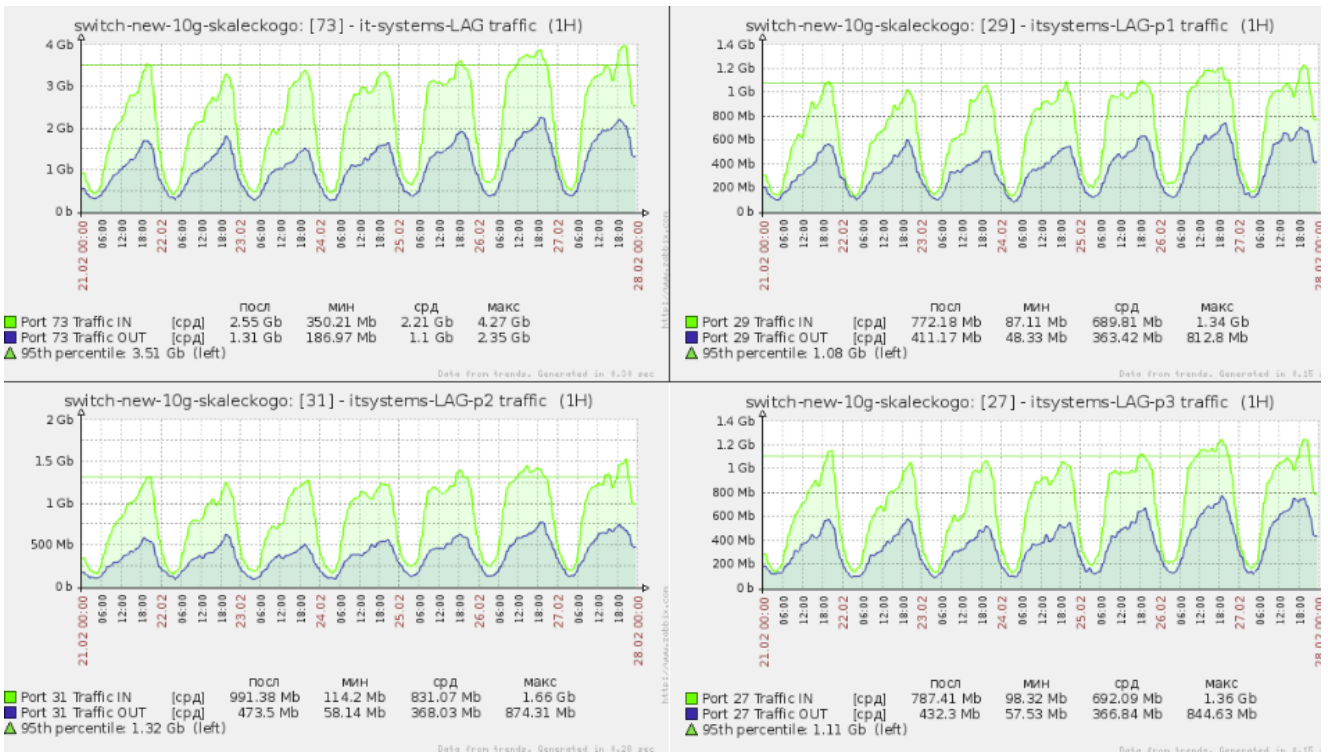


Рис. 3.13 — середній об'єм трафіку з 21.02.2022 по 28.02.2022

Як видно, з 21 лютого по 24 лютого об'єм трафіку мав інший об'єм та інтенсивність, ніж наступні чотири дні. Раніше, у першій половині дня, трафік споживався менше, ніж у другій половині. Якщо розглянути проходження трафіку між 24 лютого та 28 лютого, в першій половині доби трафік значно піднявся у розмірах, та можна порівняти до споживання трафіку у другій половині доби.

Зміну об'єму загального трафіку краще розглянути на графіку місячної тривалості, який зображений на рисунку 4.14.

Якщо взяти до увагу статистику за попередній місяць, де загальна середня швидкість передачі даних становила 4,02 Гбіт/с в даному агрегованому каналі. Якщо розглянути графік за даний проміжок, то неозброєним оком можна підмітити значний зріст трафіку. В середньому трафік використовувався з пропускну здатністю 5,73 Гбіт/с, що більше на 30% ніж минулого місяця.





Рис. 4.14. — середній об'єм трафіку з 21 лютого 2022 р. по 23 березня 2022 р.

Тобто, для стабільної роботи мережі інтернет-провайдера та при побудованні топології необхідно враховувати неочікувані обставини, непереборну третю силу, на яку не повпливати. Ріст трафіку на 30% за лише один місяць можна зобумовити більшим використання трафіку для перегляду новин від ЗМІ (веб-сторінки та потокові відео, інтернет-телебачення), так і для роботи віддалено. З початку пандемії COVID-19 стало популяризуватись дистанційна робота. Все це робить навантаження на мережу інтернет-провайдера.

В результаті цього розділу були проведені експериментальні дослідження передачі та обробки даних на реальній мережі інтернет-провайдера компанії ПП «Радіонет». Для цього аналізувалась різна статистика за робочий день: швидкість передачі даних, загальна кількість прийнятої інформації користувачами за весь час роботи в мережі інтернет, смуга пропускання, яка використовується користувачами. За допомогою даних, отриманих у результаті експерименту, було розраховано інтервал часу між надходженнями пакетів, середній час обробки

пакетів та коефіцієнт навантаження мережі, який показав у розділі 3.1, що пакети при навантаженості мережі лише на 26% майже не мають затримок (немає пакетів у черзі), а при навантаженості мережі на 88% користувачі отримують дані з невеликими затримками (реальний час обробки пакетів більший у три рази, ніж при навантаженості мережі на 26%), які можна зменшити шляхом збільшення загальної смуги пропускання.

В другому розділі було розраховано середній час очікування для 4-ох користувачів з інтенсивністю обслуговування  $\mu=5$  пакетів/мс та складало 0,98 мс. Середня довжина черги склала 3 пакети.

Опрацьовуючи значення, отримані теоретично, можна сказати, що параметри, які розраховані аналітично, являються найбільш раціональними для використання. Так як різниця між часом надходження пакетів та часом обслуговування невелика та складає 0,13 мс, це відповідає про раціональне використання ресурсів мережі інтернет-провайдера при стандартному навантаженні на 80%. Користувачі гарантовано отримають свої дані, та ресурси каналу інтернет-провайдера не простоює. Тому, методика, запропонована в розділі 2, найбільш доцільна для розрахунку основних параметрів трафіку інтернет-провайдера.

Також, у магістерській роботі було представлено аналіз вимірювань трафіку у вінницькій провайдинговій мережі з останньою милею через технологію GPON. Розглянуто детальні характеристики використання об'єму трафіку у співвідношені. Можна зробити певні висновки аналізу даної мережі. По-перше, трафік асиметричний, вихідного трафіку більше ніж вхідного. В основному це пов'язано з обміном файлами.

До того ж, було представлено, як форс-мажорні обставини можуть вплинути на використання інтернету. В Україні, введення військового стану через російську окупацію, різко повпливало на об'єми трафіку, де трафік різного типу значно збільшився.

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Комерційний та технологічний аудит науково-технічної розробки

Метою даного розділу є проведення технологічного аудиту, в даному випадку розробка комп'ютеризованих методів розрахунку параметрів трафіку, таких як: інтенсивність отримання пакетів, інтенсивність обслуговування, середній час очікування пакетів у черзі, довжина черги, та завантаженість вузла зв'язку інтернет-провайдера.

Особливість технології полягає у новому запропонованому методі аналізу параметрів вхідного трафіку, а також розробки методики визначення середньої затримки пакету та довжини черги в мережі інтернет-провайдера.

Аналогом може бути такий програмний продукт як NetFlow Traffic Analyzer підписка на рік для якого складає 385000 грн/рік з урахуванням першого безкоштовного місяця.

Для проведення комерційного та технологічного аудиту залучають не менше 3-х незалежних експертів. Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням п'ятибальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, у відповідності із табл. 4.1.

Таблиця 4.1 — Рекомендовані критерії оцінювання комерційного

| 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 роботоздатність продукту в реальних умовах |

Продовження табл. 4.1

| Ринкові переваги         |   |   |   |   |  |
|--------------------------|---|---|---|---|--|
| 2                        | Багато аналогів на малому ринку   | Ринкові п 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                            |
| 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                                     | Великий стабільний ринок  | Великий ринок з позитивною динамікою                                   |
| 7                        | Активна конкуренція великих компаній на ринку                                       | Активна конкуренція   | Помірна конкуренція   | Незначна конкуренція  | Конкурентів немає  |
| Практик на 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                                   |

## Продовження табл. 4.1

|    |   |  |   |   |   |
|----|---|--|---|---|---|
| 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    |
| 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       |

Усі дані по кожному параметру занесено в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 — Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

| Критерії оцінювання                          | ПІБ експертів |           |           |
|--|---------------|-----------|-----------|
|  | Експерт 1     | Експерт 2 | Експерт 3 |
|  | Бали          |           |           |
| Технічна здійсненність концепції             | 3             | 3         | 3         |
| Наявність аналогів на ринку                  | 3             | 3         | 4         |
| Цінова політика                              | 4             | 4         | 4         |
| Технічні та споживчі властивості виробу      | 4             | 3         | 4         |
| Експлуатаційні витрати                       | 3             | 4         | 3         |
| Ринок збуту                                  | 4             | 3         | 4         |
| Конкурентоспроможність                       | 3             | 4         | 3         |
| Фахівці з технічної і комерційної реалізації | 4             | 3         | 4         |

## Продовження таблиці 4.2

|                                |                       |    |    |
|--------------------------------|-----------------------|----|----|
| Фінансування                   | 4                     | 4  | 3  |
| Матеріально-технічна база      | 3                     | 3  | 4  |
| Термін реалізації ідеї         | 4                     | 4  | 4  |
| Супровідна документація        | 3                     | 3  | 3  |
| Сума                           | 42                    | 41 | 43 |
| Середньоарифметична сума балів | $(42+41+43) / 3 = 42$ |    |    |

За даними таблиці 4.2 можна зробити висновок щодо рівня комерційного потенціалу даної розробки. Для цього доцільно скористатись рекомендаціями, наведеними в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 — Рівні комерційного потенціалу розробки

| Середньоарифметична сума балів СБ ,<br>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                                 |

Як видно з таблиці, рівень комерційного потенціалу розроблюваного нового програмного продукту є високим, що досягається за рахунок того, що розроблені комп'ютеризовані методи розрахунку параметрів трафіку, враховують такі параметри як: інтенсивність отримання пакетів, інтенсивність обслуговування, середній час очікування пакетів у черзі, довжина черги, та завантаженість вузла зв'язку інтернет-провайдера. Особливість технології полягає у новому запропонованому методі аналізу параметрів вхідного трафіку, а також розробки методики визначення середньої затримки пакету та довжини черги в мережі інтернет-провайдера.

## 4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи

### 4.2.1 Основна заробітна плата розробників розраховується за формулою:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \times t, \quad (4.1)$$

де  $M$  — місячний посадовий оклад конкретного розробника (дослідника), грн.;

$T_p$  — число робочих днів в місяці, 22 днів;

$t$  — число днів роботи розробника (дослідника).

Результати розрахунків зведемо до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 — Основна заробітна плата розробників

| Найменування посади | Місячний посадовий оклад, грн. | Оплата за робочий день, грн. | Число днів роботи | Витрати на заробітну плату, грн. |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| Керівник проекту    | 48000                          | 2181,82                      | 48                | 104727,273                       |
| Програміст          | 45000                          | 2045,45                      | 48                | 98181,818                        |
| Всього              |                                |                              |                   | 202909,09                        |

Так як в даному випадку розробляється програмний продукт, то розробник виступає одночасно і основним робітником, і тестувальником розроблюваного програмного продукту.

4.2.2 Додаткова заробітна плата розробників, які приймали участь в розробці обладнання.

Додаткова заробітна плата прийнято розраховувати як 15 % від основної заробітної плати розробників та робітників:

$$Зд = З_0 \cdot 15 \% / 100 \% \quad (4.2)$$

$$Зд = (202909,09 \cdot 15 \% / 100 \%) = 30436,36 \text{ (грн.)}$$

#### 4.2.3 Нарахування на заробітну плату розробників.

Згідно діючого законодавства нарахування на заробітну плату складають 22 % від суми основної та додаткової заробітної плати.

$$Нз = (З_0 + Зд) \cdot 22 \% / 100\%, \quad (4.3)$$

$$Нз = (202909,09 + 30436,36) \cdot 22 \% / 100 \% = 51336,00 \text{ (грн.)}$$

4.2.4. Оскільки для розроблювального пристрою не потрібно витратити матеріали та комплектуючі, то витрати на матеріали і комплектуючі дорівнюють нулю.

4.2.5 Амортизація обладнання, яке використовувалось для проведення розробки.

Амортизація обладнання, що використовувалось для розробки в спрощеному вигляді амортизація обладнання, що використовувалась для розробки розраховується за формулою:

$$A = \frac{Ц}{Т_в} \cdot \frac{t_{вик}}{12} \text{ [грн.]} \quad (4.4)$$

де Ц — балансова вартість обладнання, грн.;

Т — термін корисного використання обладнання згідно податкового законодавства, років

$t_{вик}$  — термін використання під час розробки, місяців.

Розрахуємо, для прикладу, амортизаційні витрати на комп'ютер балансова



вартість якого становить 22000 грн., термін його корисного використання згідно податкового законодавства — 2 роки, а термін його фактичного використання — 2,18 міс.

$$A_{обл} = \frac{22000}{2} \times \frac{2,18}{12} = 2000 \text{ грн.}$$

Аналогічно визначаємо амортизаційні витрати на інше обладнання та приміщення. Розрахунки заносимо до таблиці 4.5.

Але, так як вартість ліцензійної ОС та спеціалізованих ліцензійних нематеріальних ресурсів менше 20000 грн, то даний нематеріальний актив не амортизується, а його вартість включається у вартість розробки повністю,  $V_{нем.ак.} = 1920$  грн. (Flexsim — безкоштовно, Zabbix — 5\$ за 5 днів, всього 48 робочих днів).

Таблиця 4.5 — Амортизаційні відрахування матеріальних і нематеріальних ресурсів для розробників

| Найменування обладнання   | Балансова вартість, грн. | Строк корисного використання, років | Термін використання обладнання, місяців | Амортизаційні відрахування, грн. |
|---|--------------------------|-------------------------------------|---|----------------------------------|
| Комп'ютер та комп'ютерна периферія (IdeaPad 100-15IBD (80QQ0165UA)) | 22000                    | 2                                   | 2,18                                    | 2000,000                         |
| Офісне обладнання (меблі)   | 21500                    | 4                                   | 2,18                                    | 977,273                          |
| Приміщення  | 1200000                  | 20                                  | 2,18                                    | 10909,091                        |
| Всього  |                          |                                     |   | 13886,36                         |

Тарифи на електроенергію для побутових споживачів (промислових підприємств) відрізняються від тарифів на електроенергію для населення. При цьому тарифи на розподіл електроенергії у різних постачальників (енергорозподільних компаній), будуть різними. Крім того, розмір тарифу залежить від класу напруги (1-й або 2-й клас). Тарифи на розподіл електроенергії для всіх енергорозподільних компаній встановлює Національна комісія з

регулювання енергетики і комунальних послуг (НКРЕКП). Витрати на силову електроенергію розраховуються за формулою:

$$V_e = B \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_n, \quad (4.5)$$

де  $B$  — вартість 1 кВт-години електроенергії для 1 класу підприємства,  
 $B = 6,2$  грн./кВт;

$\Pi$  — встановлена потужність обладнання, кВт.  $\Pi = 0,5$  кВт;

$\Phi$  — фактична кількість годин роботи обладнання, годин.

$K_n$  — коефіцієнт використання потужності,  $K_n = 0,9$ .

$$V_e = 0,9 \cdot 0,5 \cdot 8 \cdot 48 \cdot 6,2 = 1071,36 \text{ (грн.)}$$

#### 4.2.7 Інші витрати та загальновиробничі витрати.

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками. Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуються як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників:

$$I_g = (z_o + z_p) \cdot \frac{H_{ib}}{100\%}, \quad (4.6)$$

де  $H_{ib}$  — норма нарахування за статтею «Інші витрати».

$$I_g = 202909,09 \cdot 90\% / 100\% = 182618,2 \text{ (грн.)}$$

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та

раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів і т.д. Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуються як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників:

$$H_{нзв} = (3_o + 3_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (4.7)$$

де  $H_{нзв}$  — норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати».

$$H_{нзв} = 202909,09 * 150 \% / 100 \% = 304364 \text{ (грн.)}$$

#### 4.2.8 Витрати на проведення науково-дослідної роботи.

Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи:

$$B_{заг} = 202909,09 + 30436,36 + 51336,00 + 13886,36 + 1920 + 1071,36 + 182618,2 + 304364 = 788541,00 \text{ грн.}$$

4.2.9 Розрахунок загальних витрат на науково-дослідну (науково-технічну) роботу та оформлення її результатів.

Загальні витрати на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховуються  $ZB$ , визначається за формулою:

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\eta} \text{ (грн)}, \quad (4.8)$$

де  $\eta$  — коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи.

Так, якщо науково-технічна розробка знаходиться на стадії: науково-дослідних робіт, то  $\eta=0,1$ ; технічного проектування, то  $\eta=0,2$ ; розробки конструкторської документації, то  $\eta=0,3$ ; розробки технологій, то  $\eta=0,4$ ; розробки дослідного зразка, то  $\eta=0,5$ ; розробки промислового зразка, то  $\eta=0,7$ ; впровадження, то  $\eta=0,9$ . Оберемо  $\eta = 0,5$ , так як розробка, на даний момент, знаходиться на стадії дослідного зразка:

$$ЗВ = 788541,00 / 0,5 = 1577082 \text{ грн.}$$

#### 4.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнювальним позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів цієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку. Саме зростання чистого прибутку забезпечить потенційному інвестору надходження додаткових коштів, дозволить покращити фінансові результати його діяльності, підвищить конкурентоспроможність та може позитивно вплинути на ухвалення рішення щодо комерціалізації цієї розробки.

Для того, щоб розрахувати можливе зростання чистого прибутку у потенційного інвестора від можливого впровадження науково-технічної розробки необхідно:

- вказати, з якого часу можуть бути впроваджені результати науково-технічної розробки;
- зазначити, протягом скількох років після впровадження цієї науково-технічної розробки очікуються основні позитивні результати для потенційного інвестора (наприклад, протягом 3-х років після її впровадження);

— кількісно оцінити величину існуючого та майбутнього попиту на цю або аналогічні чи подібні науково-технічні розробки та назвати основних суб'єктів (зацікавлених осіб) цього попиту;

— визначити ціну реалізації на ринку науково-технічних розробок з аналогічними чи подібними функціями.

При розрахунку економічної ефективності потрібно обов'язково враховувати зміну вартості грошей у часі, оскільки від вкладення інвестицій до отримання прибутку минає чимало часу. При оцінюванні ефективності інноваційних проектів передбачається розрахунок таких важливих показників:

- абсолютного економічного ефекту (чистого дисконтованого доходу);
- внутрішньої економічної дохідності (внутрішньої норми дохідності);
- терміну окупності (дисконтованого терміну окупності).

Аналізуючи напрямки проведення науково-технічних розробок, розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором можна об'єднати, враховуючи визначені ситуації з відповідними умовами.

4.3.1 Розробка чи суттєве вдосконалення програмного засобу (програмного забезпечення, програмного продукту) для використання масовим споживачем.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta\Pi_0 \cdot N + \Pi_0 \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\rho}{100}\right), \quad (4.9)$$

де  $\pm\Delta\Pi_0$  — зміна вартості програмного продукту (зростання чи зниження) від впровадження результатів науково-технічної розробки в аналізовані періоди часу;

$N$  — кількість споживачів які використовували аналогічний продукт у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки;

$C_o$  — основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки,  $C_o = C_b \pm \Delta C_o$ ;

$C_b$  — вартість програмного продукту у році до впровадження результатів розробки;

$\Delta N$  — збільшення кількості споживачів продукту, в аналізовані періоди часу, від покращення його певних характеристик;

$\lambda$  — коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. Ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт  $\lambda = 0,8333$ .

$p$  — коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту;

$\vartheta$  — ставка податку на прибуток, у 2022 році  $\vartheta = 18\%$ .

Припустимо, що при прогнозованій ціні 38000 грн. за одиницю виробу, термін збільшення прибутку складе 3 роки. Після завершення розробки і її вдосконалення, можна буде підняти її ціну на 1000 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року — на 1000 шт., протягом другого року — на 800 шт., протягом третього року на 500 шт. До моменту впровадження результатів наукової розробки реалізації продукту не було:

$$\Delta\Pi_1 = (0 \cdot 1000 + (38000 + 1000) \cdot 1000) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - 0,18) = 6491666,407 \text{ грн.}$$

$$\Delta\Pi_2 = (0 \cdot 1000 + (38000 + 1000) \cdot (1000 + 800)) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - 0,18) = 11992499,520 \text{ грн.}$$

$$\Delta\Pi_3 = (0 \cdot 1000 + (38000 + 1000) \cdot (1000 + 800 + 500)) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - 0,18) = 15323749,387$$

грн.

Отже, комерційний ефект від реалізації результатів розробки за три роки складе 33807915,31 грн.

4.3.2 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.

Розраховуємо приведену вартість збільшення всіх чистих прибутків  $ПП$ , що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t}, \quad (4.10)$$

де  $\Delta\Pi_i$  – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої науково-дослідної (науково-технічної) роботи, грн;

$T$  – період часу, протягом якою виявляються результати впровадженої науково-дослідної (науково-технічної) роботи, роки;

$\tau$  – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні,  $\tau = 0,05 \dots 0,15$ ;

$t$  — період часу (в роках).

Збільшення прибутку ми отримаємо починаючи з першого року:

$$ПП = (6491666,407/(1+0,1)^1) + (11992499,520/(1+0,1)^2) + (15323749,387/(1+0,1)^3) = 5901514,92 + 9911156,628 + 11512959,72 = 27325631,26 \text{ грн.}$$

Далі розраховують величину початкових інвестицій  $PV$ , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки. Для цього можна використати формулу:

$$PV = k_{инв} * ЗВ, \quad (4.11)$$

де  $k_{inv}$  — коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію. Це можуть бути витрати на підготовку приміщень, розробку технологій, навчання персоналу, маркетингові заходи тощо; зазвичай  $k_{inv}=2\dots 5$ , але може бути і більшим;

$ZB$  — загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, грн.

$$PV = 2 * 1577082 = 3154163,99 \text{ грн.}$$

Тоді абсолютний економічний ефект  $E_{abc}$  або чистий приведений дохід (NPV, Net Present Value) для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{abc} = ПП - PV, \quad (4.12)$$

$$E_{abc} = 27325631,26 - 3154163,99 = 24171467,28 \text{ грн.}$$

Оскільки  $E_{abc} > 0$  то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів даної науково-дослідної (науково-технічної) роботи може бути доцільним.

Для остаточного прийняття рішення з цього питання необхідно розрахувати внутрішню економічну дохідність або показник внутрішньої норми дохідності (IRR, Internal Rate of Return) вкладених інвестицій та порівняти її з так званою бар'єрною ставкою дисконтування, яка визначає ту мінімальну внутрішню економічну дохідність, нижче якої інвестиції в будь-яку науково-технічну розробку вкладати буде економічно недоцільно.



Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій  $E_g$ . Для цього використаємо формулу:

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

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

$$E_g = \sqrt[3]{(1 + 24171467,28/3154163,99) - 1} = 1,054$$

Визначимо мінімальну ставку дисконтування, яка у загальному вигляді визначається за формулою:

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

де  $d$  — середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2022 році в Україні  $d = (0,09...0,14)$ ;

$f$  – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина  $f = (0,05...0,5)$ .

$$\tau_{\min} = 0,14 + 0,05 = 0,19.$$

Так як  $E_g > \tau_{\min}$ , то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g}, \quad (4.15)$$

$$T_{ок} = 1 / 1,054 = 0,95 \text{ р.}$$

Оскільки  $T_{ок} < 3$ -х років, а саме термін окупності рівний 0,95 роки, то фінансування даної наукової розробки є доцільним.

Висновки до розділу: економічна частина даної роботи містить розрахунок витрат на розробку нового програмного продукту, сума яких складає 1577082 гривень. Було спрогнозовано орієнтовану величину витрат по кожній з статей витрат. Також розраховано чистий прибуток, який може отримати виробник від реалізації нового технічного рішення, розраховано період окупності витрат для інвестора та економічний ефект при використанні даної розробки. В результаті аналізу розрахунків можна зробити висновок, що розроблений програмний продукт за ціною дешевший за аналог і є висококонкурентоспроможним. Період окупності складе близько 0,95 роки.

## ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі запропоновано метод розрахунку швидкості передачі пакетів для різної кількості користувачів в мережі інтернет-провайдера. Знайдено взаємозв'язок ефективної смуги пропускання та якості сервісу, яка визначає мінімально допустиму смугу пропускання, виділену провайдером для надання необхідної якості обслуговування.

Розроблені методики розрахунку основних характеристик вузла мережі інтернет-провайдера, відповідаючих за якість передачі даних, таких як середній час очікування в черзі та довжина черги в системах масового обслуговування типу M/G/1 і G/M/1, та визначено їх взаємозв'язок з якістю сервісу та навантаженістю мережі.

Результати розрахунку підтверджені експериментальною перевіркою.

Експериментальні дослідження, виконані на мережі ПП «Радіонет» (м. Вінниця), показали, що користувачі при навантаженості мережі на 26% майже не мають затримок, а при завантаженості мережі на 80% отримують дані з невеликими затримками, які можна зменшити шляхом збільшення загальної смуги пропускання. Це відповідає результатам, отриманим теоретичним шляхом.

Результати проведених досліджень з наданими теоретичними даними можуть бути корисні для цілей проектування та експлуатації мереж інтернет-провайдерів, а також при виборі розміру пам'яті буферу, що дозволить уникнути перевантажень в мережі та надавати користувачам якісну послугу у вигляді гарантованої швидкості доставки трафіку. Також дані дослідження можуть бути корисні при введенні нового комутаційного обладнання.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Аленов О.М.. Керування трафіком АТМ/ О.М. Аленов // Мережі та системи зв'язку. — 1998. — № 4 (4). — URL: [https://ccc.ru/magazine/depot/98\\_04/](https://ccc.ru/magazine/depot/98_04/).
2. Андрушко Д.О. Якість обслуговування в IP-мережах / Д. Андрушко // Комп'ютерний огляд. — 2016. — № 40, — URL: <http://itc.ua/article.phtml?ID=15116>.
3. Башарін Г.П., Бочаров П.П., Коган Я.А. Аналіз черг в обчислюваних мережах. Теорії та методи розрахунку / Г.П. Башарін, П.П. Бочаров, Я.А. Коган. — М.: Наука, 1989. — 336 с.
4. Буассо М., Деманж М., Мюньє Ж. Введення в технологію АТМ / М. Буассо, М. Деманж, Ж. Мюньє — М.: Радіо та зв'язок, 1997. — 128 с.
5. Вишневський В.М. Теоретичні основи проектування комп'ютерних мереж. / Вишневський В.М. — М.: Техносфера, 2003. — 512 с.
6. Голишко А.В. Якість обслуговування користувачів в корпоративних мультисервісних мережах / А. В. Голишко, <http://www.telepenclub.spb.ru/articles/avg/2001/del0701.pdf>.
7. Горальські В. Технологія ADSL і DSL / В. Горальські — М.: Наука, 2000 — 320 с.
8. Гордієвський В.Л. Анатомія пакетної передачі мовлення. Частина II. Якість / В.Л. Гордієвський // Мережі та системи зв'язку. — 2000 — № 12, [http://www.ccc.ru/magazine/depot/00\\_12/read.html?0301.html](http://www.ccc.ru/magazine/depot/00_12/read.html?0301.html).
10. Городецький А.Я., Заборовський В.С. Інформатика. Фрактальні процеси в комп'ютерних мережах. / Навчальний посібник / А.Я. Городецький, В.С. Заборовський. — М.: Видання, 2000 — 102 с.
11. Гречанінов А. Ефективне використання каналу доступу в Інтернет/ А. Гречанінов // Комп'ютерні Вісті. — 2002. — № 40, <http://www.kv.by/index2002400801.html>.

12. Карвовський Г. Якість обслуговування QoS, або мистецтво вгодити всім / Г. Карвовський // Data Communications — 2000. — № 5, <http://www.setevoi.ru/cgi-bin/materials.pl?issue-052000&article-qos>.
13. Клейнрок Л. Теорія масового обслуговування / Л. Клейнрокю. — М.: Машингобудування, 1979. — 432 с.
14. Ковальов І. Сучасне білінгове рішення для оператора мультисервісної фіксованої мережі І. Ковальов // Connect! Світ Зв'язку. — 2006. — № 10, Режим доступу до ресурсу: [http://www.connect.ru/article .asp?id-7189](http://www.connect.ru/article.asp?id-7189).
15. Кокс Д., Сміт У. Теорія черг / Д. Кокс, У. Сміт. — М.: Світ, 1996. — 220 с.
16. Компанія Cisco Systems представила нові рішення для мережевої периферії та різноманітних рівнів архітектури IP NGN // Мобільні телекомунікації. — 2006. — № 6, Режим доступу до ресурсу: <https://www.mobilecomm.ru/view.php?news=3519>.
17. Кучерявий О.А. Керування трафіком та якість обслуговування в мережі Інтернет / О.А. Кучерявий — 2004. — 336 с.
18. Лоу А.М., Кельтон В.Д. Імітаційне моделювання. Класика CS. / 3-є видання / А.М. Лоу, В.Д. Кельтон. — 2004. — 848 с.
19. Оліфер В.Г., Оліфер Н.А. Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи / Посібник для вузів. 3-є вид. / В.Г. Оліфер, Н.А. Оліфер. — 2004. — 864 с.
20. Оліфер Н., Оліфер В., Храмцов П.Б., Артемов В.І., Кузнєцов С.Д., Стратегічне планування мереж масштабу підприємства / Н. Оліфер, В. Оліфер, П.Б. Храмцов, В.І. Артемов, С.Д. Кузнєцов, <http://citroforum.urc.ac.ru/nets/spsmp/index.html> — 2001.

## 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  
проф., д.т.н.. Азаров О.Д..

" " 2022 р.

### ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи  
“ Технологія моніторингу та прогнозування трафіку в мережі провайдера  
послуг Інтернет ”  
08-23. МКР.007.00.000.ТЗ

Науковий керівник: проф. ОТ, к.т.н.  
\_\_\_\_\_ Захарченко С.М.

Студент групи 1КІ-21м  
\_\_\_\_\_ Кушнір Б.В.

ВНТУ 2022

## 1 Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

1.1 Важливим є актуальність дослідження у напрямку магістерської роботи, яка обумовлена тим, що в даний час можна спостерігати колосальний ріст кількості користувачів, так як і збільшення пропускної здатності каналів у інтернет-провайдерів. Клієнт та провайдер встановлюють компромісні відносини, де встановлюють мінімальну пропускну спроможність. Актуальність полягає в тому, що виводиться на розгляд вдосконалена методика аналізу параметрів вхідного трафіку, що важливо для побудови майбутніх стратегій інтернет-провайдерів;

### 1.2 Наказ про затвердження теми МКР.

## 2 Мета МКР і призначення розробки

2.1 Мета роботи — аналіз методів розрахунку параметрів вхідного трафіку інтернет-провайдера, а також дослідження впливу параметрів трафіку на якість обслуговування, наданий користувачу інтернет-провайдером;

2.2 Призначення розробки — аналіз та розробка методів розрахунку параметрів втрафіку, таких як: інтенсивність отримання пакетів, інтенсивність обслуговування, середній час очікування пакетів у черзі, довжина черги, та завантаженість вузла зв'язку інтернет-провайдера.

## 3 Вихідні дані для виконання МКР

3.1 Проаналізувати доступ в Інтернет з гарантованою швидкістю доставки трафіку;

3.2 Визначення ефективної ширини смуги пропускання;

3.3 Проаналізувати статистичні дані, зібраних з реальної мережі інтернет-провайдера, з ціллю перевірки теорій на практичній моделі.

#### 4 Вимоги до виконання МКР

Головна вимога — проаналізувати статистичні дані, зібрані з реальної мережі інтернет-провайдера та надати висновки.

#### 5 Етапи МКР та очікувані результати

Етапи роботи та очікувані результати приведено в Таблиці А.1.

Таблиця А.1 — Етапи МКР

| № етапу | Назва етапу   | Термін виконання |        | Очікувані результати  |
|---------|---|------------------|--------|---|
|         |   | початок          | кінець |   |
| 1       | Огляд і аналіз різновидів трафіку та мережевих характеристик.   |                  |        | Аналітичний огляд літературних джерел, задачі досліджень, розділ 1 ПЗ |
| 2       | Розробка методів розрахунку середньої швидкості   |                  |        |   |
| 3       | Розробка методу визначення ефективної смуги пропускання   |                  |        | Розділ 2  |
| 4       | Аналіз статистичних даних, зібраних з реальної мережі інтернет моделювання та проведення теоретичного розрахунку. |                  |        | Розділ 3  |
| 5       | Підготовка економічної частини  |                  |        | Розділ 4  |
| 6       | Апробація та впровадження результатів дослідження   |                  |        | Тези доповідей  |
| 7       | Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу і презентації  |                  |        | ПЗ, графіч. матеріал і презентація                                    |
| 8       | Підготовка супроводжуючих документів, їх підписування, проходження нормоконтролю та тесту на плагіат              |                  |        | Оформлені документи   |

#### 6 Матеріали, що подаються до захисту МКР



До захисту подаються: пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відгук наукового керівника, відгук опонента, протоколи складання державних екзаменів, анотації до МКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення МКР діючим вимогам.

## 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 Екзаменаційної комісії, затвердженої наказом ректора.

## 8 Вимоги до оформлювання та порядок виконання МКР

### 8.1 При оформлювання МКР використовуються:

— ДСТУ 3008: 2015 «Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання»;

— ДСТУ 8302: 2015 «Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання»;

— міждержавний ГОСТ 2.104-2006 «Єдина система конструкторської документації. Основні написи»;

— Методичні вказівки до виконання магістерських кваліфікаційних робіт зі спеціальності 123 — «Комп'ютерна інженерія». Кафедра обчислювальної техніки ВНТУ 2022;

— документами на які посилаються у вище вказаних.

8.2 Порядок виконання МКР викладено в «Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:21».

## ДОДАТОК Б

Теоретичні розрахунки параметрів:  $\chi$  та  $\phi$ Таблиця Б.1 — Теоретичні розрахунки параметрів:  $\chi$  та  $\phi$  при різних функціях розподілу часу обслуговування і класі сервісу  $c=10$ 

|  |       |         |          |          |          |          |          |
|--|-------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $L_n$ , біт                              | 576   | 2608    | 4640     | 6672     | 8704     | 10224    | 12208    |
| $Z_n$ , мкс                              | 85,29 | 352,31  | 619,32   | 886,34   | 1153,36  | 1353,1   | 1613,81  |
| $Y_n$ , мкс                              | 67,28 | 334,29  | 601,31   | 868,33   | 1135,35  | 1335,09  | 1595,8   |
| Коефіцієнт навантаження мережі $\rho$    | 0,788 | 0,949   | 0,971    | 0,98     | 0,984    | 0,987    | 0,989    |
| $\chi$ , експоненціальний розпод., мкс   | 250,4 | 6198,6  | 19998    | 41765    | 71189,7  | 109188,9 | 140971,3 |
| $\phi$ , експоненціальний розпод.        | 3     | 18      | 33       | 48       | 62       | 77       | 88       |
| $\chi$ , нормальний розп., мкс           | 33,22 | 824,4   | 2668,2   | 5339,5   | 9259,5   | 13432,29 | 19015,7  |
| $\phi$ , нормальний розпод.              | 1     | 3       | 5        | 7        | 9        | 10       | 12       |
| $\chi$ , гамма розпод.                   | 0,015 | 0,32    | 551,2    | 8292,56  | 16825,8  | 20332,5  | 20786,4  |
| $\phi$ , гамма розпод.                   | 1     | 1       | 1        | 10       | 15       | 16       | 17       |
| $\chi$ , рівномірний розпод., мкс        | 39,82 | 1177    | 3202     | 6765,96  | 11111,35 | 16118,01 | 22818,9  |
| $\phi$ , рівномірний розп.               | 1     | 4       | 6        | 8        | 10       | 12       | 15       |
| $\chi$ , логарифмічно-норм. розпод., мкс | 159,2 | 4172,01 | 11877,46 | 23550,35 | 38102,39 | 46231,64 | 71418,22 |
| $\phi$ , логарифмічно-норм. розп.        | 2     | 12      | 20       | 27       | 34       | 35       | 45       |

Таблиця Б.2 — Теоретичні розрахунки параметрів:  $\chi$  та  $\varphi$  при різних функціях розподілу часу обслуговування і класі сервісу  $c=10$

|  |        |          |          |          |          |           |           |
|--|--------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| $L_n$ , біт                              | 576    | 2608     | 4640     | 6672     | 8704     | 10224     | 12208     |
| $Z_n$ , мкс                              | 85,29  | 352,31   | 619,32   | 886,34   | 1153,36  | 1353,1    | 1613,81   |
| $Y_n$ , мкс                              | 67,28  | 334,29   | 601,31   | 868,33   | 1135,35  | 1335,09   | 1595,8    |
| Коефіцієнт навантаження мережі $\rho$    | 0,788  | 0,949    | 0,971    | 0,98     | 0,984    | 0,987     | 0,989     |
| $\chi$ , експоненціальний розпод., мкс   | 269,27 | 6231,29  | 20144,79 | 41573,34 | 71304,55 | 109603,67 | 141555,67 |
| $\varphi$ , експоненціальний розпод.     | 4      | 18       | 33       | 49       | 63       | 78        | 90        |
| $\chi$ , нормальний розп., мкс           | 41,5   | 715,3    | 2863,1   | 5444,8   | 9860,2   | 13944,5   | 20090,2   |
| $\varphi$ , нормальний розпод.           | 1      | 3        | 6        | 8        | 11       | 12        | 14        |
| $\chi$ , гамма розпод., мкс              | 0,005  | 0,092    | 671,2    | 4567,56  | 16005,8  | 17556,5   | 23788,44  |
| $\varphi$ , гамма розпод.                | 0      | 1        | 1        | 6        | 13       | 16        | 18        |
| $\chi$ , рівномірний розпод., мкс        | 41,23  | 1098     | 3345,45  | 6711,4   | 11345    | 15443,01  | 21334,9   |
| $\varphi$ , рівномірний розп.            | 1      | 3        | 7        | 8        | 10       | 13        | 14        |
| $\chi$ , логарифмічно-норм. розпод., мкс | 196,7  | 42336,76 | 10947,46 | 27580,35 | 37105,39 | 54231,64  | 81668,22  |
| $\varphi$ , логарифмічно-норм. розп.     | 2      | 13       | 18       | 33       | 34       | 39        | 51        |

## ДОДАТОК В

### Графіки передачі даних на кожному порті

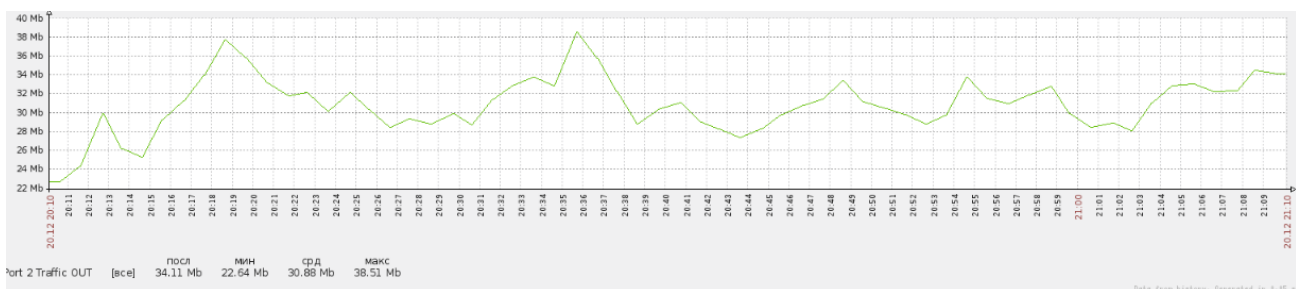


Рис. В.1. — Передача даних в реальному часі від 2 порта до користувача

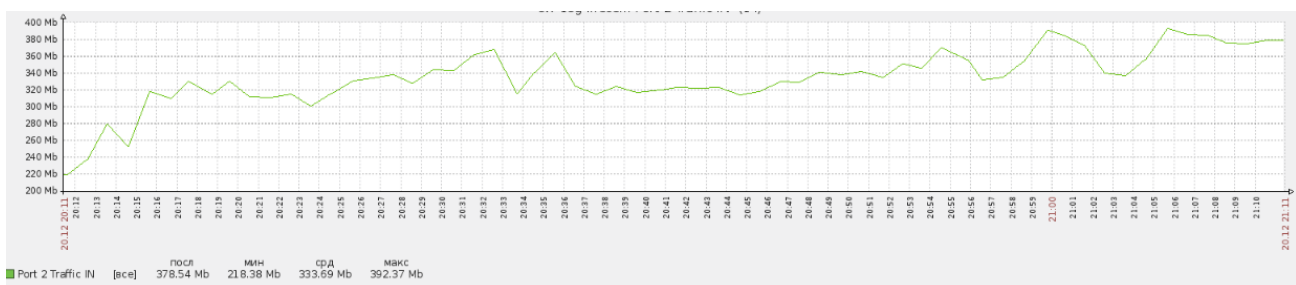


Рис. В.2. — Передача даних в реальному часі від користувача до 2 порта  
ECS4120

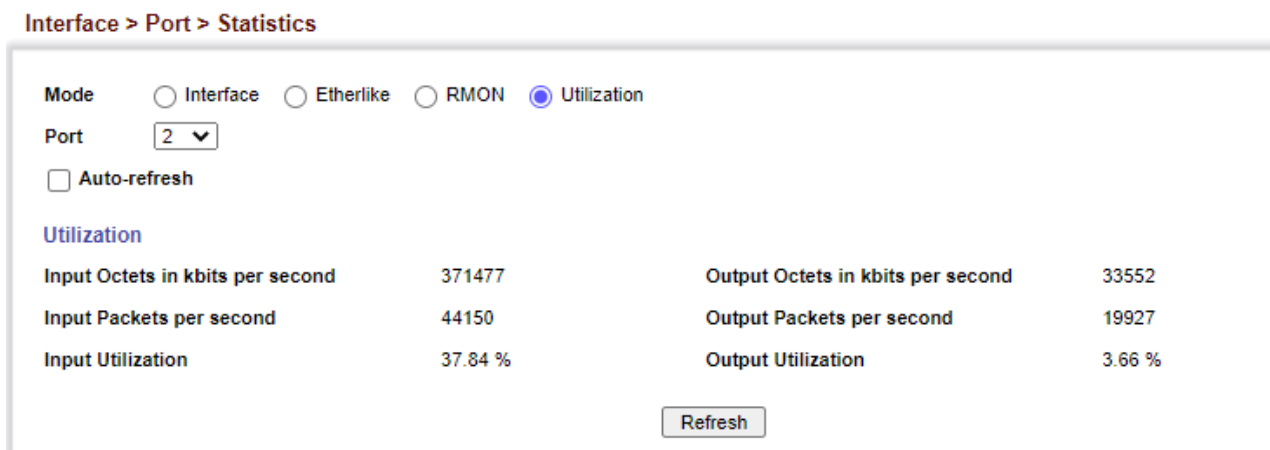


Рис. В.3. — Загальний аналіз передачі даних в реальному часі портом



Рис. В.4. — Передача даних в реальному часі від 3 порта до користувача

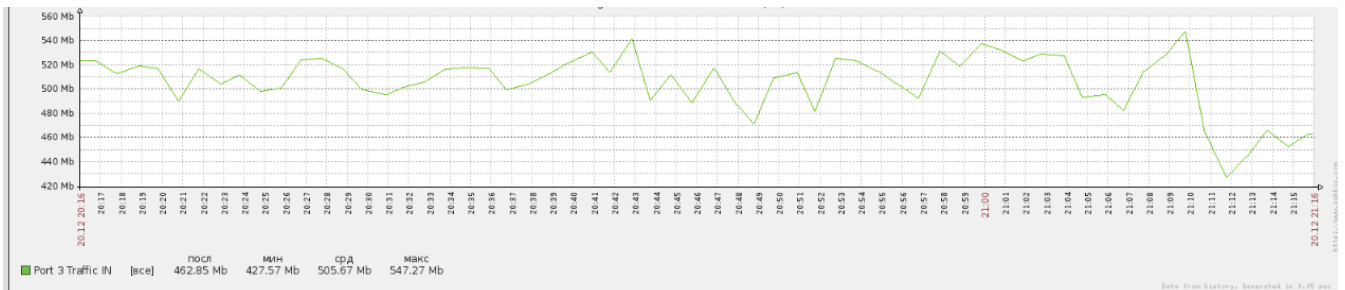


Рис. В.5. — Передача даних в реальному часі від користувача до 3 порту ECS4120

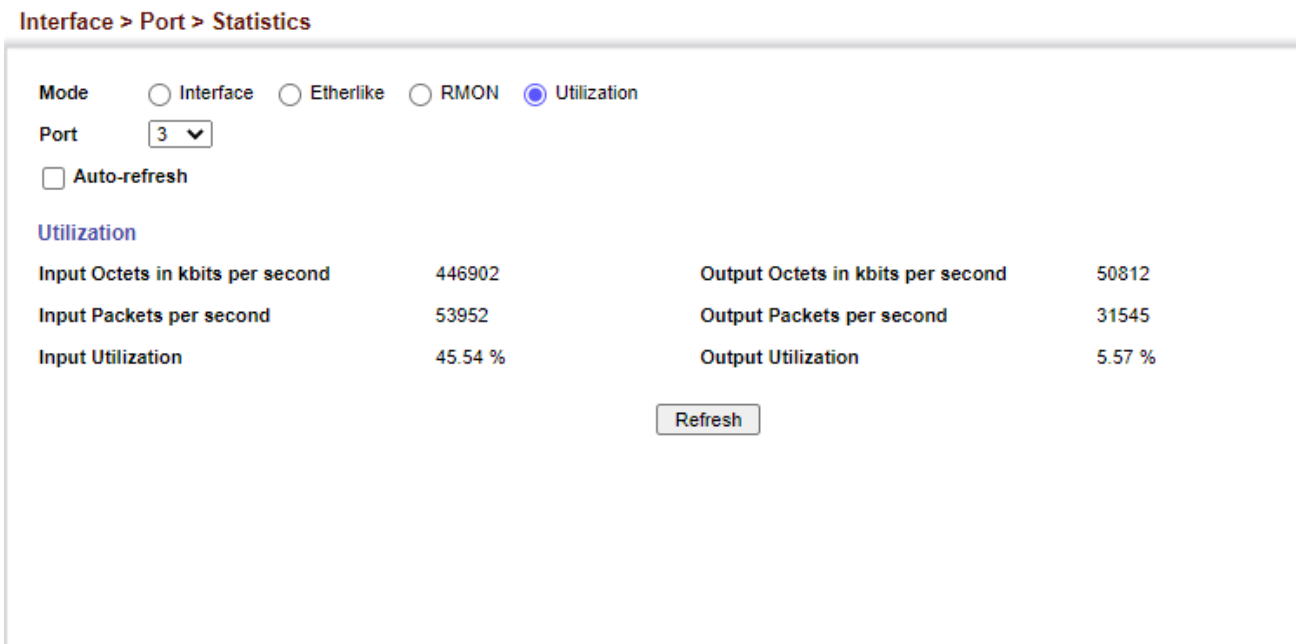


Рис. В.6. — Передача даних в Загальний аналіз передачі даних в реальному часі третім портом

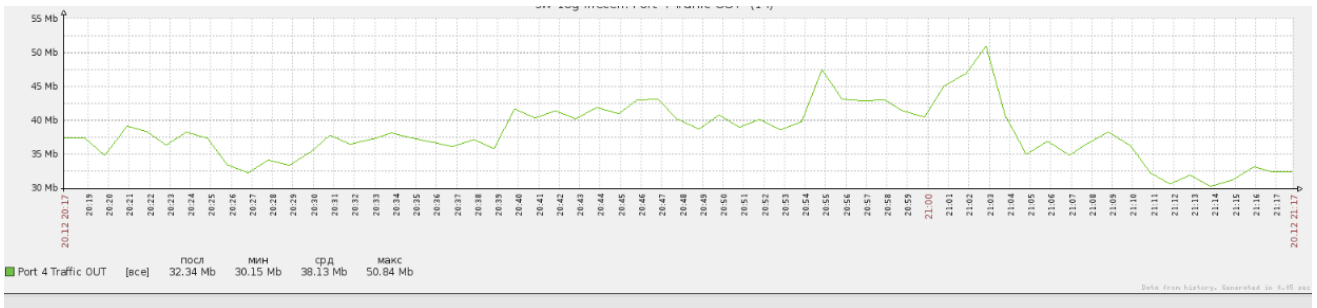


Рис. В.7. — Передача даних в реальному часі від 4 порта до користувача

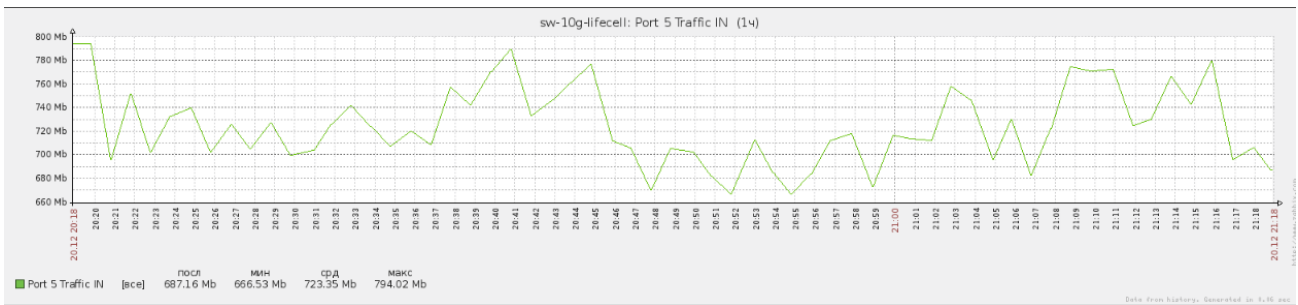


Рис. В.8. — Передача даних в реальному часі від користувача до 4 порта ECS4120

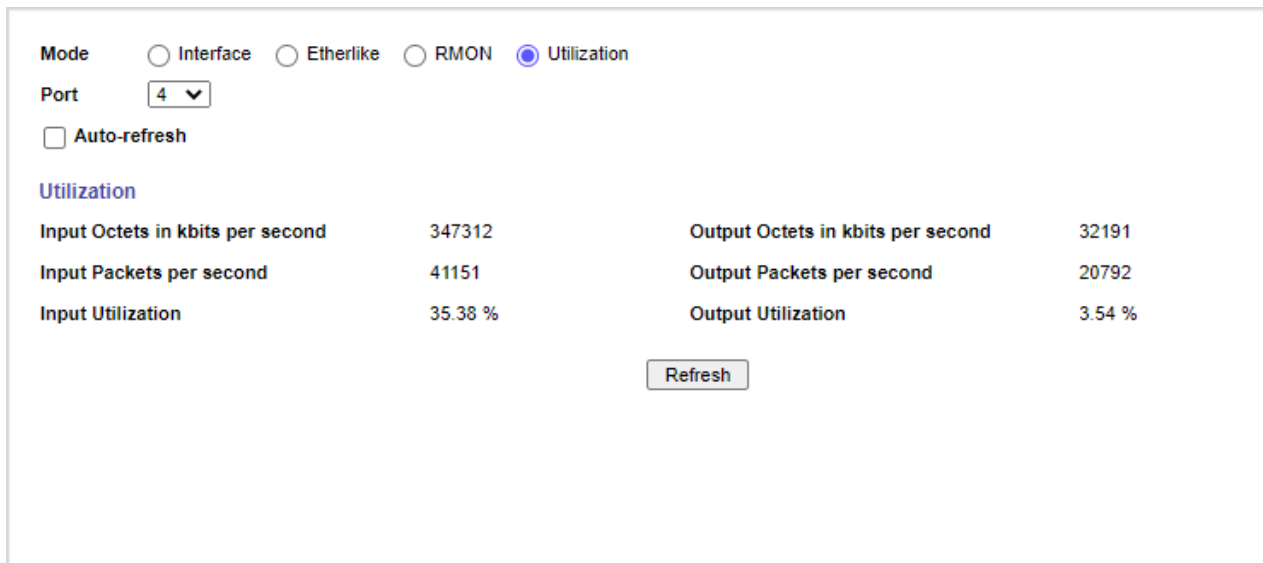


Рис. В.9. — Загальний аналіз передачі даних в реальному часі четвертим портом

**ДОДАТОК Г**  
**ПРОТОКОЛ**  
**ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**  
**НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ**  
**ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: Технологія моніторингу та прогнозування трафіку в мережі провайдера послуг Інтернет

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота  
 (БДР, МКР)

Підрозділ кафедра обчислювальної техніки  
 (кафедра, факультет)

**Показники звіту подібності**  
**Unicheck**

Оригінальність 95% Схожість 5%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку \_\_\_\_\_ Захарченко С.М.  
 (підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи \_\_\_\_\_ Кушнір Б.В.  
 (підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Захарченко С.М.  
 (підпис) (прізвище, ініціали)