

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет комп'ютерної інженерії та управління  
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин  
(повна назва)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**Пояснювальна записка**

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Методи та алгоритми управління ресурсами  
мультисервісної мережі

(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи КСМм-21-1  
Зінов'єв Б.М.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютерні системи та мережі  
(повна назва освітньої програми)

Керівник: доц. Іванісенко І.М.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ

Коваленко А.А.  
(прізвище, ініціали)

2022 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ комп'ютерної інженерії та управління \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_ електронних обчислювальних машин \_\_\_\_\_

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський) \_\_\_\_\_

Спеціальність \_\_\_\_\_ 123 – Комп'ютерна інженерія \_\_\_\_\_  
(код і повна назва)

Тип програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма \_\_\_\_\_ Комп'ютерні системи та мережі \_\_\_\_\_  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(Підпис)

" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2022  
\_\_\_\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту \_\_\_\_\_ Зінов'єву Богдану Миколайовичу \_\_\_\_\_  
(Прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи \_\_\_\_\_ Методи та алгоритми управління ресурсами мультисервісної мережі \_\_\_\_\_

затверджена наказом по університету від " 07 " листопада 2021 р. № \_\_\_\_\_ 1453 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 13 грудня 2022 р.

3. Вхідні дані до роботи \_\_\_\_\_

Загальна структура обчислювальних систем, структура досліджуваний трафіку,  
концепція створення мереж нового покоління (NGN), методи імітаційного моделювання  
систем масового обслуговування, структура інфокомунікаційних мереж спеціального  
призначення, методи балансування інформаційних ресурсів у ТКС

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

Вступ.

Аналіз літератури та особливості побудови мереж спеціального призначення.

Аналіз інформації щодо оцінки якості управління мережею.

Проведення експериментальних досліджень.

Аналіз отриманих результатів та розрахунок параметрів управління ресурсами.

Висновки. Додаток.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів)

Презентація Powerpoint 13 слайдів.

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначку консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п./ п.	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літератури за темою роботи	08.11.22–10.11.22	
2	Постановка мети та задач	11.10.22–12.11.22	
3	Оцінка якості управління ресурсами мережі	13.11.22–15.11.22	
4	Класифікація методів управління ресурсами	16.11.22–18.11.22	
5	Балансування ресурсів у ТКС	19.11.22–24.11.22	
6	Експериментальна частина	25.11.22–29.11.22	
7	Розрахункова частина	30.11.22–02.12.22	
8	Підготовка пояснювальної записки	03.12.22–06.12.22	
9	Розробка презентації та доповіді	07.12.22–09.12.22	
10	Подача роботи у ЕК	10.12.22	

Дата видачі завдання 07 грудня 2022 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи

доц. Іванісенко І.М.

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 82 с., 20 рис., 7 табл., 15 джерела.

МЕРЕЖІ NGN, АДАПТИВНИЙ АЛГОРИТМ БАЛАНСУВАННЯ ТРАФІКУ, МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ, СМО, КОМП'ЮТЕРНА МЕРЕЖА, ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТКС.

Мета кваліфікаційної роботи полягає у дослідженні методів управління ресурсами при роботі різних мережевих пристроїв й оцінці цих методів.

У ході виконання кваліфікаційної роботи було наведено методи прийняття рішення щодо ефективного управління ресурсами. Розглянуто адаптивний алгоритм оптимальної роботи інформаційних телекомунікаційних ресурсів. Також представлений інформаційний аналіз з оцінки якості управління мережею.

## ABSTRACT

Master's thesis: 82 pages, 20 figures, 7 tables, 15 sources.

NGN NETWORKS, ADAPTIVE TRAFFIC BALANCING ALGORITHM,  
RESOURCE MANAGEMENT METHODS, SMO, COMPUTER NETWORK,  
TKS INFORMATION RESOURCES.

The goal of qualifying work is to study the methods of resource management during the operation of various network devices and to evaluate these methods.

During the qualifying work, decision-making methods for effective resource management were presented. An adaptive algorithm for the optimal operation of information and telecommunication resources is considered. An informational analysis for assessing the quality of network management is also presented.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	8
ВСТУП .....	9
1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ .....	12
1.1 Оцінка показників надійності та формалізація параметрів якості.....	12
1.2 Методи прийняття рішень щодо ефективного управління ресурсами..	14
1.2.1 Класифікація методів управління ресурсами.....	14
1.3 Система управління та моніторингу мереж NGN.....	20
1.4 Мета й задачі роботи.....	23
2 ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРАФІКА .....	25
2.1 Концепції управління мережевими ресурсами .....	25
2.1.1 Критерії вибору типу інформаційної мережі .....	31
2.1.2 Мережеві служби .....	32
2.1.3 Розробка адаптивного алгоритму балансування трафіка, що дозволяє поліпшити QoS мережі .....	34
2.1.4 Створіння гнучких, ефективних процедур управління динамічно змінюваним, багатокритеріальним, багатопріоритетним трафіком ділянки МТС .....	35
2.2 Балансування інформаційних ресурсів у ТКС на основі розподіленої системи.....	36
2.2 Балансування інформаційних ресурсів у ТКС .....	38
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА УПРАВЛІННЯ ОБЛІКОМ МЕРЕЖЕВИХ РЕСУРСІВ .....	43
3.1 Експериментальна частина .....	43
3.2 Розрахунок навантаження, створюваного користувачами мультисервісної мережі .....	45

3.3 Розрахунок транспортного ресурсу для взаємодії комутаторів пакетної мережі.....	55
3.4 Розрахунок продуктивності гнучкого комутатора .....	57
3.5 Опис застосування обладнання для організації мультисервісної мережі.....	58
3.6 Віртуальні буфери та алгоритми планування .....	64
3.7.1 Черга з попередженням .....	65
3.7 Справедливо зважена черга .....	66
ВИСНОВКИ.....	69
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	70
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	72
ДОДАТОК Б Результати порівняння методів управління трафіком.....	80

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ  
І ТЕРМІНІВ

ATM – асинхронний спосіб передачі даних (англ., Asynchronous Transfer Mode)

BGP – протокол граничного шлюзу (англ., Border Gateway Protocol)

BL – базовий рівень (англ., Base Layer)

CBR – постійний бітрейт (англ., Constant Bit Rate)

CBS – фіксований розмір буфера (англ., Committed Bust Size)

CIR – фіксована інформаційна швидкість (англ., Committed Information Rate)

CR-LDP – протокол розподілу міток маршрутизації, заснований на обмеженнях (англ., Constraint-based Routing Label Distribution Protocol)

DHCP – протокол динамічного налаштування вузла (англ., Dynamic Host Configuration Protocol)

FIFO – «першим прийшов – першим пішов» (обслуговування в порядку надходження) (англ., First In, First Out)

IPSec – захист даних, що передаються через IP (англ., IP Security)

MPLS – багатопрокольна комутація за мітками (англ., Multiprotocol Label Switching)

MWL – проміжний рівень (англ., MidWay Layer)

NGN – мережі наступного покоління (англ., Next Generation Networks)

OSPF – протокол динамічної маршрутизації по найкоротшому шляху (англ., Open Shortest Path First)

QoS – якість обслуговування (англ., Quality of Service)

КА – керуючий агент

## ВСТУП

Розвиток широкосмугового доступу призвело до зміни як структури трафіку на магістральному рівні, а й розподілу доходів від послуг зв'язку. Цей процес було неможливо позначитися розвитку операторських мереж, у яких дедалі більше ресурсів виділялося під обробку трафіку даних. Такий розвиток подій ініціювало активне впровадження в операторських мережах технологій пакетної передачі [1-4].

Для управління сучасною мережею передачі даних необхідно застосувати ефективні методи маршрутизації, управління трафіком та контролю завантаженості мережі, які ґрунтувалися б на даних, що надаються інструментом прогнозування трафіку на основі попередніх значень. Графічна інформація, голосові дані, а також відео додатки висувають свої особливі вимоги до таких мереж.

Для задоволення всіх запитів збільшення ємності мережі недостатньо. Оскільки кількість користувачів різних мережних додатків збільшується з кожним днем, мережа потребує засобів, які б забезпечили підтримку як існуючих, так і програм і служб, що з'являються.

Перспективні мультисервісні телекомунікаційні системи (МТС), що є основою формування мереж наступного покоління (DWDM), значно залежні від розвитку відповідних засобів управління. До основних таких засобів належать механізми управління трафіком (інформаційний ресурс) та можливість розподілу пропускнуєї спроможності трактів передачі МТС.

Управління операціями включає управління розподіленими мережевими ресурсами з центрального пункту. Воно передбачає два набори функцій: послуги загальних операцій (common operations service) та послуги управління операціями (operations management services).

Середосновних ознак системи слід назвати: множинність елементів, цілісність та єдність між ними, наявність певної структури тощо. Разом з тим

система має властивості, відмінні від властивостей своїх елементів. Будь-яка система, у загальному вигляді, має вхідний вплив, систему обробки, кінцеві результати та зворотний зв'язок.

Управління – це процес на систему з метою підтримки заданого чи перекладу її у новий стан.

Система управління – сукупність всіх елементів, підсистем та комунікацій між ними, а також процесів, що забезпечують задане (цілеспрямоване) функціонування організації.

Основними системними принципами є:

- цілісність властивостей системи до суми властивостей складових її елементів і не можливість виведення з останніх властивостей цілого;

- структурність – можливість опису системи через встановлення її структури, т. е. обумовленість поведінки системи й не так поведінкою її окремих елементів, скільки властивостями її структури;

- взаємозалежність структури та середовища – система формує та виявляє свої властивості у процесі взаємодії з середовищем, будучи при цьому активним елементом взаємодії;

- ієрархічність – кожен елемент системи своє чергу може розглядатися як система, а досліджувана система є одне із елементів ширшої, глобальної системи;

- множинність опису кожної системи, що дає макроскопічне, мікроскопічне, ієрархічне, функціональне та процесуальне уявлення про систему. У зв'язку з цим завданням системного підходу є ідентифікувати цілі, пояснити поведінку та властивості цілого з погляду його ролі та функції.

Система управління з позиції системного підходу може бути визначена як:

- концептуальна, якщо вона розглядається як модель системи управління;

- емпірична, якщо розглядається конкретна організація; – штучна, оскільки вона створена та використовується людьми;
- «людино-машинна» («людино-комп'ютерна»), оскільки в контур управління включена автоматизована інформаційна система;
- замкнута або відкрита залежно від розв'язуваних завдань та використовуваної для цього інформації – лише внутрішньої чи пов'язаної з навколишнім середовищем;
- тимчасова, оскільки вона періодично піддається формальним чи неформальним змінам.

Принципи управління – нічим іншим, як вихідні, фундаментальні, базові ідеї управлінської діяльності, і навіть найважливіші вимоги, дотримання яких забезпечує її ефективність. Принципи управління є найважливішим елементом механізму управління, оскільки вони виростають із законів і закономірностей управління, і цим відбивають об'єктивну реальність. Разом з тим, принципи належать суб'єкту, і у зв'язку з цим вони мають суб'єктивний характер. Така двоїстість природи принципів управління потребує певного, виваженого ставлення до них як керівництва до дій.

ISO зробила великий внесок у стандартизацію мереж. Модель управління мережі цієї організації є основним засобом розуміння основних функцій систем управління сети. Ця модель складається з 5 концептуальних областей:

- управління ефективністю;
- управління конфігурацією;
- управління обліком використання ресурсів;
- управління несправностями;
- управління захистом даних.

# 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

## 1.1 Оцінка показників надійності та формалізація параметрів якості

У зв'язку з інтенсивним впровадженням нових технологій, що дозволяють операторам мереж зв'язку надавати користувачам широкий спектр сучасних послуг, відбулося значне удосконалення ресурсів самих мереж зв'язку. Потреба більшої пропускної спроможності телекомунікаційних мереж постійно збільшується. Задоволення цих потреб вимагає використання великої кількості протоколів та механізмів контролю та управління ресурсами телекомунікаційних мереж.

На перший погляд, як може здатися, впровадження на мережу безлічі різнорідних підсистем, що доповнюють одна одну і суттєво покращують характеристики мережі загалом, призвело до створення високонадійних систем зв'язку. Можливість постійного спостереження за станом мережі, контроль за працездатністю її окремих елементів та оперативне втручання у їхню роботу у разі виявлення перевантаження на мережі чи збою при обслуговуванні групи викликів забезпечує досить високі показники надійності її експлуатації.

Однак аналіз ефективності функціонування складних систем, до яких, безумовно, відноситься і сучасна мережа зв'язку, показує велику кількість недоліків в управлінні мережевими елементами. Наприклад, передача службових сигналів різних протоколів, що використовуються для управління елементами мережі на різних рівнях згідно з моделлю взаємодії відкритих систем (OSI), займає в деяких мережах до 22% всієї їх пропускної здатності. Також при виявленні несправності в одному з елементів мережі не передбачається його автоматичне ініціалізація/перезавантаження, що призводить до великих затримок відновлення зв'язку.

Якщо додати до цього, що внутрішня система контролю за елементом мережі охоплює лише певний перелік помилок і несправностей і не враховує порушень нормальної роботи, що відбулися з вини обслуговуючого персоналу або викликаних впливом зовнішніх факторів, постає питання: які ж статистичні дані необхідні для визначення реальних показників надійності функціонування мереж зв'язку?

Розробка певної методики збору та обробки експлуатаційних даних теж становить певний інтерес. Необхідність застосовувати статистичні методи оцінки функціонування технологічних процесів у мережах зв'язку визначила завдання виявити коло статистичних даних (експлуатаційних показників надійності), за допомогою яких згодом можна надати розрахункові якісні показники працездатності всієї мережі з урахуванням її конфігурації, технічної оснащеності і т. п. Нижче наведені деякі рекомендації щодо збору та обробки статистичних даних як вихідних для оцінки якості управління мережами зв'язку та мережевими ресурсами.

Аналізуючи роботу системи оперативного контролю та діагностики в сучасних російських мережах, можна говорити про те, що в даний час розвиток цифрової мережі поставило на порядок денний розробку систем управління нового покоління з метою забезпечити комплексне автоматизоване управління первинною та вторинними цифровими мережами зв'язку та підвищити ефективність використання їх ресурсів.

Рекомендації МСЕ-Т щодо TMN серій M і Q (зокрема, M.3010, M.3200, M.3400) завдання системи управління мережами зв'язку розділені на п'ять областей (див. таблицю вище) [5-6]. Усі перелічені у таблиці завдання тісно взаємопов'язані між собою. Так, наприклад, неможливо вирішити проблеми реконфігурації мережі, її оперативного перебудови або регулювання трафіку без збору та аналізу статистичних даних про функціонування окремих її елементів, до яких належить не лише комутаційне обладнання, а й системи методи прийняття рішень щодо ефективного управління ресурсами.

## 1.2 Методи прийняття рішень щодо ефективного управління ресурсами

### 1.2.1 Класифікація методів управління ресурсами

Управління ресурсами передбачає виконання трьох основних функцій: планування; організація; контроль та аналіз. У межах кожної функції застосовуються методи управління.

Методи планування. Планування покликане обґрунтувати комплекс робіт та потребу в ресурсах для досягнення поставленої мети. Основними методами планування є: розробка показників, прогнозування, нормування, мережеве планування, економіко-математичне моделювання.

Розробка показників спрямовано побудову критеріїв, якими оцінюється діяльність підрозділів, підприємства у цілому, і навіть ефективність застосування ресурсів. Вимоги до показників включають:

- максимальна відповідність реальним процесам;
- можливість точної кількісної оцінки;
- можливість на величину показників під час виконання виробничих завдань;
- придатність показників моніторингу.

Прогнозування дозволяє встановити перспективні напрями та темпи розвитку технологічних систем. Основне призначення прогнозу полягає у розкритті тенденції зміни мікро- та макроекономічного середовища.

Математичне моделювання дозволяє імітувати страхує від грубих помилок у застосуванні ресурсів.

Методи організації. Організація як функція управління покликана забезпечити поділ ролей, відповідальності та взаємодії виконавців, а також фізичний розподіл ресурсів у просторі та часі.

Основними методами є: адміністративні, соціально-психологічні, організаційно-економічні.

Адміністративні методи включають: встановлення порядку ділових взаємовідносин; інструктування; організаційний вплив; розпорядчий вплив; дисциплінарний вплив.

Соціально-психологічні методи ґрунтуються на суспільно значимих морально-етичних категоріях та цінностях.

Методи контролю. Контроль покликаний забезпечити виконання наміченого трафіку, а за необхідності послужити основою коригування плану. Внаслідок непередбачуваних змін зовнішнього оточення та непередбачених внутрішніх обставин можуть відрізнятись від запланованих. З іншого боку, тривалість виконання окремих робіт, з часом можуть змінитися потреби, задоволення яких розроблявся трафік. Внесення змін є звичайним явищем під час виконання будь-якого плану.

Основними засадами побудови ефективної системи контролю є:

- наявність чітких, змістовних планів, хід виконання яких контролюється;

- наявність чіткої системи звітності. Звіти мають відображати стан проекту щодо вихідних планів на основі єдиних підходів та критеріїв. Процедури підготовки та отримання звітів мають бути чіткими та досить простими. Звіти повинні здаватися відповідно до встановленого трафіка;

- наявність ефективної системи аналізу фактичних показників та тенденцій;

- наявність ефективної системи реагування. Завершальним кроком процесу контролю є дії, що вживаються керівництвом та спрямовані на подолання відхилень під час робіт проекту. Ці дії можуть бути спрямовані на виправлення виявлених недоліків та подолання негативних тенденцій у рамках проекту. Нерідко може знадобитися перегляд трафіку.

Методами контролю є: моніторинг, реєстрація виконання робіт.

Моніторинг передбачає постійне зіставлення фактичних результатів із трафіком, нормативами, стандартами.

Реєстрація виконання робіт може здійснюватися за простою схемою, при якій робота вважається виконаною тільки коли досягнуто її кінцевий результат, а також - за детальною або проміжною схемою.

Детальний контроль передбачає оцінювання ступеня завершеності робіт з точністю в інтервалі від 0 до 100%. Проміжна схема допускає поділ робіт на окремі етапи, віхи та подальший контроль досягнення цих проміжних результатів.

Особливе місце серед методів управління ресурсами займають статистичний метод та ділові ігри (ситуаційний аналіз).

Статистичний метод застосовується на всіх стадіях управління ресурсами: від розробки показників до реєстрації виконання робіт.

Розглянемо деякі програми методів управління ресурсів.

Математичне моделювання дозволяє імітувати та аналізувати багатоваріантні ситуації, воно прискорює підготовку рішень та страхує від грубих помилок у застосуванні ресурсів.

Методи організації. Організація як функція управління покликана забезпечити поділ ролей, відповідальності та взаємодії виконавців, а також фізичний розподіл ресурсів у просторі та часі.

Методи управління ресурсами використовують модель, що представляє організацію як систему ресурсів (фінансів, матеріальних запасів, кадрів), що належать власникам - юридичним особам, структурним підрозділам, фізичним особам.

Усі процеси описуються як проводки (операції), що відбивають переміщення ресурсів між власниками.

Сюди ставляться: управління фінансами, матеріальними запасами, Основна мета управління цього методу – забезпечення ресурсами і контроль за ними.

Метод управління добре описується, моделями стали стандартами: планування виробничих ресурсів (MRP II); планування всіх ресурсів підприємства.

В якості універсальної мови подання використовуються балансові моделі з мовою проводок. Методи цієї групи підтримуються широким спектром прикладного програмного забезпечення, при цьому найбільш поширені бухгалтерські системи.

Крім того, слід зазначити: для того, щоб забезпечити вирішення комплексу оперативних завдань, кожен підрозділ оперативно-технічного управління повинен зберігати масиви статичної конфігураційної інформації з метою опису мережних вузлів і станцій, зонових мереж, усіх пунктів управління, а також мати у своєму розпорядженні дані, що впливають на функціонування всіх складових взаємопов'язаної мережі.

У загальному вигляді база даних – це набір однорідної, впорядкованої за певним критерієм інформації. Вона може бути представлена в паперовому або комп'ютерному вигляді.

Маючи автоматизовані комп'ютерні картотеки та програмні модулі, можна у кілька разів збільшити ефективність роботи персоналу і цим зменшити такий важливий показник надійності функціонування, як коефіцієнт простою мережі зв'язку. Нині результати аналізу роботи мережі зв'язку представляються як діаграм, враховують частку обслужених викликів і відмов у обслуговуванні. Причини, через які була відмова, в основному класифікуються за такими ознаками, як неправильний набір номера або неповний набір, фіксування стану абонента (заблокований, зайнятий), відсутність лінійних сигналів.

Однак такий важливий параметр, як перевантаження на лінії, що теж фіксується відповідно до нормативних вимог, не дає уявлення про дійсну причину навантаження. І це можуть бути помилки сигналізації, логічне відсутність з'єднувальних шляхів (блокування фізичного каналу) чи спроби одночасно зайняти кілька лінійних комплектів/каналів при двосторонній лінії зв'язку. Приблизно така картина обліку та аналізу роботи спостерігається на мережах нині.

Що ж потрібно робити в такій ситуації? Насамперед розробити програму обробки статистичних даних та складання квартальних та річного звітів про якість роботи внутрішньо-зонової первинної мережі. При цьому слід вирішити, які саме статистичні дані підлягають збору і в яких обсягах.

Далі потрібно розробити програму обліку ушкоджень на мережі зв'язку для кожного інформаційно-виконавчого пункту, тобто підрозділи зі збору статистичних даних, та виробити на їх основі оперативні технологічні рішення. Цю програму можна використовувати для отримання інформації за будь-яким мережним елементом – припустимо, за якийсь період часу (добу, місяць, квартал, півріччя тощо) з можливістю класифікації пошкоджень за різними ознаками. Ведення таких карток контролю дозволяє побачити кількість пошкоджень кожного контрольованого об'єкта, характер, час простою та хронологію усунення пошкодження, а потім використовувати цю інформацію для подальшого документування та отримання статистичних даних.

Нині у більшості вузлів управління складання щоквартального звіту про якість роботи, наприклад, внутрішньо-зонової первинної мережі ведеться з урахуванням добових зведень її і карток контролю, що становлять записи в комп'ютерній базі даних. Однак використовувати ці дані для складання звіту без спеціальної програми, яка б відображала всі пошкодження кожного елемента мережі та провідну класифікацію пошкоджень, досить трудомістко.

І нарешті, необхідно автоматизувати процедуру отримання про «обходів і замін», т. е. способів відновлення зв'язку шляхом налаштування тимчасового шляху обходу чи заміни мережного елемента. Ця програма може замінити наявну на даний момент звичайну «паперову» картотеку «Графіки обходів та замін» (ГОЗ, технологічні карти, тип 4) більш досконалу — автоматизовану з широким спектром можливостей. Створення такої програми допоможе оперативно-технічному персоналу швидко знайти потрібну технологічну карту ДОЗ і тим самим у більш короткий термін організувати обхідні шляхи для контрольованого об'єкта зв'язку, що вийшов з ладу.

Усі вихідні параметри надійності функціонування мереж зв'язку в системах управління з погляду їхньої статистичної оцінки можна розбити на дві групи:

- інтенсивності подій, що є параметрами експоненційного розподілу (до них відносяться, наприклад, інтенсивність потоку відмов, відновлення елементів мережі, проведення періодичного контролю та ін.);

- ймовірності подій, що обчислюються як співвідношення чисел відповідних подій, тобто стандартні помилки контролю I, II, III роду (відповідно хибна відмова, пропущена відмова та непрацездатність пристрою з вини обслуговуючого персоналу).

При оцінці інтенсивності подій вибірка може бути як повністю визначеною (тобто така, в якій всі значення випадкової величини визначені), так і не повністю визначеною, в якій відома тільки частина значень випадкової величини, меншої за заданий діапазон.

Цілком певною вибіркою характеризуються інтенсивності таких подій, кількість яких обмежена і піддається формальному обліку. Це процедури відновлення, завершення перевірки функціонування мережі або її елемента, наприклад, цифрової системи комутації, а також інтенсивність періодичного контролю за працездатністю мережі.

Усі події, що відбуваються на мережі, реєструються, як правило, системою контролю та обслуговуючим персоналом під час прямих спостережень.

Для оцінки ймовірності подій необхідно фіксувати кількість подій, що відповідає кожному стану елемента мережі. Це завдання легко здійснити за сучасних можливостей систем моніторингу мережі.

З метою реалізації запропонованої методики з їх допомогою необхідно реєструвати такі параметри певної групи однотипних пристроїв або елементів мережі:

- сумарний час спостереження;
- сумарна кількість проведених періодичних перевірок;

- число пристроїв або елементів мережі, що потрапили на відновлення з відмовами, які виявляються різними видами контролю;
- кількість пристроїв, що потрапили на відновлення у працездатному стані помилково;
- моменти часу і виявлення елемента, що відмовив, і включення його в робочу конфігурацію.

У статтях, присвячених розглянутій темі, звичайні математичні моделі, що дозволяють вивести аналітичні вирази для визначення потрібних показників. Одна точність математичних розрахунків залежить насамперед від достовірності параметрів, що використовуються у формулах розрахунку. А їх достовірність може бути забезпечена лише за функціонуванням мережі в реальному часі і оперативній обробці цієї інформації.

### 1.3 Система управління та моніторингу мереж NGN

Однією з головних особливостей систем управління мереж є відкрита модульна архітектура, що дозволяє розробляти і впроваджувати нові модулі, працювати з існуючими додатками і модернізувати існуючі. З точки зору управління і моніторингу, мережі NGN будуть складатися з більшої кількості різних компонентів, а не порівняльно невеликої кількості змін її різних великих. комутаційних пристроїв, як зараз.

Крім того, для реалізації інтегрованого управління системами і мережами незалежно від їх виробника і технології в NGN буде підтримуватися більше інтерфейсів, ніж в існуючих мережах (можуть використовуватися різноманіття є стандарти і протоколи, такі як, SNMP, OSI, ASCII, CORBA), і більш висока пропускна здатність. Все це веде до необхідності перегляду принципів і підходів до мережевого управління для NGN.

Система управління NGN повинна представляти собою рішення, що забезпечують управління мережами, реалізованими на базі різних технологій (фіксовані і мобільні телефонні мережі, мережі передачі). даних, сигналізації

тощо), що надають різні послуги і побудованих на обладнанні різних виробників. Система управління буде будуватися з використанням об'єктно-орієнтованої розподіленої структури, при цьому її інтерфейси повинні бути відкритими - відмітними рисами подібних інтерфейсів є:

- стандартизовані протоколи (наприклад, POP, SMTP, SNMP, FTP, FTAM та ін.);
- використання формальних мов для опису стандартизованих інтерфейсів (наприклад, CORBA IDL, JAVA, GDMO, ASN1. та ін.);
- стабільність, яка дозволяє внести тільки ті зміни, які будуть зворотно сумісні.

Наприклад, для посилки аварійних повідомлень можуть використовуватися протоколи SMTP, SNMP або CORBA з використанням об'єктної моделі, визначеної в рекомендації X.733; для організації послуг можуть використовуватись інтерфейси CORBA; для пересилки даних про робітничих характеристиках може застосовуватися навколо FTP.

Основні вимоги, що пред'являються до систем управління NGN:

- підготовлене рішення на практиці має реалізовуватися в стислі терміни;
- структури відкритих систем повинні забезпечувати гнучкість реалізації і сумісність з іншими рішеннями, високу надійність, і як результат - якість обслуговування;
- оператор повинен мати можливість модифікувати програмне забезпечення для реалізації специфічних функцій і вводити нові послуги через зміну конфігурації;
- компонентні рішення спростять можливості оператора з введення нових користувачів і функцій;
- масштабованість і гнучкість, що дозволяють легко адаптуватися до швидко з'являються нових технологій і продуктам, а також до змінних потреб користувачів. Для спрощення управління доцільно дізнатися окремі

підсистеми управління різних областей транспортної мережі (WDM, SDH, АТМ та ін.), Передачі даних і мови.

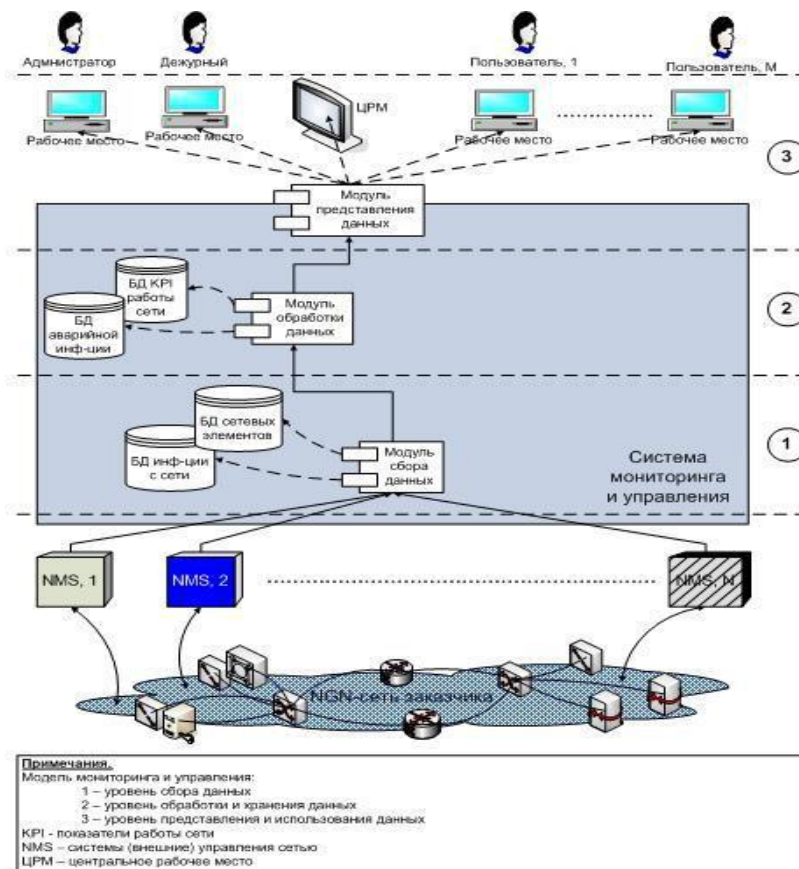


Рисунок 1.1 – Функціональна схема системи моніторингу та управління NGN-мережею

Для організації управління мережевими ресурсами в мультисервісних мережах необхідно взаємодію систем управління, що належать різним операторам і постачальникам послуг, засобом.

Завдання конфігурації, контролю якості та аварійного нагляду в межах мережі одного оператора будуть внутрішніми, а задачі надання та забезпечення якості послуг з кінця в кінець будуть спільно операторами різних мереж.

Для централізації моніторингу мережі NGN вони можуть об'єднуватися в інтегровані підсистеми керування транспортною мережею та послугами з вищою системою моніторингу та управління.

Модульна структура передбачає наявність інтегрованих блоків, що виконують різні завдання управління і моніторингу:

- аварійний нагляд;
- управління топологією;
- моніторинг і управління безпекою;
- управління системами та процесами.

Дані блоки повинні інтегрувати функції окремих підсистем управління, наприклад, відображення аварій від кількох областей управління одним і тим же користувальницьким інтерфейсом. всієї топології, забезпечення загального управління безпекою. Управління якістю має здійснюватися на рівні управління викликом і всередині пакетної мережі. Необхідно забезпечити взаємодію з системою управління як нових постачальників послуг, постачальників інформації, так і користувачів.

Вища система моніторингу (рисунок 1.1) на даний момент складається з підсистемами управління забезпечує централізоване управління аваріями і мережевою топологією, функції спільного моніторингу та управління мережею та послугами, робоче місце оператора є центральною точкою створення всіх індивідуальних функцій управління.

#### 1.4 Мета й задачі роботи

Метою даної є – оцінка методів управління ресурсами при роботі різних пристроїв.

Мета управління обліком використання ресурсів полягає у дослідженні обліку використання ресурсів – вимірюванні параметрів використання мережі, щоб можна було відповідним чином регулювати її використання індивідуальними чи груповими користувачами. Таке регулювання мінімізує кількість проблем у мережі (оскільки ресурси мережі можуть бути поділені виходячи з можливостей джерела) і максимізувати рівнодоступність до мережі для всіх користувачів.

Як і випадку управління ефективністю, першим кроком до відповідного управління обліком використання ресурсів є вимірювання коефіцієнта використання всіх важливих мережевих ресурсів. Аналіз результатів дозволяє зрозуміти поточну картину використання. У цій точці можна встановити частки користування. Для досягнення оптимальної практики отримання доступу може знадобитися певна корекція. Починаючи з цього моменту, наступні вимірювання використання ресурсів можуть видавати інформацію про виставлені рахунки, поряд з інформацією, використаною для оцінки наявності рівнодоступності та оптимального коефіцієнта використання.

Мета кваліфікаційної роботи досягається послідовним вирішенням наступних задач:

а) проведення аналізу інформації щодо оцінки якості управління мережею, а саме:

- 1) вибір показників надійності та формалізація параметрів якості;
  - 2) методи прийняття рішень щодо ефективного управління ресурсами;
  - 3) класифікація методів управління ресурсами;
  - 4) концепції управління мережевими ресурсами;
- б) проведення експериментальних досліджень;
- в) аналіз та оцінка одержаних результатів.

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРАФІКА

### 2.1 Концепції управління мережевими ресурсами

Залежно від концепції керування розподілом мережевих ресурсів і функціональних можливостей апаратно-програмних засобів абонентських систем (АС) всі інформаційні мережі можуть бути розділені на три типи:

- однорангові мережі;
- мережі типу «клієнт т-сервер»;
- гібридні мережі.

Основу однорангових мереж складають універсальні (однорангові) абонентські системи, здатні як споживати мережеві ресурси (формувані запити до зовнішніх серверів), так і ін. доставляти власні ресурси іншим абонентським системам мережі (обробляти запити від зовнішніх клієнтів).

Спрощена структурна схема однорангової мережевої абонентської системи наведена на рисунку 2.1. Взаємодія абонентської системи з зовнішніми серверами та клієнтами здійснюється за допомогою локальних телекомунікаційних засобів (МТС).

Мережі типу «клієнт-сервер» будуються на основі клієнтських і сервісних абонентських систем, які називаються клієнтами і серверами і орієнтовані відповідне споживання. і надання мережевих ресурсів. Їх структурні схеми наведені на рисунках 2.2 та 2.3.

Гібридні мережі будуються на основі об'єднання сегментів однорангових мереж і мереж типу «клієнт-сервер».

Кожен з цих типів мереж має свої переваги і недоліки, що визначають їх функціональні можливості і сфери застосування.

Розглянемо більш детальну особливість побудови та функціонування мереж ЕОМ зазначених типів.

Одноранговая сеть ЕОМ – это информационная сеть, в которой ее ресурсы распределены за всеми абонентскими системами.

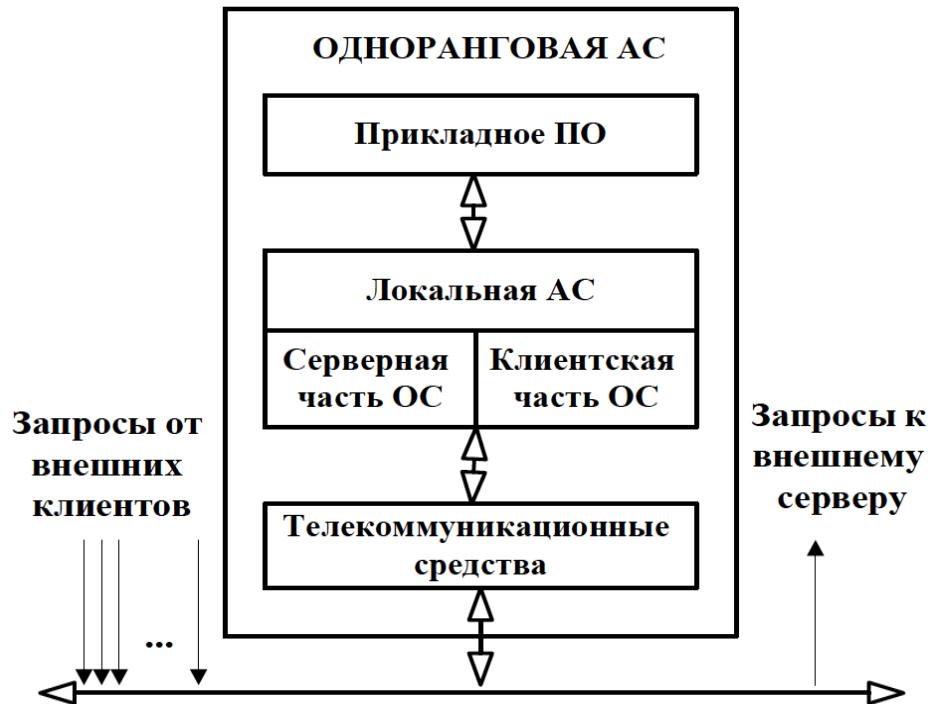


Рисунок 2.1 - Одноранговая абонентская система

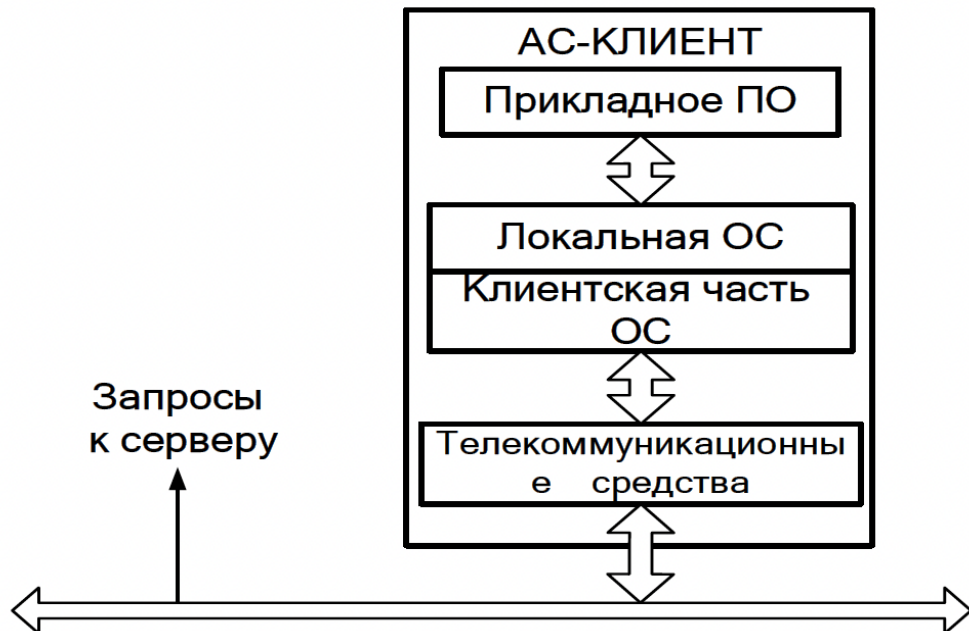


Рисунок 2.2 – Клиентская абонентская система

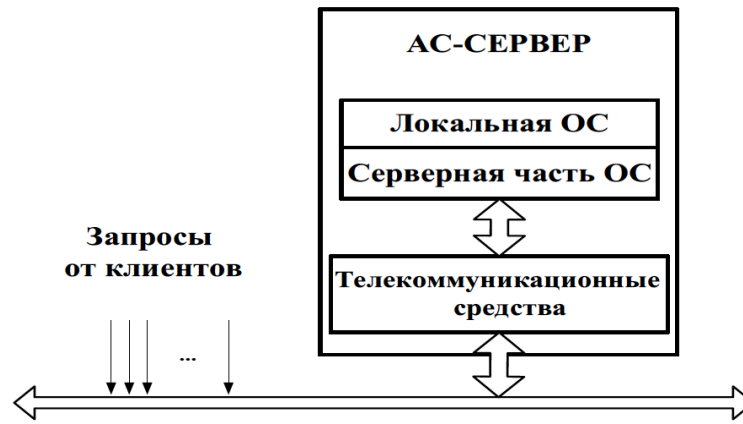


Рисунок 2.3 – Сервісна абонентська система

В однорангових мережах (рисунок 2.4) всі абонентські системи мають рівні потенційні можливості доступу до апаратно-програмних ресурсів та інше. При цьому користувачі за допомогою програмних настоянок мають можливість змінювати конфігурацію, обмежувати або забороняти широкий доступ до окремих ресурсів самих власних абонентських систем.

В однорангових мережах обчислювальні кошти всіх абонентських систем функціонують під керуванням локальних однотипних операційних систем, (ОС) до складу яких входять одночасні клієнтські (К) і сервісні (С) модулі мережевих служб. Мережеві операційні системи такого типу називаються одноранговими ОС.

Сферою застосування однорангових мереж ЕОМ головним чином є невеликі організації та установи, кількість мережевих абонентських систем у яких не перевищує 15-20 штук, і між ними відсутні високоінтенсивний трафік.

До основних достоїнств однорангових мереж ЕОМ можна віднести наступне:

- простота і малі витрати при розгортанні, налаштуванні та експлуатації;
- функціональні можливості окремих мережевих абонентських систем не залежать друг від друга;
- не вимагають централізованого адміністрування;

- користувачі абонентських систем мають можливість індивідуальної налаштування їх конфігурації.

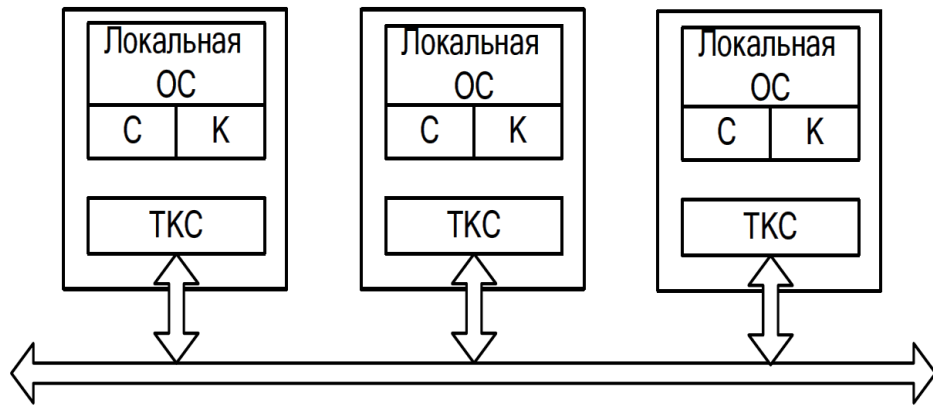


Рисунок 2.4 – Однорангова мережа

До недоліків однорангових мереж можна віднести наступне:

- різке зниження ефективності функціонування мережі при збільшенні до 20 і більше числа абонентських систем;
- при інтенсивному зверненні до розділених ресурсів сам конкретних абонентських систем можуть виникати суттєві тимчасові затримки в обслуговуванні запитів;
- відключення від мережі окремих абонентських систем призводить до втрат їх апаратно-програмних ресурсів;
- відсутність централізованого управління ускладнює конфігурацію мережеских ресурсів та організацію їх безпечного використання.

Мережа ЕОМ типу «клієнт-сервер» - це інформаційна мережа, в якій основна частина її ресурсів зосереджено в сервісних абонентських системах, що називаються серверами, що обслуговують запити клієнтських абонентських систем, що називаються клієнтами (рисунок 2.5).

На серверах встановлюються спеціалізовані операційні системи, оптимізовані для ефективного обслуговування запитів від клієнтських абонентських систем. Такі операційні системи називаються серверними ОС. Клієнтські абонентські системи працюють під керуванням клієнтських ОС.

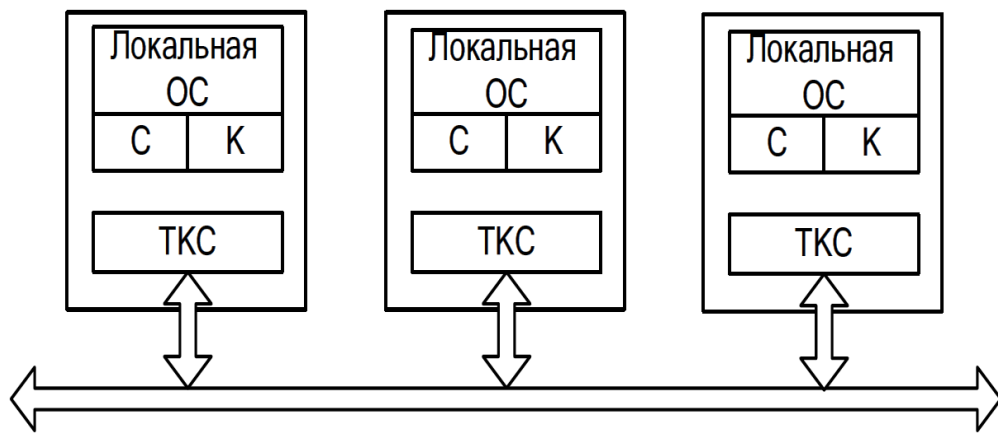


Рисунок 2.5 – Мережа типу «клієнт – сервер»

При існуванні в мережі сотень або навіть тисяч клієнтських абонентських систем інтенсивність запитів від них ресурсам серверів, що розділяється, може бути дуже значущою, і сервери повинні дотримуватися з такими потоками запитів без істотних затримок. Тому в якості серверів зазвичай використовуються комп'ютери з потужною апаратною платформою і операційною системою, оптимізованою для серверних функцій.

До основних властивостей серверних операційних систем можна віднести наступне:

- підтримка потужних апаратних платформ, у тому числі мультипроцесорних;
- підтримка великого числа одночасно виконуваних процесів і мережних з'єднань;
- наявність у складі ОС компонентів централізованого адміністрування мережі (наприклад, довідкової служби або служби аутентифікації та авторизації користувачів мережі);
- більш широкий набір мережних служб.

Клієнтські операційні системи зазвичай звільняються від серверних функцій, що значно спрощує їх організацію. Це дозволяє значно розширити можливості реалізованого в них користувальницького інтерфейсу і клієнтських частин мережних служб. Найбільш прості клієнтські ОС підтримують тільки базові мережні служби, звичайно файлову і службу друку. У той же

час існують так звані універсальні клієнти, які підтримують широкий набір клієнтських частин, що дозволяють їм працювати практично з усіма серверами мережі.

Більшість мережевих операційних систем випускаються у двох версіях. Одна версія визнана для роботи в якості серверної ОС, а друга - для роботи на клієнтській абонентській системі. Ці версії найчастіше засновані на одному і тому ж базовому коді, але відрізняються набором служб і утиліт, а також параметрами конфігурації, у тому числі встановлюваними за замовчуванням і не підлягають змінам.

Мережі «клієнт-сервер» зазвичай мають кращі функціональні характеристики і підвищену надійність у порівнянні з одноранговими мережами. Сервери володіють головними ресурсами мережі, до яких звертаються мережеві клієнти.

Мережі типу «клієнт-сервер» мають такі переваги:

- дозволяють організувати мережі з великою кількістю абонентських систем;
- забезпечують централізоване управління обліковими записами користувачів, безпекою і доступом, що спрощує мережеве адміністрування;
- ефективний доступ до мережевих ресурсів сам;
- користувачеві потрібен один пароль для входу в мережу і для отримання доступу до всіх ресурсів, на які поширюються права користувача.

Наразі з перевагами мережі «клієнт-сервер» мають і ряд недоліків:

- невиправданість сервера може зробити мережу не здатною, як мінімум призвести до втрат мережевих ресурсів;
- вимагають кваліфікованого персоналу для адміністрування;
- мають більш високу вартість мереж і мережевого обладнання.

Гібридні мережі. У великих мережах наряду з відношеннями «клієнт - сервер» зберігається необхідність і в однорангових зв'язках, тому такі мережі найчастіше будуються за гібридною схемою (рисунок 2.6).

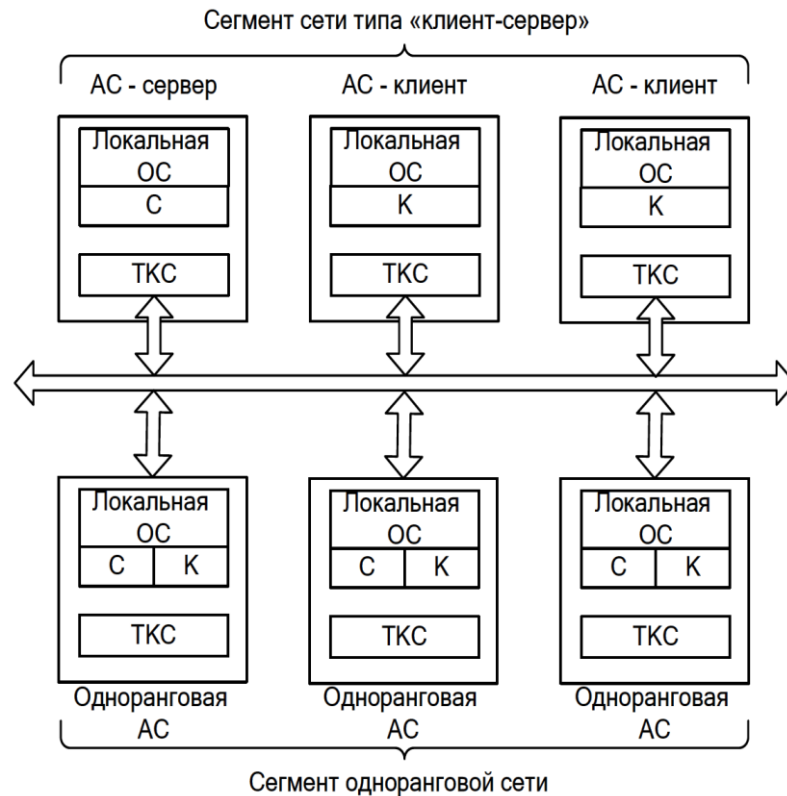


Рисунок 2.6 – Гібридна мережа

### 2.1.1 Критерії вибору типу інформаційної мережі

Вибір типу мережі залежить від її призначення, кількості мережевих абонентських систем і від роду виконуваних на них робіт. Критерії вибору однорангової мережі:

- кількість клієнтських абонентських систем не перевищує десяти;
- усі абонентські системи розміщені відносно близько одна від одної;
- мають місце обмежені фінансові можливості зі створення експлуатації мережі;
- немає необхідності в спеціалізованому сервері, такому як сервер баз даних, факс-сервер або будь-яким іншим;
- немає можливості або необхідності в централізованому адмініструванні.

Критерії вибору мережі ЕОМ типу «клієнт сервер»:

- кількість клієнтських абонентських систем перевищує десяти;

- потрібно централізоване управління, безпеку, управління ресурсами або резервне копіювання великих обсягів даних;
- необхідний спеціалізований сервер;
- потрібен доступ до глобальної мережі;
- потрібно розділяти ресурси в рівні користувачів.

### 2.1.2 Мережеві служби

Мережеві служби - це сукупність програмно-реалізованих модулів мережевої операційної системи або спеціалізованих утиліт, що надають мережевим адміністраторам можливість ефективного управління мережею, а - Можливості ефективної роботи з інформаційними ресурсами мережі. Всі мережеві служби реалізуються на основі принципу «клієнт-сервер».

До найбільш розповсюджених відносяться наступні мережеві служби:

- служба каталогів – забезпечує пошук, ідентифікацію та управління всіма ресурсами мережі;
- служба віддаленого доступу – дозволяє видаленим користувачам підключатися до мережевих ресурсів сам по виділених або комутованих каналах зв'язку;
- файлова служба – забезпечує доступ до розподіленим файловим ресурс сам мережі;
- служба сценаріїв – підтримує виконання сценаріїв автоматизованого адміністрування та моніторинг мережевих ресурсів;
- служба терміналів – надає доступ користувачам клієнтських абонентських систем до додатків, які можуть виконуватися тільки на мережевих серверах;
- служба безпеки – забезпечує присвоєння та управління правами доступу користувачів до мережевих ресурсів;
- служби групової політики – забезпечують можливість мережевим адміністраторам об'єднувати користувачів у групи за певним винаходом, і

організують коректну спільну роботу користувачів клієнтських абонентських систем у мережі .

Існують і інші служби, що вирішують більш специфічні завдання, наприклад, завдання, пов'язані з розподіленою обробкою даних. До таких завдань відноситься забезпечення необоротності кількох копій даних, розміщених в різних абонентських системах (служба реплікації), або організація виконання одного завдання паралельно кількома абонентськими системами (служба виклику видалених процедур) тощо.

Програмні модулі основних (найбільш часто використовуваних) служб зазвичай включаються до складу мережових операційних систем. Допоміжні служби (служба баз даних, факсимільного зв'язку, служба передачі голосу і т.п.) реалізуються у вигляді системних мережових додатків або утиліт, що працюють в тісній взаємодії з операційною системою.

Одним з головних показників якості мережових служб є зручність їх використання. Даний показник є суб'єктивним, тому для одного і того ж мережевого ресурсу може бути розроблено кілька служб, по-різному вирішують одне і те ж завдання. Відмінності можуть полягати у продуктивності, інтерфейсних можливостях тощо.

При визначенні ступенів і зручності роботи з мережевими ресурсами часто вживають термін «прозорість». Прозорий доступ до мережного ресурсу – це такий доступ, при якому користувач працює з віддаленими ресурсами за тими ж правилами, що і з ресурсами власної абонентської системи.

Пропонується модель балансування інформаційних ресурсів в мульти-сервісних мережах на основі децентралізованої системи управляючих агентів, перевага якої полягає в обліку показників якості, що вибираються, а також стандартної метрики про довкола маршрутизації. Розглядається адаптивний алгоритм балансування трафіка, що дозволяє поліпшити основні показники якості обслуговування для окремих випадків топологій мереж. Імітаційне моделювання проводиться з використанням спеціального розробленого програмного комплексу. Впровадження запропонованої моделі та алгоритму

в практичні розробки здатні зменшити локальні перевантаження в окремих вузлах, адаптувати мережу до трафіку, характерному для мультисервісних додатків.

### 2.1.3 Розробка адаптивного алгоритму балансування трафіка, що дозволяє поліпшити QoS мережі

Процес розвитку перспективних мультисервісних телекомунікаційних систем (МТС), що є базою для створення і використання мереж наступного покоління (Next Generation Network, NGN), істотно залежить від розвитку їх засобів управління.

До основних таких засобів відносяться механізми управління трафіком, який представляє собою інформаційний ресурс, а також засоби розподілу пропускної спроможності (ПС) каналів зв'язку (КЗ), що є каналним ресурсом МТС [1, 2].

Як показав проведений аналіз [7-12], існуючі засоби управління мережевими ресурсами, орієнтовані на процеси багатокілької маршрутизації, не здатні забезпечити одночасний час. облік кількох найважливіших ймовірно-часових показників МТС, а особливо функціональної та структурної взаємозв'язку її ділянок, що призводить до неузгодженості керуючих рішень та використанню мережеских ресурсів.

Кожен керуючий агент (КА) є рівним прямим учасником процесу управління, і конструктивно представляють собою інтелектуальні мережеві пристрої (керований комутатор, маршрутизатор, сервер доступу до послуги). Складовою частиною КА є програмні процедури управління належною йому ділянкою МТС.

Виходячи з цього, сформульовано створення гнучких, ефективних процедур управління динамічно змінюваним, багатокритеріальним, багатопріоритетним трафіком ділянки МТС і всієї мережі в цілому на основі децентралізованої системи керуючих агентів (КА).

### 2.1.4 Створіння гнучких, ефективних процедур управління динамічно змінюваним, багатокритеріальним, багатопріоритетним трафіком ділянки МТС

Багато КС, в першу чергу, характеризується значенням їх ПС  $C = \{c_1, \dots, c_c\}$ . Головною метою розглянутої системи управління на основі КА є підтримка вибраних показників якості обслуговування для забезпечення заданих параметрів і характеристик передачі даних в умовах мультисервісного трафіка ТКС.

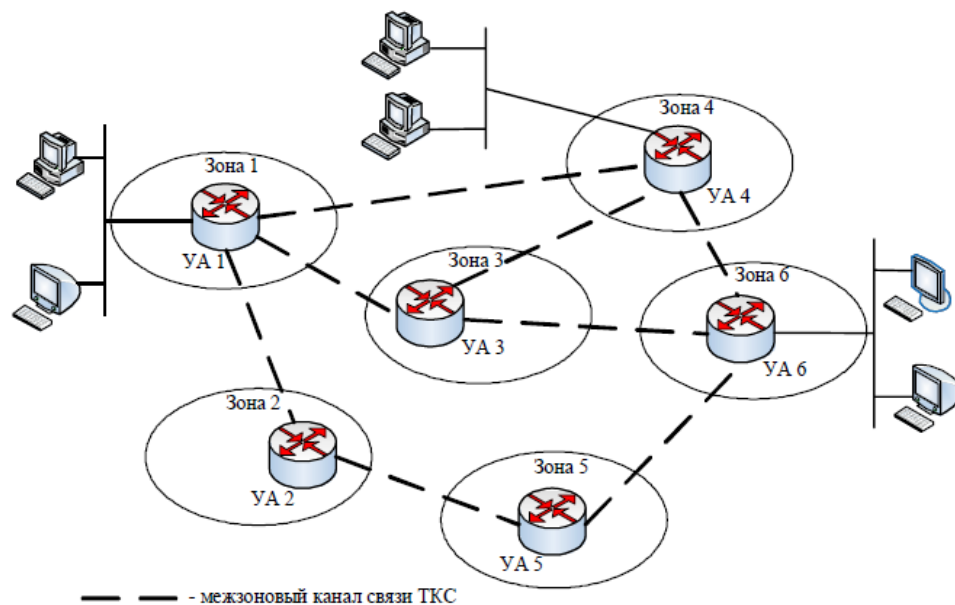


Рисунок 2.7 – Телекомунікаційна система зв'язку з управлінням на основі агентів

Узагальнюючи завдання управління інформаційними ресурсами, покладену на КА, можна сказати, що її вихідними умовами є наступна сукупність даних:

- дані, що стосуються конкретного інформаційного пакету: вузол-одержувач; маршрут, призначений пакету; пріоритет пакету;
- стан ділянки мережі: стан інцидентних агентів каналів, стан суміжних КА, стан маршрутів, що проходять через певний КА;

- набір даних, що складається в накопиченні інформації КА (таблиця 5, статистика відправки пакетів тощо).

## 2.2 Балансування інформаційних ресурсів у ТКС на основі розподіленої системи

Розробники протоколів маршрутизації часто стикаються з проблемою визначення оптимального шляху доставки інформації в мережі зі складною топологією. При низьких навантаженнях високоефективними є протоколи з алгоритмами однопутної маршрутизації [2,3,5...9,10,11,12], які забезпечують найкращий за заданим критерієм шлях між двома вузлами. На збільшення навантажень веде до нервового розміру розподілу трафіку по ТКС, коли навантаження на одне КС зростає, а інші - падає.

Розв'язанням проблеми на рівні мережевих протоколів є впровадження таких алгоритмів управління (балансування) трафіком, при яких раціонально буде використовуватися як можна більше КС, більшість з яких впроваджено багатокільні протоколи маршрутизації з притаманними їм недоліками [13].

В рамках описаної моделі функціонування ТКС завдання балансування інформаційних ресурсів локального агента може бути вирішене за допомогою пошуку екстремумів для наступного цільового функціоналу:

$$\varepsilon(K) = \min(q_1 \Phi + q_2 \sigma_1(K) + q_3 \sigma_2(K)), \quad (2.1)$$

$$\sigma_1(K) = \sqrt{\frac{1}{1-\alpha} \sum_{i=1}^1 (x_i - x)^2}; \quad (2.2)$$

$$\sigma_2(K) = \sqrt{\frac{1}{1-\alpha} \sum_{i=1}^1 (Z_i - Z)^2} \quad (2.3)$$

Балансування мережевих ресурсів у поданій ТКС для кожного КА децентралізованої архітектури полягає в знаходженні вектору розподілу потоку з відповідними обмеженнями:

$$\begin{aligned} K &= (k_1, k_2, \dots, k_n), \sum_i^1 k_i = 1, \\ 0 \leq k_i \leq 1, i &= 1 \dots 1, \lambda_i^{\text{БЫХ}}, k_i \leq c_i, i = 1 \dots 1. \end{aligned} \quad (2.4)$$

На основі наведеної моделі базується метод і алгоритм управління мережевими ресурсами, який систематизує сукупність кроків і дій, необхідних для досягнення поставленої мети – збалансовану вузьку. каналів і мінімізації використання каналних ресурсів у ТКС.

Для дослідження запропонованої моделі була використана імітаційна модель, яка включає до 18 КА, причому 6 з них є складовими ядра ТКС, а решта - прикордонними КА. Дослідження проводилися для різної зв'язності вузлів (від 2 до 6).

У ході досліджень порівняльного аналізу піддалися наступні моделі управління мережевими ресурсами, маршрутизації та поширення мережевих ресурсів, побудованих з використанням аналітичних та імітаційних моделей [1-3]:

- М1 – модель однієї одношляхової маршрутизації RIP;
- М2 – модель багатокільної маршрутизації по шляхах рівної вартості;
- М3 – модель багатокільної маршрутизації по шляхах різної вартості протоколу IGRP;
- М4 – потокова модель Галлагера;
- М5 – запропонована в даній роботі аналітична модель управління мережевими ресурсами на основі розподіленої агентної системи.

Нижче представлені залежності часів і затримки (рис. 2.8, а) і ймовірності втрат пакетів (рис. 2.8, б) від величини нормованого абонентського навантаження.

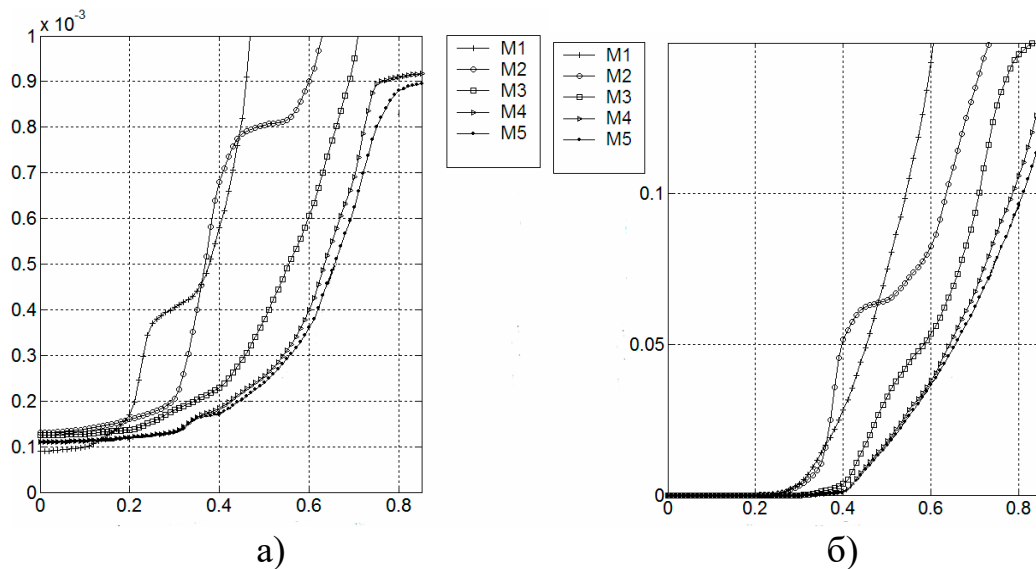


Рисунок 2.8 – Залежність вибраних показників якості від навантаження

Використання запропонованої моделі управління (M5) у порівнянні з іншими розглянутими рішеннями (M1 – M4) залежно від вибраних характеристик потоку і зв'язності КА дозволяє:

- зробити середню затримку передачі пакетів по оптимальному шляху ТКС відносно кращої відомої моделі M4 в середньому на 3-12% (при абонентському навантаженні більше 0,5);
- зменшити сумарну ймовірність блокування пакетів вздовж оптимального шляху ТКС в середньому на 6-11% (при абонентському навантаженні більше 0,5).

## 2.2 Балансування інформаційних ресурсів у ТКС

Застосування балансування користувальницького трафіку достатньо низьких навантажень для більшості досліджених мережевих топологій не призводить до суттєвого поліпшення основних показників QoS (затримка вірогідності вонки пакетів). Цей факт обумовлений тим, що однопутні алгоритми маршрутизації (AM) вибирають оптимальний за заданим критерієм

шлях, який таким є, поки сумарне навантаження в нім не перевищить вектор ого значення.

Тому актуальним є запитання АМ і розглянутою вище моделі балансування інформаційних ресурсів для нівелювання недоліків од ного перевагами іншого. Основна ідея об'єднання полягає в тому, що при низькою і середньому навантаженні управління інформаційними пакетами здійснюється відповідно до колійного АМ, а при високій - відбувається балансування, при якій пакети розподіляються за КС меншою завантаженості, згідно з застосовуваною стратегією багатоколійної маршрутизації [2-8].

Цим алгоритмом кожен агент формує набір векторів розподілу потоку (ВРП) – функцію від згаданого агенту одержувача (вузла). Відповідно, інформаційні пакети, визначені одному й тому ж вузлу, накладаються в інцидентні вузли-обробники КС відповідно до розрахованих значень ВРП, що дозволяє розрахувати ВРП для кожної пари (вузол-обробник (А), кінцевий вузол (Б)), в основі містить метод Дейкстри, який доповнюється ітераційним процесом і розрахований ним оптимальних шляхів із загальної матриці ТКС. Алгоритм обчислення ВРП для деякої пари (А, Б) можна представити в наступному вигляді:

- розрахунок оптимального маршруту за алгоритмом Дейкстри;
- елемент ВРП, що відповідає наступному вузлу, до которого повинні бути передані інформаційні пакети, збільшується на метрику оптимального маршруту (при максимізації метрики шляху) або на величину, звернуту метриці оптимального маршруту (при мінімізації метрики);
- визначення ПС оптимального маршруту (ділянки шляху з мінімальною ПС). Якщо перша ітерація, то запам'ятати ПС;
- вичитування з елементів оптимального шляху величини ПС (розумний на деякий коефіцієнт, що вибирається з експертних поєднань);
- якщо ПС шляху менше ПС, обчисленої на першій ітерації, в 100 разів, то переходимо до наступного пункту, в іншому випадку - до пункту 1;
- нормування ВРП. Завершення алгоритму.

Процес балансування визначений для зміни маршрутного рішення, у разі якщо початково вибраний шлях передачі за заданими показниками стану ТКС (найчастіше, перевантаження).

Пропонується введення єдиного на мережу коефіцієнта балансування (КБ) для наступних цілей: якщо навантаження в КС, обраним АМ, більше КБ, то використовується розглянутий вище алгоритм балансування. Якщо ні, то рішення про відправку інформаційного пакету приймає один колійний АМ.

Використання балансування вимагає постійного відстеження стану КС. Для визначення миттєвої навантаження в КС кожен вузол повинен вести облік зайнятості каналу за деякий невеликий проміжок часу. Завантаженість КС буде рівна відношенню часу і зайнятості КС до тривалості відстежуваного інтервалу.

Оцінка адаптивного алгоритму балансування інформаційних ресурсів проводилася на основі спеціального розробленого програмного комплексу SimulNetwork, створеного на основі мови C++ (рисунок 2.9).

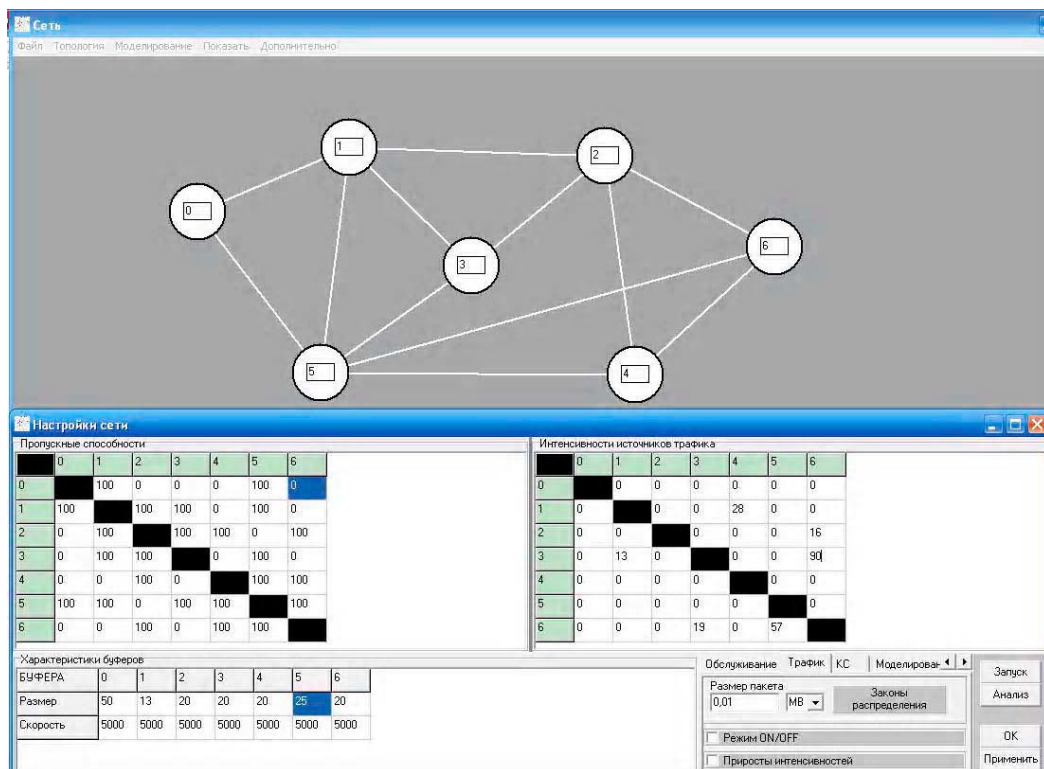


Рисунок 2.9 – Интерфейс программы SimulNetwork

Даний комплекс використовується для побудови імітаційних моделей ТКС з децентралізованою агентною системою відповідно до досліджуваних алгоритмів управління мережевими ресурсами.

Завдання: Побудова імітаційних моделей ТКС з децентралізованою агентною системою відповідно до досліджуваних алгоритмів управління мережевими ресурсами.

Аналіз розробленого додатку включають в себе:

- а) створення ТКС із заданою кількістю вузлів з УА та зв'язністю;
- б) чисельне завдання наступних мережових характеристик;
  - 1) ПС кожного КС;
  - 2) надійність кожного КС;
  - 3) розмір буфера при кожному вузлі;
  - 4) швидкість буферної обробки даних;
  - 5) кількість паралельно обслуговуваних інформаційних пакетів вузлі;
- в) завдання характеристик джерел інформаційних пакетів;
  - 1) середні інтенсивності переданого трафіку між двома будь-якими вузлами (в абсолютних і відносних одиницях);
  - 2) закон по розподілу довжини пакетів;
  - 3) середня довжина пакета;
  - 4) характер трафіка (імпульсний, рівномірний);
- г) вибір умов, що стосуються передачі трафіка в мережі;
  - 1) вибір метрики алгоритмів однопутної та багатоколіїної маршрутизації;
  - 2) використання багатоколіїної маршрутизації із завданням необхідного ВР П згідно (5);
  - 3) використання балансування інформаційного навантаження з вибором коефіцієнта включення та з визначенням обмежень КС;
  - 4) вибір дисципліни обслуговування черг (FIFO, LIFO, RED);

- 5) використання спрощеної моделі алгоритму відкидання пакетів у чергах вузлів.

Для проведення моделювання в додаток включені наступні можливості:

а) у реальному масштабі час і роботи програми:

- 1) моніторинг стану кожного КС;
- 2) визначення середнього затримки і ймовірності блокування в кожному вузлі окремо і по ТКС в цілому;
- 3) оцінка часу і роботи реальної ТКС з тими ж характеристиками;
- 4) аналітичний розрахунок коефіцієнтів готовності кожного маршруту;

б) на момент завершення моделювання;

- 1) побудова графіків залежностей середньої затримки і ймовірності блокування по ТКС в цілому від інформації, що надходить від джерел інформації, на вузькі;
- 2) порівняння отриманих результатів для кількох мережевих настройок;
- 3) апроксимація графічних результатів.

Для оцінки запропонованого в даній роботі адаптивного алгоритму балансування інформаційних ресурсів були використані пористі топології ТКС з децентралізованою системою управління на основі різної зв'язності і розміру (рисунок 2.8).

При дослідженні топології 1 (рисунок 2.8 а) було обрано кілька вузлів-джерел трафіку, відповідно, стільки ж вузлів одержувачів. При моделюванні топології 2 (рисунок 2.8 б) трафік певного значення передавався між усіма вузлами ТКС. Результати досліджень топологій (графіки) наведені в додатку Б.

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА УПРАВЛІННЯ ОБЛІКОМ МЕРЕЖЕВИХ РЕСУРСІВ

#### 3.1 Експериментальна частина

Було обране управління проведення експерименту - управління обліком мережеских ресурсів, так як це управління дає можливість регулювати роботу окремих користувачів мережі або їх груп з метою ведення обліку або повернення платежів.

Схема експериментальної установки, представлена нижче, включає в себе: пристрій Catalyst – маршрутизатор з різними портами. До тих пір там підключені оптичні обладнання OLT, обладнання ADSL. При проведенні експериментів використовувався довкола SNMP і програмне забезпечення NetFlow.



Рисунок 3.1 – Схема експериментальної установки

Було проведено моніторинг мережі з метою визначення параметрів вхідного та вихідних потоків.

Моніторинг мережі проводився за допомогою програмного забезпечення NetFlow. NetFlow (потік в мережі) - це технологія вимірювань зі сторони вхідного потоку, що дозволяє збирати дані, необхідні для додатків планування, моніторингу та обліку ресурсів мережі. Технологію NetFlow слід впрова-

джувати на інтерфейсах маршрутизаторів з підтримкою агрегування/граничних маршрутизаторів для постачальників послуг або на інтерфейсах маршрутизаторів доступу для корпоративних клієнтів.

Для оптичного обладнання OLT результати моніторингу представлені нижче (рисунок 2.2) (річний моніторинг).

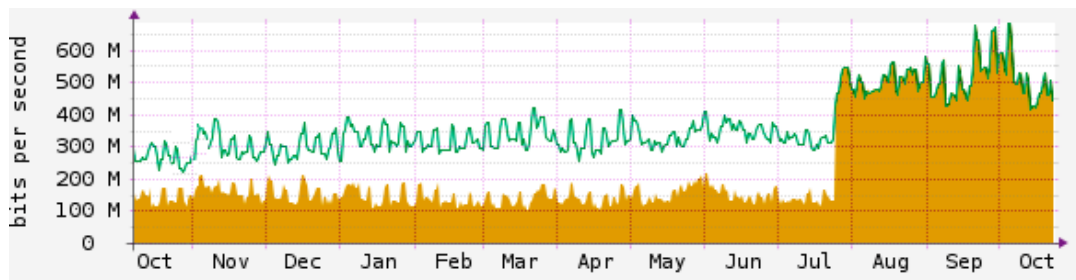


Рисунок 3.2 – Залежність пропускної здатності від часів і для обладнання OLT

- «зелений» – вихідний трафік склав 583 Мбіт / с в максимальному значенні;
- «помаранчевий» – вхідний трафік обладнання Catalyst порт GigabitEthernet 7/20 складає також 583 Мбіт/с в максимальному значенні.

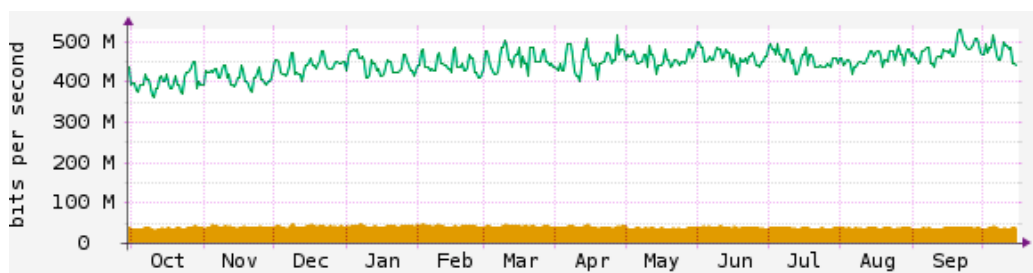


Рисунок 3.3 – Залежність пропускної здатності від часів і для обладнання ADSL (річний моніторинг)

- «зелений» – максимальне значення вихідного трафіку склав 526 Мбіт / с;
- «помаранчевий» – максимальне значення вхідного трафіка 46 Мбіт / с.

Таким чином, в результаті експериментальних досліджень управління мережевими ресурсами, нами був проведений моніторинг мережі з періодичністю: рік. Розв'язана задача по розподілу пропускної спроможності між потоками, перенесеними трафік, характерний для обладнання Catalyst з різними абонентським обладнанням мереж доступу (OLT, ADSL).

Постійний вимір трафіку з наступним розрахунком коефіцієнта використання ресурсу дає інформацію для виставлення рахунків, а також розкладку даних про відновлення і оптимальне використання ресурсів.

### 3.2 Розрахунок навантаження, створюваного користувачами мультисервісної мережі

Число шлюзів визначається виходячи з параметрів критичності довжини абонентської лінії, топології первинної мережі (якщо така вже існує), наявності приміщень для встановлення, технологічних показників типів устаткування.

Виходячи з критерію критичності довжини абонентської лінії, зона обслуговування шлюзу доступу повинна створюватися таким чином, щоб максимальна довжина абонентської лінії не перевищувала 3-4 км. Якщо шлюз виробляє підключення обладнання мережі доступу інтерфейсу V5, LAN або УПАТС, то зона обслуговування шлюзу включає і зони об'єктів, що обслуговуються.

Виходячи із зони обслуговування, визначаються ємнісні показники шлюзу, які відображають загальну кількість абонентів і ємності кожного з типів підключень.

Введемо такі змінні:

- $N_{PSTN}$  — число абонентів, що використовують підключення по аналоговій абонентській лінії;

- $N_{ISDN}$  — число абонентів, що використовують підключення по базовому доступу ISDN;

-  $N_{SHM}$  – число абонентів з терміналами SIP/H.323/MGCP, що використовують підключення по Ethernet-інтерфейсу на рівні маршрутизатора шлюзу доступу;

-  $N_{LAN}$  – число LAN, що підключаються до Ethernet-маршрутизатор у на рівні шлюзу доступу;

-  $N_{i\_LAN}$  – число абонентів, що підключаються до LAN $_i$ , де  $i$ - номер LAN;

-  $N_{V5}$  – число мереж доступу інтерфейсу V5, що підключаються до шлюзу доступу;

-  $N_{j\_V5}$  – число користувацьких каналів (DS0) в інтерфейсі V5 $_j$ , де  $j$  – номер мережі доступу;

-  $N_{PBX}$  – число УПАТС, що підключаються до шлюзу;

-  $N_{k\_PBX}$  – число користувацьких каналів (DS0) в інтерфейсі підключення УПАТС $_k$ , де  $k$ -номер УПАТС.

Тоді з урахуванням введених позначень навантаження від кожного джерела визначається за відповідними формулами.

$$Y_{PSTN} = N_{PSTN} \cdot u_{PST} \quad (3.1)$$

Де  $Y_{PSTN}$  – загальна навантаження, що надходить на шлюз доступу від абонентів;  $PSTN$ ; – питома навантаження від абонента ТФОП.

Вважатимемо, що  $Y_{PSTN} = 0,1$  Ерл.

$$Y_{ISDN} = N_{ISDN} \cdot u_{ISDN}, \quad (3.2)$$

$$Y_{SHM} = N_{SHM} \cdot u_{SHM}, \quad (3.2)$$

$$Y_{V5} = N_{V5} \cdot u_{V5}, \quad (3.4)$$

Де  $Y_{V5}$  – навантаження від мережі доступу  $j$  до інтерфейсу  $V5$ , що підключається до шлюзу доступу;  $Y_{V5}$  – питоме навантаження одного користувацького каналу інтерфейсу  $V5$ .

Вважатимемо, що  $Y_{V5} = 0,8 E_p$  л.

$$Y_{k\_PBX} = N_{k\_PBX} \cdot Y_{k\_PBX}, \quad (3.5)$$

Виходячи з цього визначаються відповідні загальні навантаження. Загальна навантаження, що надходить від абонентів ТФОП, ISDN і SIP/H.323/MGCP на резидентний шлюз доступу дорівнює:

$$Y_{RAGW} = Y_{PSTN} + Y_{ISDN} + Y_{SHM} = 0,1 \cdot (N_{PSTN} + N_{SHM}) + 0,2 \cdot N_{ISDN} \quad (3.6)$$

Загальне навантаження, що надходить на шлюз доступу, що забезпечує підключення обладнання мереж доступу інтерфейсу  $V5$ , дорівнює:

$$Y_{V5} = \sum_{j=1}^j Y_{j\_V5} = 0,8 \cdot \sum_{j=1}^j Y_{j\_V5}. \quad (3.7)$$

Загальне навантаження, що надходить на шлюз, що забезпечує підключення обладнання УПАТС, рівне:

$$Y_{PBX} = \sum_{k=1}^k Y_{k\_PBX} = 0,8 \cdot \sum_{k=1}^k Y_{k\_PBX}. \quad (3.8)$$

Якщо шлюз реалізує функції резидентного шлюзу доступу, шлюзу доступу і трекінгового шлюзу підключення УПАТС, то загальне навантаження, що надходить на шлюз, дорівнює:

$$Y_{RAGW} = 0,8 \cdot (\sum_{j=1}^j Y_{jV5} + \sum_{k=1}^k Y_{kPBX}) + 0,1 \cdot (N_{PSTN} + N_{SHM}) + 0,2 \cdot N_{ISDN} \quad (3.9)$$

Проведемо розрахунок за формулою (3.9) для заданих шлюзів:

$$Y_{RAGW1} = 0,8 \cdot (30 + 90 + 0 + 0 + 0 + 0) + 0,1 \cdot (1000 + 300 + 300 + 0) + 0,2 \cdot 100 = 276$$

$$Y_{RAGW1} = 276 \text{ Эр л.}$$

Аналогічно розрахуємо для RAGW3 та RAGW4:

$$Y_{RAGW3\_NGN} = 232,7 \text{ Эр л.};$$

$$Y_{RAGW4\_NGN} = 189,16 \text{ Эр л.};$$

$$Y_{RAGW3\_ТфОП1} = Y_{RAGW3\_ТфОП3} = 77,57 \text{ Эр л.};$$

$$Y_{RAGW4\_ТфОП1} = Y_{RAGW4\_ТфОП3} = 64,05 \text{ Эр л.};$$

Навантаження, створювані абонентами, що підключаються до пакетної мережі, наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Навантаження, створюване користувачами пакетної мережі

Номер шлюзу доступу	Загальне навантаження, Ерл	Внутрішнє навантаження, Ерл	Вихідне навантаження до інших шлюзів, Ерл	Вихідне навантаження до ТфОП1, Ерл	Вихідне навантаження до ТфОП3, Ерл
RAGW1	276	48,73	136,36	45,45	
RAGW3	849	461,17	232,7	77,57	
RAGW4	438	122,74	189,16	64,05	

Кількість каналів E0 для обслуговування навантажувальних мережах ТфОП і NGN можна розрахувати за формулою (3.10):

$$N_i = \frac{Y_{TGWi}}{y_{E1}},$$

$$N_1 = N_3 = \frac{186,1}{0,8} = 233 \text{ кан ала,} \quad (3.10)$$

$$N_{1_E1} = N_{3_E1} = \frac{233}{0,8} = 8 \text{ ПОТОКОВ.}$$

Число каналів E0 і потоків E1, необхідних для обслуговування навантажувальних мережах ТфОП і NGN, наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Схема по розподілу навантажень при обслуговуванні базових викликів від мереж ТФОП

Об'єкт	Вих.нав. до ТФОП від RAGW1, Ерл	Вих.нав. до ТФОП від RAGW3, Ерл	Вих. нав. до ТФОП від RAGW4, Ерл	Сумарне навантаження, Ерл	Число каналів	Число потоків E1
ТфОП1	45,45	77,47	63,05	186,1	233	8
ТфОП3	45,45	77,47	63,05	186,1	233	8

Отже, TGW1 та TGW3 пов'язані з існуючими ТФОП1 та ТФОП3 відповідно на вісім трактів типу E1. Введемо такі змінні:

- $P_{PSTN}$  – питома інтенсивність дзвінків від абонентів, які використовують доступ за аналоговою телефонною лінією в ЧНН;

- $P_{ISDN}$  – питома інтенсивність дзвінків від абонентів, які використовують доступ за базовим доступом ISDN;

- $P_{V5}$  – питома (наведена до одного каналу інтерфейсу) інтенсивність викликів від абонентів, що підключаються до пакетної мережі через мережі доступу інтерфейсу V5;

- $P_{PBX}$  – питома (наведена до одного каналу інтерфейсу) інтенсивність викликів від УПАТС, що підключаються до пакетної мережі;

-  $P_{SHM}$  – питома інтенсивність викликів від абонентів, що використовують термінали SIP, H.323, MGCP.

Формулу визначення користувальницького ресурсу шлюзу подати у вигляді:

$$V_{RAGWi\_USER} = k \cdot ((1 - x) \cdot V_{COD_m} + x \cdot V_{G.711}) \cdot Y_{RAGWi}, \quad (3.11)$$

На основі формули (3.11), з урахуванням того, що використовується кодек G.726 з необхідною смугою 38 Кбіт/с і при цьому 5% викликів вимагають кодека G.711 зі смугою 84,4 кбіт/с, зробимо розрахунок необхідного транспортного ресурсу для обслуговування користувальницького трафіку при підключенні шлюзів RAGW:

$$\begin{aligned} V_{RAGW1\_USER} &= 1,25 \cdot ((1 - 0,05) \cdot 38 + 0,05 \cdot 84,4) \cdot 276 = 13910 \text{ кбит/с} \\ &= 13,58 \text{ Мбит/с} \end{aligned}$$

Дані сигнальні навантаження розраховуються за такими формулами:

$$V_{sign\ PSTN} = N_{PSTN} \cdot P_{PSTN} \cdot L_{MEGACO} \cdot N_{MEGACO}, \quad (3.12)$$

$$V_{sign\ ISDN} = N_{ISDN} \cdot P_{ISDN} \cdot L_{IUA} \cdot N_{IUA}, \quad (3.13)$$

$$V_{sign\ PBX} = N_{PBX} \cdot P_{PBX} \cdot L_{IUA} \cdot N_{IUA} \quad (3.14)$$

$$V_{sign\ SHM} = N_{SHM} \cdot P_{SHM} \cdot L_{SHM} \cdot N_{SHM} \quad (3.15)$$

Аналогічно розрахуємо для RAGW<sub>3</sub> та RAGW<sub>4</sub>:

$$V_{RAGW3\_USER} = 42790 \text{ кбит/с} = 41,79 \text{ Мбит/с};$$

$$V_{RAGW4\_USER} = 22080 \text{ кбит/с} = 21,56 \text{ Мбит/с}$$

На підставі формул (3.12) - (3.15), з урахуванням того, що довжина одного повідомлення всіх протоколів  $L = 50$  байт, кількість повідомлень протоколів, необхідних для встановлення і доз рішень ія з'єднання  $N = 10$ , зробимо розрахунок необхідного сигнального ресурсу шлюзу:

$$V_{RAGW1\_SIGN} = \frac{5(1000 \cdot 5 \cdot 50 \cdot 10 + 120 \cdot 35 \cdot 50 \cdot 10 + 50 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 100 + 50 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 600)}{450}$$

Аналогічно розрахуємо для RAGW<sub>3</sub> та RAGW<sub>4</sub>:

$$V_{RAGW3\_SIGN} = 218333 \text{ бит/с} = 0,21 \text{ Мбит/с};$$

$$V_{RAGW4\_SIGN} = 120000 \text{ бит/с} = 0,12 \text{ Мбит/с}.$$

На підставі формули  $V_{RAGW} = V_{RAGW\_USER} + V_{RAGW\_SIGN}$ , зробимо розрахунок загального транспортного ресурсу, для передачі користувальницької та сигнальної інформації:

$$V_{RAGW1} = 13,58 + 0,072 = 13,65 \text{ Мбит/с}.$$

Аналогічно розрахуємо для RAGW<sub>3</sub> та RAGW<sub>4</sub>:

$$V_{RAGW3} = 42 \text{ Мбит/с};$$

$$V_{RAGW4} = 21,68 \text{ Мбит/с}.$$

Пропускнуну здатність при обробці викликів внутрішнього навантаження розрахуємо за формулою:

$$V_{RAGWi\_RAGWi} = k \cdot ((1 - x) \cdot V_{COD_m} + 0 \cdot V_{G.711}) \cdot Y_{i\_внутр}, \quad (3.16)$$

$$V_{RAGW1\_RAGW1} = 1,25 \cdot ((1 - 0,05) \cdot 38 + 0 \cdot 84,4) \cdot 48,74 = 2199 \text{ кбит/с} \\ = 2,15 \text{ Мбит/с},$$

$$V_{RAGW3\_RAGW3} = 20810 \text{ кбит/с} = 20,32 \text{ Мбит/с},$$

$$V_{RAGW4\_RAGW4} = 55390 \text{ кбит/с} = 54,09 \text{ Мбит/с}.$$

Розрахуємо транспортний ресурс, необхідний для обробки трафіку між мережами, при взаємодії TGW<sub>1</sub> та TGW<sub>3</sub> з RAGW<sub>1</sub>, RAGW<sub>3</sub> та RAGW<sub>4</sub> за формулою:

$$V_{TGWi\_RAGWi\_USER} = k \cdot ((1 - x) \cdot V_{COD_m}) \cdot Y_{RAGWi\_ТфОПi}, \quad (3.17)$$

$$V_{TGW1\_RAGW1\_USER} = 1,25 \cdot ((1 - 0,05) \cdot 38) \cdot 45,45 = 2051 \text{ кбит/с} \\ = 2,0 \text{ Мбит/с},$$

$$V_{TGW1\_RAGW1\_USER} = V_{TGW3\_RAGW1\_USER} = 2051 \text{ кбит/с} = 2,0 \text{ Мбит/с},$$

$$V_{TGW1\_RAGW1\_USER} = V_{TGW3\_RAGW3\_USER} = 3500 \text{ кбит/с} = 3,42 \text{ Мбит/с},$$

$$V_{TGW1\_RAGW4\_USER} = V_{TGW3\_RAGW4\_USER} = 2845 \text{ кбит/с} = 2,78 \text{ Мбит/с}.$$

$$V_{TGW1\_RAGW1} = V_{TGW3\_RAGW1} = 2 \cdot 2,0 = 4,0 \text{ Мбит/с},$$

$$V_{TGW1\_RAGW3} = V_{TGW3\_RAGW3} = 2 \cdot 3,42 = 6,84 \text{ Мбит/с},$$

$$V_{TGW1\_RAGW4} = V_{TGW3\_RAGW4} = 2 \cdot 2,78 = 5,56 \text{ Мбит/с},$$

Проведемо розрахунок необхідного сигнального ресурсу ТфОП по формулі:

$$V_{ТфОПi\_SIGN} = \frac{(k \cdot L \cdot N \cdot P_{Sx} \cdot (N_i))}{450}, \quad (3.18)$$

$$V_{\text{ТФОП1\_SIGN}} = V_{\text{ТФОП3\_SIGN}} \frac{(5 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 35 \cdot 8)}{450} = 45310 \text{ бит/с} = 0,04 \text{ Мбит/с}.$$

Прийmemo умову рівності вихідного (від транспортної мережі до існуючої ТФОП) і вхідної (від існуючої ТФОП до транспортної пакетної мережі) трафік:

$$V_{\text{TGW1}} = 2 \cdot V_{\text{TGW1\_SW1}} = 2 \cdot 8,24 = 16,48 \text{ Мбит/с}.$$

$$V_{\text{TGW3}} = 2 \cdot V_{\text{TGW3\_SW3}} = 2 \cdot 2,04 = 4,08 \text{ Мбит/с}.$$

Враховуючи, що навантаження від абонентів, що підключаються до RAGW, розподіляються за іншими RAGW рівномірно, пропорційно до числа підключених до даних RAGW абонентів, отримаємо розподіл транспортного ресурсу між шлюзами:

$$V_{\text{RAGWi\_RAGWj}} = \frac{V_{\text{RAGWi}} \cdot V_{\text{RAGWj}}}{\sum_{k=1}^N (V_{\text{RAGWk}}) - V_{\text{RAGWi}}}, \quad (3.19)$$

На основі формули (3.25), розрахуємо пропускну здатність між шлюзами доступу:

$$V_{\text{RAGW1\_RAGW3}} = \frac{13,65 \cdot 42}{77,22 - 13,56} = 9,0 \text{ Мбит/с},$$

$$V_{\text{RAGW3\_RAGW1}} = 16,23 \text{ Мбит/с},$$

$$V_{\text{RAGW1\_RAGW4}} = 4,65 \text{ Мбит/с},$$

$$V_{\text{RAGW4\_RAGW1}} = 5,32 \text{ Мбит/с},$$

$$V_{\text{RAGW3\_RAGW4}} = 25,77 \text{ Мбит/с},$$

$$V_{\text{RAGW4\_RAGW3}} = 16,36 \text{ Мбит/с},$$

Враховуючи, що на одній ділянці інформація надходить у прямому і зворотному напрямках, ресурс від вихідного шлюзу в сторону вхідного і навпаки складається:

$$V_{RAGWi-j} = V_{RAGWi\_RAGWj} + V_{RAGWj\_RAGWi}, \quad (3.20)$$

Проведемо розрахунок за формулою (3.20):

$$V_{RAGW1-3} = 25,24 \text{ Мбит/с,}$$

$$V_{RAGW1-4} = 9,97 \text{ Мбит/с,}$$

$$V_{RAGW3-4} = 42,12 \text{ Мбит/с,}$$

Ємнісні параметри абонентської бази гнучкого комутатора повинні дозволяти обслуговування всіх абонентів різних типів, підключення яких планується при побудові абонентського концентратора.

Параметри інтерфейсу підключення до пакетної мережі визначаються виходячи з інтенсивності обміну сигнальними повідомленнями в процесі обслуговування дзвінків.

Мінімальний корисний транспортний ресурс, в біт/с, яким SX повинен підключатися до пакетної мережі, для обслуговування викликів в інфраструктурі абонентського концентратора:

$$V_{SX} = k_{sig} \cdot ((L_{MEGACO} \cdot N_{MEGACO} \cdot P_{PSTN} \cdot N_{PSTN} + L_{V5UA} \cdot N_{V5UA} \cdot P_{V5} \cdot N_{V5} + L_{IUA} \cdot N_{IUA} \cdot (P_{ISDN} \cdot N_{ISDN} + P_{PBX} \cdot N_{PBX})) + L_{SH} \cdot N_{SH} \cdot P_{SH} \cdot N_{SH} + L_{MGCP} \cdot N_{MGCP} \cdot (P_{PSTN} \cdot N_{PSTN} + P_{V5UA} \cdot N_{V5UA} + P_{ISDN} \cdot N_{ISDN} + P_{PBX} \cdot N_{PBX}))/450 \text{ біт/с,}$$

Підставимо дані у вищенаведену формулу і отримаємо результат обчислення:

$$V_{sx} = 0,74 \text{ Мбит/с.}$$

Розподіл розподілу спортивних ресурсів для взаємодії шлюзів наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Розподіл транспортних ресурсів для взаємодії шлюзів

Направлення інформаційного обміну	Необхідний ресурс з функціонування без відмов, Мбіт/с
RAGW1– RAGW1	2,15
RAGW3– RAGW3	20,32
RAGW4– RAGW4	54,09
RAGW1– RAGW3	25,24
RAGW1– RAGW4	9,97
RAGW3– RAGW4	42,12
TGW 1– RAGW1 / TGW 3– RAGW1	4,0
TGW 1– RAGW3 / TGW 3– RAGW3	6,84
TGW 1– RAGW4 / TGW 3– RAGW4	5,56
TGW 1–SW1	8,24
TGW3–SW3	2,04
SX	0,73
SW1– RAGW1	$25,24 + 9,97 + 4,0 + 4,0 = 43,21$
SW3– RAGW3	$25,24 + 42,12 + 6,84 + 6,84 = 81,04$
SW3– RAGW4	$9,97 + 42,12 + 5,56 + 5,56 = 63,21$

3.3 Розрахунок транспортного ресурсу для взаємодії комутаторів пакетної мережі

Транспортний ресурс з комутаторів пакетної мережі залежить від топології мережі, схеми організації зв'язку і прийнятих рішень щодо забезпечення резервування та надійності.

Відповідно до малюнку в додатку А для побудови пакетної мережі використовується пов'язана схема з трьома комутаторами.

Будемо вважати, що для виконання вимог резервування транспортні потоки між обладнанням комутаторів повинні забезпечувати вимоги, наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Вимоги для нормального/при порушенні зв'язку функціонування ділянок мережі

Ділянка мережі	Нормальне функціонування	Функціонування при порушенні зв'язку
SW1 – SW2 SW2 – SW3	TGW1-SW1-SW2- SW3-RAGW3 TGW1 –SW1–SW2– SW3-RAGW4	Порушення SW1 - SW3: RAGW1 –SW1–SW2–SW3– TGW3 RAGW1 –SW1–SW2–SW3– RAGW3 RAGW1 –SW1–SW2–SW3– RAGW4
SW1 – SW3	RAGW1 -SW1- SW2-SW3-TGW3 RAGW1 -SW1- SW2-SW3-RAGW3 RAGW1 -SW1- SW2-SW3-RAGW4	Порушення SW1 – SW2або SW2 – SW3: TGW1 –SW1–SW2–SW3– RAGW3 TGW1 –SW1–SW2–SW3– RAGW4

У стовпці «Нормальне функціонування» визначаються два об'єкти, потік інформації між якими передається через ділянку при відсутності порушень у схемі організації зв'язку.

Розрахуємо транспортний ресурс між комутаторами пакетної мережі SW1та SW3за відсутності порушень у схемі зв'язку. Як видно з таблиці 3.4, необхідний транспортний ресурс з прикладним функціонування мережі буде дорівнює:

$$V_{SW2-SW3} = V_{RAGW1-3} + V_{RAGW1-4} + V_{TGW3-RAGW1};$$

$$V_{SW2-SW3} = 25,24 + 9,97 + 4 = 39,21 \text{ Мбит/с.}$$

Аналогічно розрахуємо між рештою комутаторами. Результати розрахунків зведено до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Транспортний ресурс між комутаторами пакетної мережі

Ділянка мережі	Необхідний ресурс при функціонуванні без відмов, Мбіт/с	Необхідний ресурс з при функціонуванні з відмовами, Мбіт/с
SW1 – SW2	12,4	12,4 + 39,21 = 51,61
SW2 – SW3		
SW1 – SW3	39,21	39,21 + 12,4 = 51,61

### 3.4 Розрахунок продуктивності гнучкого комутатора

Гнучкий комутатор (Softswitch) – реалізує функції з логіки обробки виклику, доступу до серверів додатків, доступу до ІДС, збір статистичної інформації, тарифікації, сигнальної взаємодії з мережею ТФОП та внутрішнь пакетної мережі, керування встановленням з'єднання та ін. Гнучкий комутатор є основним пристроєм, що реалізує функції рівня управління комутацією і передачею інформації.

Основним завданням гнучкого комутатора а побудови транзитного рівня комутації є обробка сигнальної інформації обслуговування виклику та управління встановленням з'єднань. Вимоги до продуктивності гнучкого комутатора визначаються інтенсивністю викликів, що вимагають обробки.

Інтенсивність викликів, що надходять, визначається інтенсивністю викликів, що припадає на один канал 64 кбіт/с (E0) лінії E1, а також числом E1, що використовуються для підключення станції до транспортного шлюзу. Розрахунок продуктивності гнучкого комутатора може бути вироблений за наступними формулами:

$$P_{SX} = P_{SX}^{RAGW} + P_{SX}^{TGW}, \quad (3.21)$$

$$P_{SX}^{TGWi} = P_{TGW} \cdot N_{E1}, \quad (3.22)$$

$$P_{SX}^{RAGWi} = P_{PSTN} \cdot (N_{PSTN} + N_{SHM}) + P_{ISDN} \cdot N_{ISDN} + P_{PBX} \cdot (N_{V5} + N_{PBX}), \quad (3.23)$$

На основі формул (3.1-3.3) зробимо розрахунки:

$$P_{SX}^{RGW1} = P_{SX}^{TGW3} = 35 \cdot 233 = 8155 \text{ викликів.}$$

$$P_{SX}^{RAGW1} = 5 \cdot (1000 + 600) + 10 \cdot 100 + 35 \cdot (120 + 0) = 13200 \text{ викликів.}$$

$$P_{SX}^{RAGW3} = 39300 \text{ викликів.}$$

$$P_{SX}^{RAGW4} = 21600 \text{ викликів.}$$

Необхідна продуктивність буде рівна сумі отриманих значень (таблиця 3.6).

Таблиця 3.6 – Продуктивність гнучкого комутатора

Обладнання	Продуктивність, тис. викл/чн н
Абонентський концентратор	$13,2 + 39,3 + 21,6 = 74,1$
Транзитний комутатор	$8,155 + 8,155 = 16,31$
Всього:	90,4

3.5 Опис застосування обладнання для організації мультисервісної мережі

Транспорт шлюз (TGW).

UMG8900 – універсальний медіашлюз, що дозволяє здійснювати стикування між мережами ТФОП та IP. Різноманітність підтримуваних інтер-

фейсів і функцій дозволяє пристрою взаємодіяти з широким спектром обладнання.

UMG8900 гарантує високу надійність мережі за допомогою використання подвійного резервування, забезпечуючи також ненадійність на рівні пристрою за допомогою розподіленої системи синхронізації, модулювання. ой програмної і апаратної структури і механізму обробки аварій в реальному часі.

Основні параметри:

- підтримувані інтерфейси мережі IP: Fast Ethernet, Gigabit Ethernet;
- підтримувані протоколи сигналізації мережі IP: H.323 та H.248/Megaco;
- підтримувані протоколи сигналізації мережі TDM: OKS № 7, V5.2, DSS-1.

Гнучкий комутатор (Softswitsh).

SURPASS HiE 9200 – рішення для побудови мереж нового покоління. Комутаційна платформа SURPASS HiE 9200 покликано вирішити пр лему переходу до мережного по коління для існуючої інфраструктури і є рішенням, здатним функціонувати як у мережах TDM (традиційної телефонії), так і в мережах нового покоління – NGN.

SURPASS HiE 9200 – це програмний комутатор операційного класу, який дозволяє реалізувати поверхневих рішень додатковий рівень функціональних можливостей.

Основні параметри:

- число спроби дзвінків у ЧН Н: до 16000000 спроб дзвінків/ЧН Н;
- пропускна здатність одночасних викликів: до 90000 одночасних викликів;
- число аналогових абонентів від 6 до 1700000 аналогових абонентів;
- підтримувані протоколи сигналізації мережі IP: H.248/Megaco, SIP-I, SIGTRAN (M2UA, M3UA, IUA);



На рисунку 3.2 надана залежність загальної довжини пакетів від кількості прийнятих пакетів. З рисунку 3.2 видно, що зі збільшенням кількості захоплених пакетів загальна довжина зменшується.

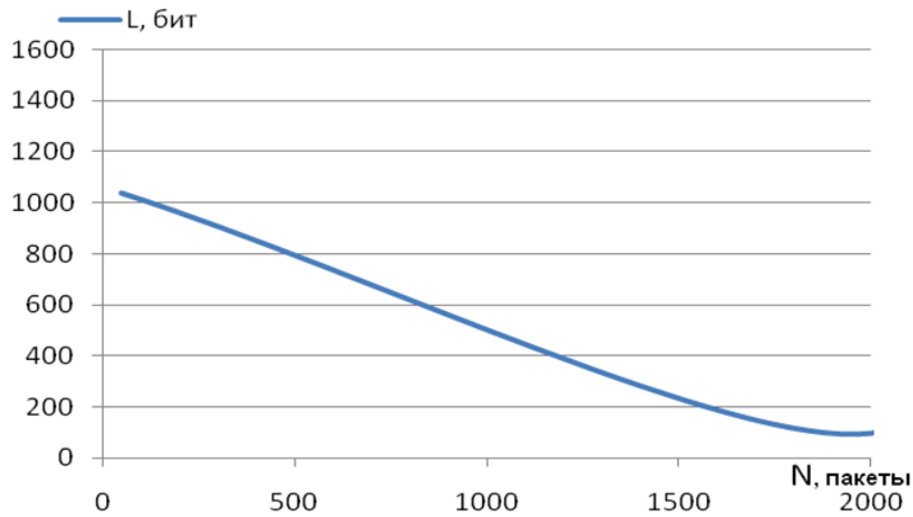


Рисунок 3.2 – Залежність загальної довжини пакетів від кількості прийнятих пакетів

На рисунку 3.3 представлена залежність швидкості обробки пакетів від загальної довжини пакетів.

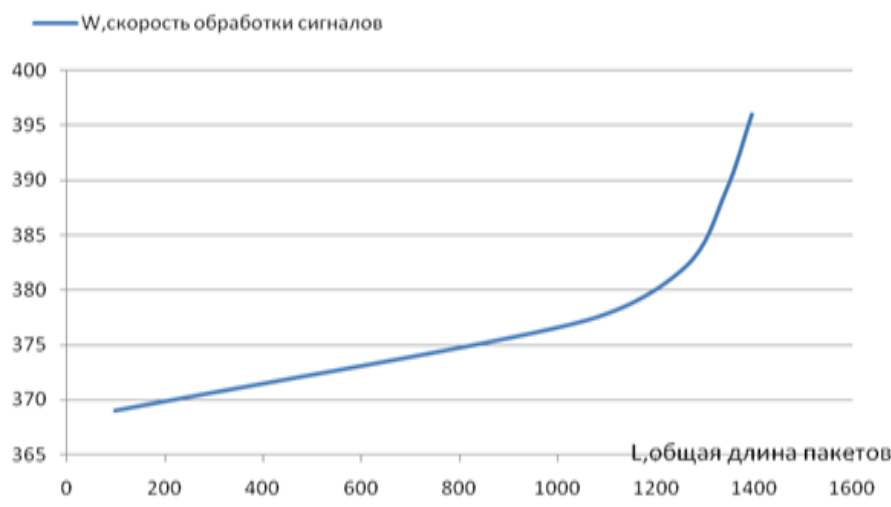


Рисунок 3.3 – Залежність швидкості обробки пакетів від загальної довжини пакетів

На рисунку 3.4 представлена залежність швидкості обробки пакетів від кількості захоплених пакетів.

Можна сказати, що зі збільшенням загальної довжини пакетів швидкість обробки пакетів зростає і що зі збільшенням кількості захоплених пакетів швидкість обробки зменшується.

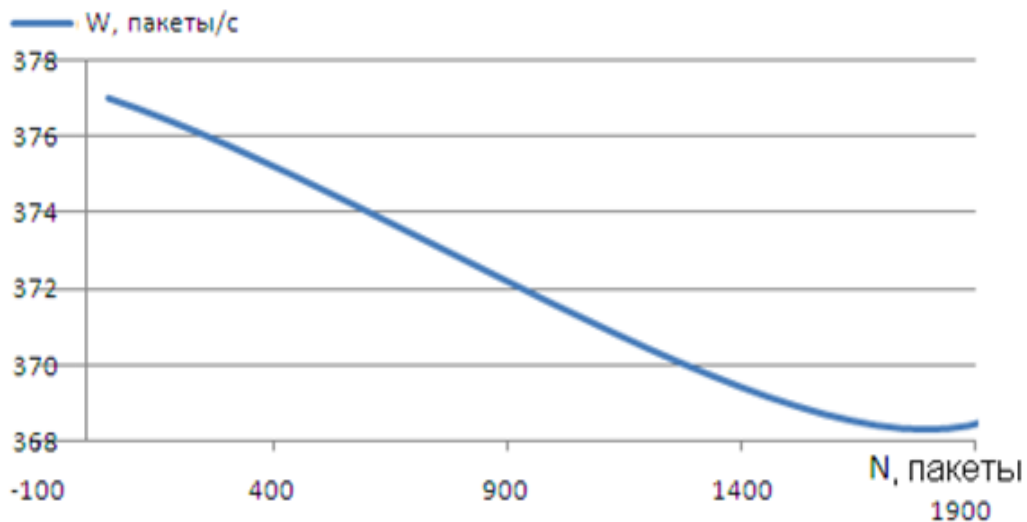


Рисунок 3.4 – Залежність швидкості обробки пакетів від кількості захоплених пакетів

На рисунках 3.5 і 3.6 представлено розрахунок навантажень на обслуговуючий функціональний елемент S-CSCF на програмі Mathcad.

Потрапляючи в мережу IMS, всі заявки на обслуговування викликів надходять на обслуговуючий функціональний елемент S-CSCF. Цей мережевий елемент представляє собою SIP-сервер, що управляє сеансом зв'язку. Для виконання своїх функцій, він отримує від інших мережевих елементів мережі всю інформацію про встановлення з'єднання і потрібну послугу.

Функції елемента управління викликами і сесіями CSCF (I-CSCF, P-CSCF і S-CSCF), можуть мати різну фізичну декомпозицію, тобто він і можуть бути реалізовані як у вигляді єдиного блоку, що володіє всіма можливостями, так і представляти собою набір пристроїв, кожне з яких відповідає за реалізацію конкретної функції. Незалежно від фізичної реалізації, про те уп-

равління сеансами зв'язку залишається стандартним – SIP [7]. Вихід із будівельної станції створює проблеми користувачу, інші користувачі Інтернет, скоріше її всього, цього не помітять, але відмова сервера позначиться на роботі всіх його клієнтів, у тому числі і віддалених. Вихід же з будівництва маршрутизатора (якщо це транзитний вузол) може вплинути на роботу цілого регіону. Звідси видно, що окремі вузли можуть по-різному впливати на роботу мережі в цілому. Навіть у класі серверів можна виділити групу різного впливу на рівні надійності. Очевидно, що вплив на надійність мережі може надавати не тільки обладнання або ОС, але і прикладні програми.

На рисунку 3.5 представлена залежність транспортного ресурсу між сервером медіаресурсів MRF і елементом S-CSCF від середнього числа SIP повідомлень при обслуговуванні одного виклику між AS і S-CSCF.

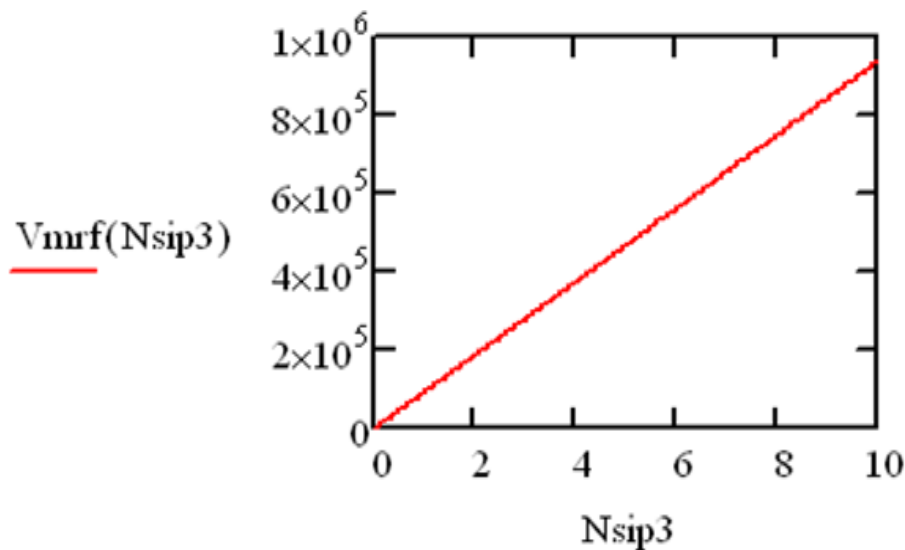


Рисунок 3.5 – Залежність транспортного ресурсу між медіаресурсів MRF і елементом S-CSCF від середнього числа SIP повідомлень при обслуговуванні одного виклику між AS та S-CSCF

На рисунку 3.6 представлена залежність загальний транспортний ресурс для обслуговуючого функціонального елемента S-CSCF від транспортного ресурсу між серверами додатків (AS) і елемент том S-CSCF.

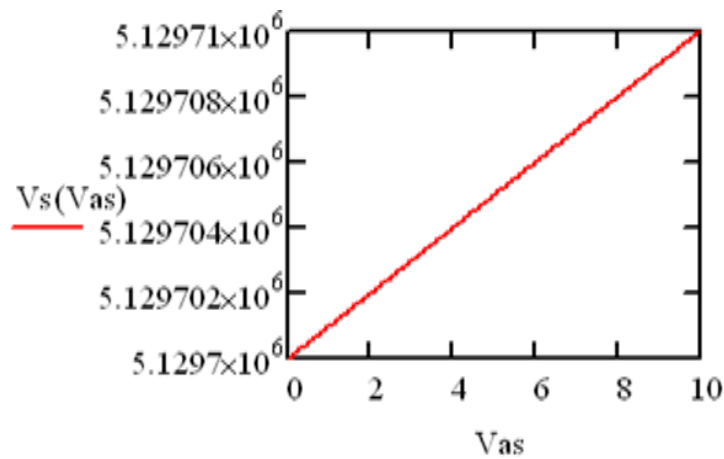


Рисунок 3.6 – Залежність загальний транспортного ресурсу для обслуговуючого функціонального елемента S-CSCF від транспортного ресурсу між серверами додатків (AS) та елементом S-CSCF

### 3.6 Віртуальні буфери та алгоритми планування

Недоліком буфера FIFO (у порядку надходження) є те, що весь трафік повинен спільно використовувати простір буфера і ємність сервера, а це може призвести до проблем, таким як глобальна синхронізація. Він ізолює. Принцип алгоритму RED полягає в тому, що він застосовує "гальма" поступово, спочатку впливаючи тільки на кілька наскрізних підключень.

Інший підхід полягає в тому, щоб розбити простір буфера на віртуальні буфери і використовувати механізм планування, щоб розділити між ними ємність серверу. Будь то віртуальні буфери для окремих потоків, агрегатів або класів потоків, вищеплення розділів дає можливість пристосовувати характеристики затримки і втрат і окремих віртуальних буферів до певних вимог. Це допомагає утримувати будь-яку небажану поведінку перенавантаження, і не дозволяє йому впливати на весь трафік у вихідному порту FIFO. Звичайно, два підходи доповнюють інші - якщо більше, ніж один потік використовує віртуальний буфер, то застосування алгоритму RED тільки до конкретного віртуального буфера може запобігти перенавантаженню цих окремих потоків пакетів. [15]

### 3.7.1 Черга з попередженням

Є ряд різних алгоритмів планування. Розглянемо алгоритм пріоритету за часом, що також називається "відносним" пріоритетом (HOL – head-of-line), або черга з попередженням в IP. Це статична схема: кожен пакет, що приходить, має зафіксований, заздалегідь визначений рівень пріоритету, який він зберігає на всьому русі по мережі.

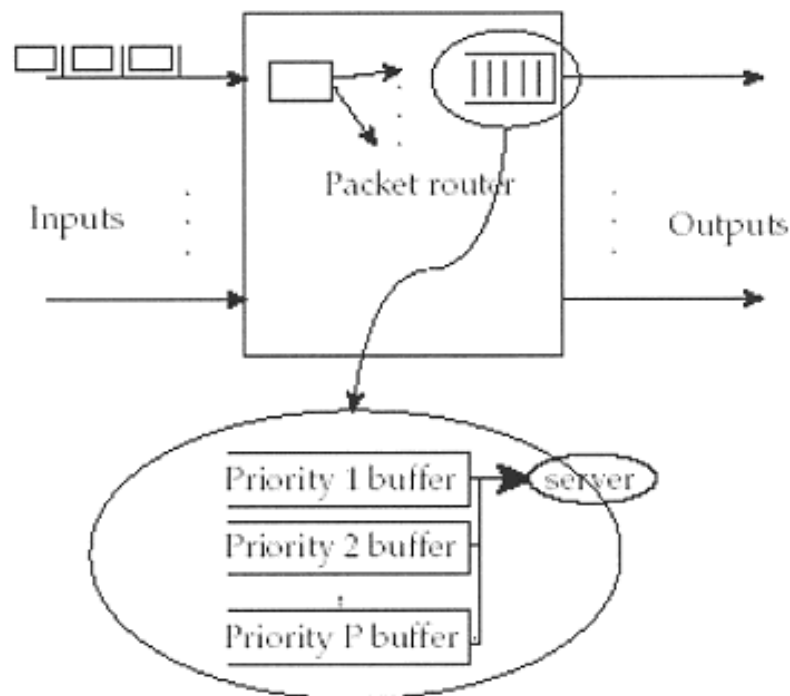


Рисунок 3.7 – Схема віртуального буфера

IPv4 тип поля обслуговування (TOS - Type of Service) може використовуватися для визначення рівня пріоритету, а в IPv6 еквівалентне поле називається полі пріоритету (Priority Field).

План резервування працює наступним чином:

- пакети пріоритету 2 будуть обслужені тільки, якщо немає жодного пакета з пріоритетом 1;
- пакети пріоритету 3 будуть обслужені тільки, якщо немає пакетів пріоритетом 1 і 2, і т.д.

Будь-яка така система при практичній реалізації повинна визначити  $p$ , число різних класів пріоритету.

З точки зору поведінки черги в цілому, трафік найвищого пріоритету бачить повну ємність сервера, а кожні наступні рівні бачать те, що залишається, тощо. У системі з перемінною довжиною пакета аналіз ускладнюється, якщо потоки трафіку більш низького пріоритету мають пакети більшого розміру.

Припустимо, що пакет довжиною 1000 октетів з пріоритетом 2 тільки надійшов в обслуговування (бо віртуальний буфер пріоритету 1 був порожній), але підходить короткий пакет довжиною 40 октет з пріоритетом.

Цей першочерговий пакет повинен тепер чекати, поки вико пріоритетний пакет не завершить обслуговування - протягом цього часу і могло б бути обслужений про 25 таких коротких пакетів.

### 3.7 Справедливо зважена черга

Проблема черги з попередженням полягає в тому, що, якщо високопріоритетна навантажена виході є занадто високою, то трафік з низьким пріоритетом може бути нескінченно відкладений. Проблема не в АТМ, тому що структура управління трафіком вимагає, щоб ресурси резервувалися і оцінювалися в термінах забезпечення наскрізної якості обслуговування. В ідеальній середовищі ІР підвищення черги з низьким пріоритетом не впливає на передачу високопріоритетних пакетів, і тому не змушує коригувати їх наскрізні протоколи транспортного рівня. [13]

Альтернативою є циклічне планування (round robin scheduling). Тут, планувальник дивиться на кожен віртуальний буфер по черзі, обслуговуючи один пакет від кожного, і пропускає всі порожні віртуальні буфери. Це гарантує, що всі віртуальні буфери отримають деяку частку ємності сервера, і що ємність не використовується вхолосту. Однак короткі пакети штрафуються - наскрізні підключення, які мають більш довгі пакети, отримують велику час-

тку ємності сервера, тому що він розділяється згідно кількості пакетів.

Справедливо зважена черга (WFQ - Weighted fair queueing) розділяє ємність, приписуючи вагу обслуговуванню різних віртуальних буферів. Якщо ці ваги встановлені відповідно до швидкості маркерів у специфікації зарезервованої ділянки пам'яті маркера для потоків або агрегатів потоку, і резервування ресурсу гарантує, що сума швидко остей маркерів не перевищує ємність обслуговування, то планування WFQ ефективно забезпечує незалежну обробку кожного віртуального буфера зі швидкістю обслуговування, рівної швидкості маркера.

Якщо скомбінуємо WFQ з організацією черги "на потік", то простір буфера і ємність сервера можуть бути пристосовані згідно з вимогами на затримку і втрати для кожного потоку. Це оптимально в сенсі керування трафіком, тому що це гарантує, що потоки з поганою поведінкою не викличуть надмірну затримку або втрату в хороших потоках, і, отже, запобігає глобальні проблеми синхронізації. Однак, не оптимально в повному сенсі втрати: це погіршує використання доступного простору, чим могло б, наприклад, повне поділ буфера. Це добре, коли віртуальний буфер одиночного потоку може переповнитися, викликавши цим втрати, навіть коли все ще є достатньо простору в іншій частині буфера

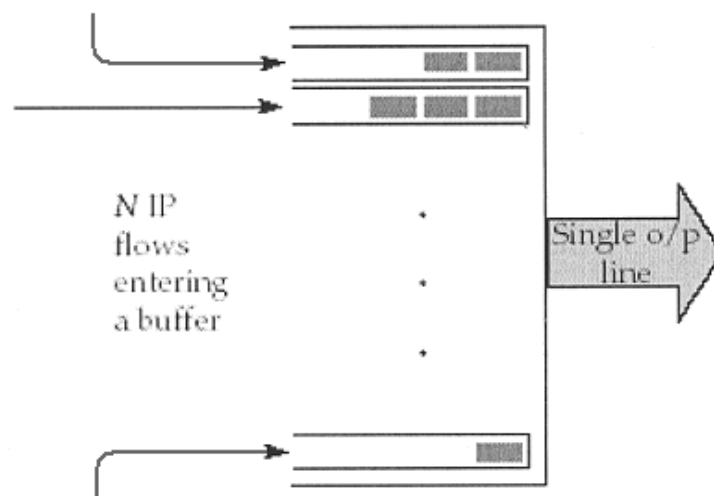


Рисунок 3.8 – Схема віртуального буфера зі справедливо зваженою чергою

Кожен віртуальний буфер може розглядатися незалежно для аналізу продуктивності. Якщо ми маємо організацію черги "на потік", то вхідний трафік є одним очним джерелом. При потоці, з перемінною швидкістю, для характеристики одиночного ON-OFF джерела можуть бути використані пікова швидкість, середня швидкість і тривалість імпульсу для аналізу черги. Якщо ми маємо організацію черги "на клас", то може застосовуватися будь-який відповідний аналіз M/D/1, M/O/1 або аналіз безлічі ON-OFF в масштабі пачок.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було розроблено математичну модель динамічного управління мережевими ресурсами. Ця модель має ряд переваг: облік динаміки процесів в мультисервісних гетерогенних ТКЗ; забезпечення адаптивної балансування інформаційних ресурсів, як одного очного КА, так і всієї мережі в цілому; сумісність із існуючими АМ.

Розроблено адаптивний алгоритм управління мережевими ресурсами, який буде перевершувати одно-маршрутні АМ на будь-яких складних топологіях МТС за основними показниками QoS, який дозволить підвищити максимальні ПС в мережі на 10-22%.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Іванісенко І.М, Зинов'єв Б.М. Аналіз ефективності використання ресурсів мультисервісної мережі. Проблеми інформатизації: Тези доповідей десятої міжнародної науково-технічної конференції. Т.1: секція 2. Черкаси: ЧДТУ; Баку: ВАЗС АР; Бельсько-Бяла: УТіГН; Харків: НТУ «ХПІ»; Харків: ХНУРЕ; Харків: ДП «ПД ПКНДІ АП». 2022. с. 66.
2. Вегешна Ш. Якість обслуговування в мережах IP / Пер .з англ. М: Видавничий дім «Вільямс». 2003. 386 с.
3. Лемешко О.В. Динамічна модель балансування буферних і каналних ресурсів транспортної мережі телекомунікаційної системи [Електронний ресурс] / А.В. Лемешко, Д.В. Симоненко // Проблем телекомунікацій. 2010. №2 (2). З. 42 -49.
4. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / ред. Поповського В.В. Харків: ТОВ «Компанія СМІТ». 2006. 564 с.
5. Степанов А.Н. Архітектура обчислювальних систем і комп'ютерних мереж. СПб: Пітер. 2007. 512с.
6. Буханько О.М., Безрук В.М., Дуравкін Є.В. Алгоритми управління каналами зв'язку інтелектуального агента дільниці мережі / Вісник Національного університету «Львівська політехніка». 2009. 645. С. 68-72.
7. Безрук В.М. Векторна оптимізація і статистичне моделювання в автоматизованому проектуванні систем зв'язку. Харків: ХН УР Е, 2002.
8. Безрук В.М., Буханько А.Н., Бідний Ю. М., Демін А.М. Реалізація двох підходів до управління мережевими ресурсами в телекомунікаційних системах з урахуванням сукупності показників якості обслуговування Харків: ХН УРЕ, 2002.
9. Авен , О. І. Оцінка якості та оптимізація обчислювальних систем / О. І. Авен , Н . І. Гурін, Я. А. Коган. - М: Наука, 1982. - 464 с.
10. Автоматне управління асинхронними процесами в ЕОМ і дискрет-

них системах / В. І. Варшавський; під ред. В. І. Варшавського. - М: Наука, 1986.-400 с.

11. Антонов, А. В. Системний аналіз / А. В. Антонів. - М: Вища школа, 2004.-454 с.

12. М.Вентцель, Е. С. Теорія ймовірностей і її інженерні докладання / Є. С. Венцель, Л. А. Овчарів. - М: Вища школа, 2007.-491 с.

13. Вишневський, В. М. Теоретичні основи проектування комп'ютерних мереж / В. М. Вишневський. - М.: Техносфера, 2003. - 512 с.

14. Гнеденко, Б. В. Введення в теорію масового обслуговування / Б. Гнеденко, І. Н. Коваленко. - М: Кома, 2005. - 400 с.

15. Гольдштейн, Б. С. Call-центри та комп'ютерна телефонія / Б. С. Гольдштейн, В. А. Фрейнман. – СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, -372 с.