

Національний університет “Львівська політехніка”

*На правах рукопису*

**Червенець Володимир Володимирович**

УДК 621.391

**Підвищення якості передачі потокового трафіку в  
мультисервісних мережах**

*05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі*

Дисертація на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Науковий керівник -  
Кандидат технічних наук,  
доцент **Романчук В.І.**

*Ідентичність всіх примірників дисертації*

**ЗАСВІДЧУЮ:**

*Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради*

**/І.В. Демидов/**

Львів – 2016

## ЗМІСТ

|   | стор. |
|---|-------|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....  | 5     |
| ВСТУП.....  | 6     |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ НАДАННЯ<br>ПОСЛУГ В МУЛЬТИСЕРВІСНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ<br>МЕРЕЖАХ.....                           | 12    |
| 1.1. Стандартизація якості обслуговування в мультисервісних<br>телекомунікаційних мережах .....   | 12    |
| 1.2. Технології забезпечення QoS в системах з комутацією пакетів .....  | 15    |
| 1.3. Характеристики якості обслуговування потокових видів трафіку в<br>телекомунікаційних IP мережах.....                                     | 18    |
| 1.4. Методи оцінки якості надання послуг в мережах з неоднорідним<br>вхідним потоком .....  | 20    |
| 1.5 Аналіз існуючих підходів до вирішення задач управління та<br>забезпечення якості надання послуг в IP-орієнтованих мережах .....           | 23    |
| 1.6. Висновки до 1-го розділу.....  | 40    |
| РОЗДІЛ 2. МОДЕЛІ ТА МЕТОД ПОКРАЩЕННЯ ПАРАМЕТРІВ QoS В<br>МУЛЬТИСЕРВІСНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ З УРАХУВАННЯМ<br>ВІРТУАЛІЗАЦІЇ МЕРЕЖЕВИХ ВУЗЛІВ ..... | 41    |
| 2.1. Модель віртуалізованого пакетного маршрутизатора із статичним та<br>динамічним виділенням обчислювальних ресурсів.....                   | 41    |
| 2.2. Аналітичне представлення параметрів якості обслуговування<br>віртуальної інфраструктури.....   | 51    |
| 2.3. Модель мережевого пристрою з віртуалізацією ресурсів.....  | 54    |
| 2.4. Покращення параметрів QoS на основі методу адаптивного<br>управління структурними параметри віртуальних маршрутизаторів.....             | 59    |

|   |     |
|---|-----|
| 2.5. Висновки до 2-го розділу.....  | 66  |
| <b>РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ</b>  |     |
| <b>ВІРТУАЛЬНИХ МАРШРУТИЗАТОРІВ В УМОВАХ ПЕРЕДАВАННЯ</b>   |     |
| <b>МУЛЬТИСЕРВІСНОГО ТРАФІКУ.....</b>  |     |
| 3.1. Розробка імітаційної моделі маршрутизатора з віртуалізацією та без віртуалізації ресурсів.....   | 68  |
| 3.2. Моделювання системи обслуговування потоків даних в мультисервісних вузлах мережі із використанням механізмів віртуалізації .....   | 79  |
| 3.2.1. Моделювання та порівняння систем обслуговування інформаційних потоків з статичною реконфігурацією ресурсів маршрутизатора та обробкою пакетів за порядком черги fifo .....   | 81  |
| 3.2.2. Моделювання та порівняння системи обслуговування інформаційних потоків з динамічною реконфігурацією ресурсів маршрутизатора та обробкою пакетів за порядком черги fifo ..... | 97  |
| 3.2.3. Моделювання систем обслуговування вхідних потоків з статичною і динамічною реконфігурацією ресурсів вузла та порівняння з пріоритетною обробкою пакетів .....                | 106 |
| 3.3. Дослідження впливу методу управління структурними параметри віртуальних маршрутизаторів на якість обслуговування потоків.....  | 111 |
| 3.4. Висновки до 3-го розділу.....  | 122 |
| <b>РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ</b>   |     |
| <b>ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ ПРИСТРОЇВ</b>  |     |
| <b>МЕРЕЖНОГО РІВНЯ.....</b>   |     |
| 4.1. Віртуалізація мережевого пристрою на основі системи віртуального часу.....   | 125 |
| 4.2. Розробка програмного маршрутизатора з модульною структурою.....  | 132 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.3. Практична реалізація технології віртуалізації програмного маршрутизатора .....   | 136 |
| 4.4. Забезпечення гарантовано рівня якості обслуговування потокового трафіку у віртуальній мультисервісній інфраструктурі ..... | 139 |
| 4.5. Висновки до 4-го розділу .....   | 146 |
| ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ .....  | 148 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....  | 151 |
| Додаток А. Акти впровадження результатів дисертаційної роботи .....   | 167 |
| Додаток Б. Лістинг програми роботи мережевого пристрою з віртуалізацією ресурсів.....   | 171 |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

OSI – Модель взаємодії відкритих систем

NGN – Мережа наступного покоління

IP – Технологічна основа побудови транспортної мережі з комутацією пакетів

MPLS – Багатопротокольна комутація на основі міток

IETF – Відкрите міжнародне співтовариство проектувальників, учених, мережевих операторів і провайдерів, створене IAB в 1986 році, яке займається розвитком протоколів і архітектури Інтернету.

ITU – Міжнародний союз телекомунікацій

ETSI – Європейський інститут стандартизації телекомунікацій

СМО – Система масового обслуговування

QoS – Якість обслуговування, якість надання послуг, якість сервісу

RSVP – Протокол резервування ресурсів

CoS – Клас сервісу

DSCP – Поле коду диференційованої послуги

РНВ – Політика покрокових переходів

ТМЗК – Телефонна мережа загального користування

ToS – Рівень пріоритету IP, вид послуги

TU – Використання TE-тракту

VBR – Змінна швидкість передачі

VoD – Відео на замовлення

VoIP – Телефонія на основі протоколу IP

MOS – Середня експертна оцінка

WFQ – Зважене справедливе обслуговування

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Одним з найбільш актуальних наукових завдань у галузі телекомунікацій є передавання потокового трафіку реального часу з дотриманням низки вимог щодо якості обслуговування. Це пов'язано із тим, що множина потоків даних передається по мережі, ресурси якої необхідно розподілити між цими потоками за певною пропорцією. Оскільки дані, які підлягають передаванню, різні за своєю природою та важливістю, то необхідно мати механізми, які дають змогу розв'язувати задачу розподілу ресурсів оперативно, у відповідності до властивостей тих потоків, які передаються у конкретний момент часу через конкретні телекомунікаційні вузли. Такі механізми повинні базуватись на удосконалених методах розподілу ресурсів, що мають високу масштабованість, швидкодію, гнучкість, низьку операційну складність та ресурсоемність.

Для підвищення якості обслуговування (QoS) переданого мережевого трафіку актуальним є пошук гнучких методів управління мережними ресурсами для забезпечення їхнього збалансованого завантаження й гарантованої якості обслуговування різнорідного трафіку користувачів у мультисервісних мережах. Щодо проблематики розроблення методів управління трафіком в мультисервісних мережах зв'язку варто відзначити роботи Лемешка О.В., Петрова В.В., Цибакова Б.С., Іванова В.В., Ложковського А.Г., Сидорової О.І., Yanfeng Zhang, Cuirong Wang та Yuan Gao.

Роботи, які присвячені методам оптимізації ефективності використання мережевих ресурсів, здебільшого, носять теоретичний характер, пов'язаний зі створенням нових алгоритмів управління, що робить їх важкореалізованими в реальній мережі оператора зв'язку. Іншим недоліком існуючих методів є використання комплексного підходу до управління інформаційними потоками без урахування особливостей кожного типу трафіку, що генерується різними мережевими додатками. Підвищення якості обслуговування інформаційних

потоків також частково досягають шляхом вдосконалення апаратної складової – використанням буферної сортувальної пам'яті чи сортувальних мереж. Існуючі технічні методи управління трафіком в мережевих пристроях (шейпінг і полісінг) виявляються малоефективними при обробленні трафіку. Зокрема, для зменшення втрат алгоритм полісінг вимагає збільшення пропускної здатності каналу, в результаті чого зменшується його використання (знижується утилізація), а алгоритм шейпінгу вносить затримки, що може бути неприйнятним при обробленні потоків реального часу. Програмний шлях покращення показників QoS полягає в використанні комбінацій базових дисциплін обслуговування черг на мережевому рівні та удосконаленні алгоритму керування інформаційними потоками на базі WRR (Weighted Round Robin - зваженого механізму кругового обслуговування) у вузлах телекомунікаційних мереж, зокрема на основі створення їх програмних аналогів.

Таким чином, розширення спектру послуг, масштабування інфраструктури та обсяги трафіку, що постійно зростають спонукають до розв'язання наукового завдання покращення якості обслуговування потокового трафіку в мультисервісних мережах за рахунок удосконалення методу адаптивного управління структурними параметрами вузла та розроблення моделей віртуалізації мережевого пристрою.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**  
Дисертаційна робота виконувалась в рамках держбюджетної науково-дослідної теми «Моделі та структури конвергентних телекомунікаційних мереж на основі CLOUD – технологій» ("ДБ/CLOUD"), (2013-2014 рр.), № держреєстрації 0113U003184, держбюджетної науково-дослідної теми «Методи побудови та моделі інформаційно – телекомунікаційної інфраструктури на основі SDN – технологій для систем електронного урядування» ("ДБ/SDN"), (2015-2016 рр.), № держреєстрації 0115U000444

**Мета і завдання дослідження.** Метою представленої дисертаційної роботи є підвищення якості обслуговування потокового трафіку в мультисервісній мережі на основі динамічного управління параметрами віртуальних мережевих вузлів та гнучкого розподілу обчислювальних ресурсів маршрутизатора.

Досягнення поставленої мети здійснюється розв'язанням таких завдань:

1. Аналіз сучасних рішень по забезпеченню гарантованої якості обслуговування в мультисервісних телекомунікаційних мережах.
2. Розроблення моделі статичної та динамічної віртуалізації обчислювальних ресурсів мережевого пристрою.
3. Розроблення аналітичної моделі маршрутизатора з віртуалізацією ресурсів.
4. Розроблення методу адаптивного управління структурними параметрами віртуальних маршрутизаторів.
5. Розроблення імітаційної моделі маршрутизатора з віртуалізацією та без віртуалізації ресурсів для оцінки ефективності роботи мережевого пристрою в умовах передавання мультитотокового трафіку.
6. Розроблення моделі програмного маршрутизатора з модульною структурою та автоматичним розгортанням віртуальних вузлів із наданням необхідних ресурсів та з проведенням контролю за характеристиками продуктивності.
7. Оцінювання параметрів якості обслуговування потокового трафіку на основі запропонованого програмно-апаратного рішення в маршрутизаторах з підтримкою віртуалізації.

*Об'єкт дослідження* – процес обслуговування потокового трафіку мультисервісної телекомунікаційної мережі із забезпеченням якості обслуговування.



*Предмет дослідження* – моделі та методи підвищення якості обслуговування потокового трафіку в мультисервісних мережах.

*Методи дослідження.* У роботі знайшли своє застосування теорія систем та мереж масового обслуговування, аналітичні, імітаційні методи дослідження, а також методи натурного експерименту.

**Наукова новизна** роботи полягає у тому, що:

1. Вперше запропоновано структурно-функціональну модель мережевого пристрою з динамічною віртуалізацією обчислювальних ресурсів, яка дає змогу описати процес віртуалізації маршрутизаторів із взаємною оптимізацією заданого рівня параметрів якості обслуговування для визначених типів сервісу.

2. Вперше запропоновано математичну модель процесів функціонування мережевого пристрою з віртуальними маршрутизаторами, яка на відміну від відомих дає змогу значно знизити взаємний параметричний вплив різних видів трафіку в процесі передавання через мережу та оцінити якість обслуговування за допомогою декомпозиції структури мережевого вузла і подальшого математичного моделювання на основі теорії систем та мереж масового обслуговування.

3. Удосконалено метод адаптивного управління структурними параметрами віртуальних маршрутизаторів, який дав змогу на основі розробленої програмної моделі динамічної віртуалізації ресурсів маршрутизатора оцінити та покращити параметри якості обслуговування інформаційного трафіку в мультисервісній мережі.

4. Набула подальшого розвитку програмна модель маршрутизатора, новизна якої полягає в тому, що в ній на відміну від раніше відомих моделей є можливість визначити віртуальні аналоги апаратних маршрутизаторів з мінімальним необхідним обсягом мережевих ресурсів для гарантування заданого рівня якості обслуговування, що дає змогу знизити часові параметри QoS потокового трафіку, забезпечуючи підтвердження точності їх оцінки.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що:

1. Використання запропонованого методу управління структурними параметрами віртуальних маршрутизаторів в умовах високого навантаження дає змогу за одних і тих самих обсягів ресурсів мережевого пристрою покращити якість обслуговування для потоків реального часу за середньою затримкою на 18,8%, а для потоків чутливих до втрат та нечутливих до затримок зменшити ймовірність втрат пакетів до 10 разів.

2. Запропонована технологія динамічної віртуалізації мережевого пристрою забезпечує можливість вибору мінімального обсягу мережевих ресурсів для гарантування заданого рівня якості обслуговування та дає можливість на 25-30% покращити часові параметрів якості обслуговування потокового трафіку в режимі реального часу.

Наукові та практичні результати виконаних досліджень використані в навчальному процесі, лекційних курсах і лабораторних роботах, які проводяться для студентів кафедри телекомунікацій Національного університету "Львівська політехніка" за напрямом "Телекомунікації" та спеціальністю "Інформаційні мережі зв'язку", зокрема " Розподілені сервісні системи та Cloud-технології" та " Маршрутизація та розподіл потоків у телекомунікаційних мережах".

Результати роботи використано для підвищення параметрів якості обслуговування та гнучкості управління в телекомунікаційних мережах у ТзОВ ВТФ "Контех", ТзОВ "Телекомунікаційна компанія", ПП "Цифрові технології", що підтверджено актами впровадження.

**Апробація результатів дисертації.** Основні наукові результати і положення дисертації представлені, доповідались та всебічно обговорені на 8-ми міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях, наукових семінарах та симпозіумах: TCSET (Львів-Славське, 2010, 2012, 2016); Науково-технічній конференції "Проблеми телекомунікацій" (м. Київ, 2016);

Міжнародній конференції молодих вчених CSE (м. Львів, 2011 рр.); науково-практичній та науково-методичній конференціях "Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій" (м. Львів, 2008, 2009, 2011 рр.). Крім цього, дисертаційна робота в повному обсязі представлена на науковому семінарі кафедри "Телекомунікації" Національного університету "Львівська політехніка".

**Публікації.** За результатами досліджень, які викладені у дисертаційній роботі, опубліковано 16 наукових праць, серед них 1 стаття за кордоном [1], 7 статей у фахових виданнях згідно з переліком МОН України [2-8], та 8 публікацій у збірниках праць міжнародних і всеукраїнських конференцій [9-16].

**Особистий внесок здобувача.** Всі результати наукових, теоретичних і практичних досліджень, викладені в дисертації, одержані автором особисто. У працях, опублікованих у співавторстві, дисертантові належать: у роботах [2, 11] – розроблення програмної моделі віртуального маршрутизатора, [1, 3, 12] – проведення дослідження імовірісно-статистичних властивостей трафіку експериментальної мультисервісної телекомунікаційної мережі для підтвердження адекватності моделі програмного маршрутизатора та промодельованих профілів трафіку пакетів, [5, 6, 8] – розроблення аналітичної моделі мережевого пристрою, [7, 9, 10, 13, 14] – дослідження якості обслуговування в мультисервісних мережах, [4, 15, 16] – запропоновано метод управління структурними параметрами вузла при віртуалізації фізичної структури мережі.

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Загальний обсяг роботи складає 173 сторінки друкарського тексту, із них 6 сторінок вступу, 136 сторінок основного тексту, 94 рисунки, 3 таблиці на 2 сторінках, список використаних джерел зі 121 найменування.

## РОЗДІЛ 1.

### АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ НАДАННЯ ПОСЛУГ В МУЛЬТИСЕРВІСНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

У першому розділі розглянуто основні поняття і характеристики якості обслуговування в мультисервісних телекомунікаційних мережах, дається короткий огляд систем обслуговування інформаційних потоків, їх структура і класифікація, дисципліни обслуговування, математичні моделі та основні властивості потоку подій. Розглянуто основні показники якості обслуговування і спосіб їх оцінки в мережі оператора зв'язку на основі аналізу суб'єктивного сприйняття користувачем послуг. На основі аналізу літературних джерел проведено огляд та виявлено основні особливості та недоліки існуючих методів управління трафіком в мультисервісних мережах зв'язку.

#### **1.1. Стандартизація якості обслуговування в мультисервісних телекомунікаційних мережах**

Якість обслуговування (QoS) активно досліджується і стандартизується протягом усієї історії розвитку галузі телекомунікацій. Величезний внесок у розвиток і вдосконалення різних принципів якості обслуговування вніс Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ). МСЕ розробив вимоги і норми до різних показників QoS, провів велику роботу по стандартизації численних мережевих механізмів, які забезпечують необхідні показники QoS, а також формулюють основоположні поняття та визначення [1].

Мультисервісною мережею називають інфокомунікаційну структуру, в якій клієнт може отримувати кілька різних послуг по одній абонентській лінії (набір різних сервісів):

- Інтернет – доступ до всесвітньої мережі, Web - сторінки, FTP(передача файлів), електронна пошта та ін .;

- VoIP – IP-телефонія, телефонний зв'язок на основі пакетної комутації;
- IPTV– Передача відео зображення по мережі IP.

Кожен з цих сервісів висуває свої вимоги, для повноцінного функціонування, до каналу зв'язку (див. таблицю 1)

Таблиця 1.1

## Вимоги до QoS для кожної категорії сервісів

| Тип послуги \ Параметри QoS | Втрати пакетів P, % | Затримка T, мс | Джитер J, мс | Пропускна здатність C, кбіт/с |
|-----------------------------|---------------------|----------------|--------------|-------------------------------|
| IP-телефонія                | 0,1                 | <300           | <150         | 64                            |
| Відео-конференція           | 0,8                 | <100           | <30          | 2048                          |
| IPTV                        | 1,5                 | 500            | 50           | 10240                         |
| Дані                        | 0,1                 | 1000           | 1000         | 2048                          |
| Відео за запитом            | 0,05                | 1000           | 30           | 4096                          |

Оскільки фізичний канал один, а вимоги послуг різні, то розподіл каналного ресурсу між послугами є важливою задачею для забезпечення вимог QoS послуг [2]. Серед стандартів, присвячених якості обслуговування в електрозв'язку, одне з центральних місць займає рекомендація МСЕ E.800. У ній якість обслуговування визначається як «сумарний ефект робочих характеристик обслуговування, який визначає ступінь задоволеності користувача цією службою» розширюючи концепцію якості обслуговування, що відповідає рекомендації E.800, рекомендація МСЕ G.1000 розділяє робочі характеристики обслуговування на функціональні компоненти і пов'язує їх з мережевими характеристиками, визначеними в ряді рекомендацій МСЕ - таких як I. 350, Y.1540 і Y.1541 [3-4]. На додаток до рекомендації МСЕ G.1000, що визначає структуру зв'язків між робочими характеристиками (продуктивністю, надійністю, втратами, затримкою і ін.) і характеристиками мережі,

рекомендація МСЕ G.1010 містить специфікації вимог з боку додатків, орієнтованих на кінцевого користувача.

Якість обслуговування знайшло відображення у великій кількості статей і книг, серед яких відзначимо монографії [5-8]. У класичних ІР-мережах застосовується метод доставки, який повністю виключає як фізичну, так і віртуальну форму організації з'єднань. Даний метод заснований на розсилці пакетів-дейтаграм. А якість доставки пакетів в традиційних ІР-мережах базується на принципі «найкращою спроби» (Best effort). Зрозуміло, що такий підхід до обслуговування означає, що немає гарантії в доставці пакетів в правильному порядку, немає різниці між різними видами трафіку, і що він буде доставлений в потрібний час або взагалі чи буде доставлений.

З появою нових додатків, зокрема реального часу (інтерактивна передача мови, відеоконференції і відеотелефонія і ін.), одним з найбільш складних стає питання забезпечення гарантованого рівня якості обслуговування в мережах. Це пояснює, чому якість обслуговування в мережах ІР залишається предметом постійної уваги МСЕ, ETSI, IETF і інших організацій стандартизації в електрозв'язку. В рамках робіт МСЕ по стандартизації якості обслуговування в ІР-мережах передбачаються наступні етапи виконання завдання забезпечення якості обслуговування QoS для мереж, побудованих на базі протоколів ІР:

- створення узгодженого загального набору робочих характеристик ІР-мереж і норм для нього;
- впровадження мережевих механізмів, які будуть забезпечувати задані показники якості обслуговування в конфігурації «термінал-термінал»;
- вкладення нормованих значень показників якості обслуговування в протоколи сигналізації;

Поділ ресурсів і процеси управління трафіком необхідно скоординувати в умовах наявності великої кількості різноманітних додатків, які істотно відрізняються вимогами до робочих характеристик мережі (див. таблицю 1.2).

Таблиця 1.2

### Чутливість різних додатків до мережевих характеристик

| Тип трафіку         | Рівень чутливості до мережевих характеристик |          |          |         |
|---------------------|--|----------|----------|---------|
|                     | Смуга пропускання                            | Втрати   | Затримка | Джитер  |
| Голос               | Низький                                      | Середній | Високий  | Високий |
| Електронна пошта    | Низький                                      | Високий  | Низький  | Низький |
| Відеоконференція    | Високий                                      | Середній | Високий  | Високий |
| Передача даних      | Високий                                      | Середній | Низький  | Низький |
| IPTV                | Високий                                      | Високий  | Середній | Високий |
| Електронна комерція | Низький                                      | Високий  | Високий  | Низький |
| Відео за запитом    | Середня                                      | Середня  | Середня  | Високий |

## 1.2. Технології забезпечення QoS в системах з комутацією пакетів

### *Технологія Best Effort Service*

Повна відсутність засобів забезпечення QoS. Використовуються всі доступні мережеві ресурси без організації класів трафіку і його регулювання. Вважається, що при такій конфігурації маршрутизаторів в мережі найкращим варіантом забезпечення QoS є збільшення пропускну здатності. Це в принципі правильно, однак деякі види трафіку (наприклад, голосовий) дуже чутливі до затримок пакетів і зміни швидкості їх проходження. Технологія «Best Effort Service» даже при наявності великих резервів не бориться з перевантаженнями, які виникають у разі різких сплесків мережного навантаження. Тому були розроблені й інші підходи до забезпечення QoS.

### ***Технологія Integrated Service (IntServ)***

Integrated Service (IntServ)- модель інтегрованого обслуговування. Може забезпечити наскрізну з кінця в кінець (End-to-End) якість обслуговування, гарантуючи необхідну пропускну здатність для різних потоків трафіку. IntServ застосовує для своїх цілей протокол сигналізації RSVP, який дає змогу додаткам виражати наскрізні вимоги до ресурсів і містить механізми забезпечення даних вимог. IntServ можна коротко охарактеризувати як резервування ресурсів (Resource reservation). Відповідно до концепцій «Integrated Services» додатки можуть вибирати для своїх потоків даних будь-який із численних контрольованих рівнів якості обслуговування. Для цього до базових IP-сервісів додаються нові компоненти та механізми. Обслуговування в реальному часі вимагає гарантій, і ці гарантії не можуть бути забезпечені без резервування. Протокол RSVP передбачає, що ресурси резервуються для кожного потоку, що вимагає QoS, на кожному проміжному маршрутизаторі на шляху від відправника до одержувача з використанням сигналізації «з кінця в кінець». Це, у свою чергу, вимагає зберігання на маршрутизаторах даних про стан кожного конкретного потоку і, як наслідок, має на увазі кардинальні зміни в загальній моделі Internet. Крім того, таке рішення пропонує спосіб передавання вимог додатка елементам мережі, розташованим уздовж шляху, і обміну службовою інформацією QoS між мережевими елементами та програмою. Недоліки використання протоколу RSVP наступні [10-12]:

- потрібен час на прокладку маршруту резервування, що може бути критичним у великих корпоративних і глобальних мережах;
- додаткове завантаження проміжних маршрутизаторів інформацією про характер передаваного трафіку.

### ***Технологія Differentiated Service (DiffServ)***

Differentiated Service (DiffServ, RFC 2474/2475) - модель диференційованого обслуговування. Визначає забезпечення QoS на основі



чітко визначених компонентів, комбінованих з метою надання необхідних послуг. Архітектура DiffServ припускає наявність класифікаторів і формувачів трафіку на межі мережі, а також підтримку функції розподілу ресурсів в ядрі мережі з метою забезпечення необхідної політики покрокового обслуговування (Per-Hop Behavior - PHB). DiffServ розділяє трафік на класи, вводячи кілька рівнів QoS, і складається з наступних функціональних блоків:

- граничні формувачі трафіку (класифікація пакетів, маркування, управління інтенсивністю) і
- модулі реалізації PHB політики (розподіл ресурсів, політика відкидання пакетів).

DiffServ можна коротко охарактеризувати як пріоритезацію трафіку (Prioritization). Механізми DiffServ вдосконалює протокол IP з метою вирішення недоліків IntServ / RSVP і забезпечує масштабоване виборче обслуговування в Internet без необхідності запам'ятовувати стан кожного потоку і підтримувати сигналізацію [13-16]. На відміну від RSVP, у разі DiffServ відправник і одержувач обмінюються інформацією про вимоги до якості обслуговування, що виключає тимчасові витрати на прокладку шляху, властиві RSVP [17].

Механізми DiffServ обмежуються лише встановленням відповідності між послугами і різними рівнями «чутливості» до затримок і втрат, тобто не мають справи з точними значеннями або гарантіями. Вони не розраховані на забезпечення того чи іншого рівня обслуговування. Замість цього вони намагаються забезпечити відносне впорядкування агрегованих потоків, так що з одним з них «звертатися краще», ніж з іншим, залежно від певних правил обслуговування. Масштабованість архітектури DiffServ досягається за рахунок об'єднання класифікаційних ознак трафіку, при цьому інформація про тип трафіку передається в заголовку IP-датаграми. При цьому складні операції

класифікації, маркування, визначення правил обслуговування і формування трафіку виконуються тільки на кордонах мережі або ж на хостах [18].

### ***Перспективи гібридних технологій QoS***

Застосовувані разом IntServ і DiffServ можуть сприяти впровадженню IP-телефонії, відео на вимогу і різних критично важливих для підприємств не мультимедійних додатків. IntServ дозволяє хостам запитувати конкретний обсяг ресурсів для кожного потоку і використовувати зворотний зв'язок для визначення можливості виконання запитів. DiffServ забезпечує масштабованість для великих корпоративних мереж. В даний час запропонована гібридна структура. Вона передбачає застосування моделі, в якій периферійні підмережі підтримують RSVP і IntServ. Ці підмережі пов'язані проміжними мережами DiffServ. Завдяки масштабованості мереж DiffServ дана модель дозволяє розширити діапазон дії мереж IntServ / RSVP. Проміжні мережі DiffServ виглядають для мереж IntServ / RSVP як одна транзитна ланка. Хости, підключені до периферійних мереж IntServ / RSVP, передають через мережі DiffServ запити один одному на резервування ресурсів для кожного окремого потоку. У середині периферійних мереж IntServ / RSVP застосовується стандартна обробка протоколів IntServ / RSVP, а сигнальні повідомлення RSVP передаються через мережі DiffServ прозорим чином. Пристрої на кордоні між мережами IntServ / RSVP та мережами DiffServ обробляють повідомлення RSVP і забезпечують вхідний контроль з урахуванням наявності ресурсів усередині мережі DiffServ [19-20].

### **1.3. Характеристики якості обслуговування потокових видів трафіку в телекомунікаційних IP мережах**

У рекомендації ITU Y.1540 [4] визначені наступні мережеві характеристики, як найбільш важливі з точки зору ступеня їх впливу на якість обслуговування (пропускна здатність, надійність мережі / мережевих

елементів, затримка (мс) і джитер затримки, величина втрат (%), живучість - можливість збереження працездатності мережі при виході з ладу окремих елементів мережі) від одного інтерфейсу користувач-мережа User Network Interface (UNI) до іншого інтерфейсу користувач-мережа UNI).

*Пропускна здатність* мережі (або швидкість передачі даних) визначається як ефективна швидкість передачі, вимірювана в бітах в секунду. У рекомендації ІТУ-Т Y.1540 не приведені значення пропускнуої здатності для різних додатків; але, разом з тим, зазначено, що параметри, пов'язані з пропускнуою здатністю, можуть бути визначені за допомогою рекомендації ІТУ-Т Y.1221 [34].

*Надійність мережі* / мережевих елементів може визначатися рядом параметрів, з яких найчастіше використовується коефіцієнт готовності, що представляє собою відношення часу працездатності об'єкта до часу спостереження. В ідеальному випадку коефіцієнт готовності повинен бути рівний 1, що означає 100% -у готовність мережі.

В рекомендації МСЕ-Т.1540 *затримка* є основним параметром, що характеризує доставку пакетів ІР-мережі, і виражається через параметр затримки IPTD (IP packet transfer delay), що визначається як час доставки пакету між джерелом та отримувачем для всіх пакетів як успішних так і пакетів з помилками. Зростання навантаження і зменшення доступних мережевих ресурсів ведуть до зростання черг у вузлах мережі і, як наслідок, до збільшення середньої затримки доставки.

*Параметр  $V_k$*  - варіація затримки ІР-пакета IP packet delay variation (IPDV) між вхідною і вихідною точками мережі є відхиленням значень затримки від заданої величини. Варіація затримки пакету ІР, звана також джитером, проявляється в тому, що регулярно передані пакети прибувають до одержувача в нерегулярні моменти часу. У системах ІР-телефонії це, приміром, веде до спотворень звуку і, в результаті, до того, що мова стає нерозбірливою.

*Коефіцієнт втрат IP-пакетів* IP packet loss ratio (IPLR) визначається як відношення сумарного числа втрачених пакетів до загального числа переданих пакетів в обраному наборі переданих та прийнятих пакетів. Якщо пакети губляться, то при передачі даних можлива їх повторна передача за запитом приймаючої сторони.

*Коефіцієнт перекручених IP-пакетів* IP packet error ratio (IPER) визначається як відношення сумарного числа пакетів, прийнятих з спотвореннями, до суми успішно прийнятих пакетів і пакетів, прийнятих з спотвореннями.

#### **1.4. Методи оцінки якості надання послуг в мережах з неоднорідним вхідним потоком**

Перераховані мережеві характеристики є необхідними для побудови моделі якості послуг в IP-орієнтованих мережах, однак будучи технічними характеристиками, вони не відображають власне якості в розумінні користувача. Для того щоб модель надавала базу для взаємодії зі споживачами послуг, вона повинна також визначати технічні характеристики за допомогою призначених для користувача суб'єктивних оцінок, тобто повинна бути клієнтоорієнтована.

Для оцінювання якості надання послуг використовують показник оцінювання якості сприйняття послуг QoE (Quality of Experience), який прямо пропорційно залежить від показника якості надання сервісу QoS (Quality of Service). QoE – це суб'єктивна оцінка послуги на прикладному рівні користувачем, який користується послугою. QoS – це набір технологій мережевого та каналного рівнів, використання яких дозволяють ефективніше використовувати ресурси мережі, особливо під час передавання поточкових видів трафіку для забезпечення необхідного достатнього рівня QoE [21].

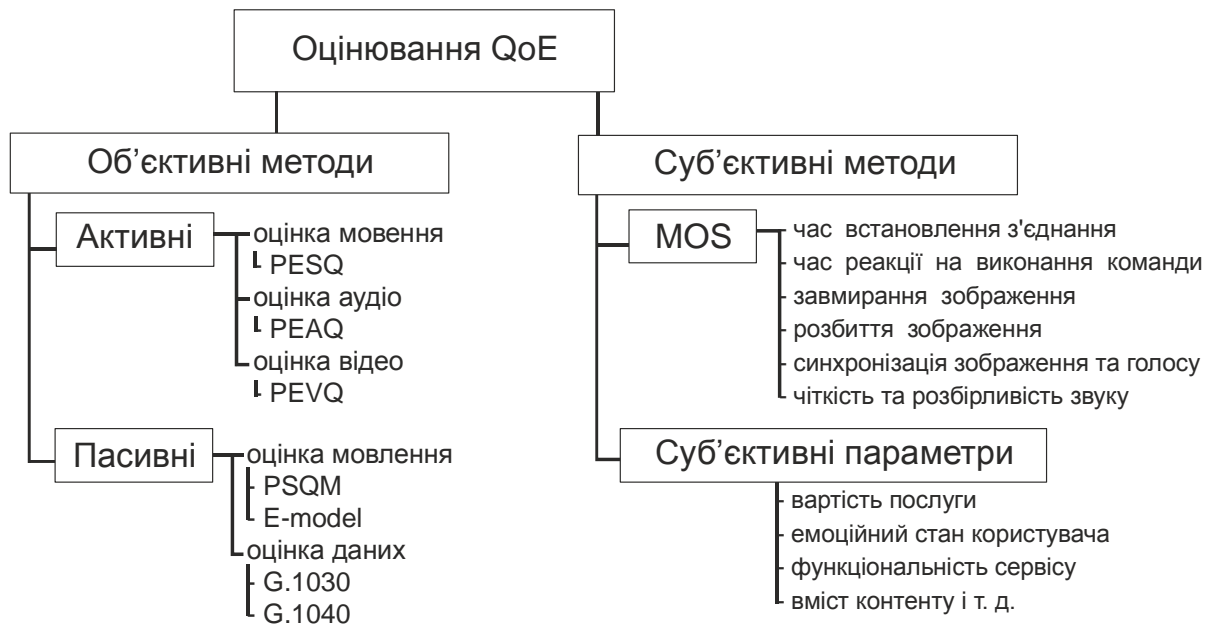


Рис.1.1. Загальна класифікація алгоритмів та методів оцінювання QoE

Об'єктивні методи оцінювання якості дозволяють виключити людину із процедури оцінювання, а отже і легко автоматизуються. Об'єктивні методи поділяються на активні та пасивні. В активних методах оцінювання якості здійснюється шляхом порівняння еталонної послідовності (оригіналу) із послідовністю, яка була викривлена під час передавання по мережі.

До активних методів належать [24]:

- рекомендація ITU-T P.862 – PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality) – оцінка сприйняття якості передавання мовлення.
- рекомендація ITU-T BS.1387 – PEAQ (Perceptual Evaluation of Audio Quality) – оцінка сприйняття якості передавання аудіо.
- рекомендація ITU-T J.247 – PEVQ (Perceptual Evaluation of Video Quality) – оцінка сприйняття якості передавання відео.

До пасивних методів належать:

- рекомендація ITU-T P.563 – PSQM (Perceptual Speech Quality Measurement) алгоритм пасивного моніторингу для оцінки якості мовного зв'язку

- рекомендація ITU-T G.107 E-model оцінює якість мовного зв'язку за допомогою R-фактора.
- рекомендації ITU-T G.1030 G.1040 оцінювання якості передавання даних.

Найпростішим варіантом оцінки параметра QoE може слугувати оцінка MOS. Ця оцінка є усередненим значенням оцінок кількох спостережень, отриманих на основі використання методики ITU-T з використанням п'ятибальної системи. Для оцінки QoE оцінюють такі параметри: час встановлення з'єднання; час реакції на виконання команди; завмирання зображення; розбиття зображення; синхронізацію зображення та голосу; чіткість та розбірливість звуку. Проте модель MOS не враховує ряд явищ, типових для пакетних мереж, що впливають на якість послуги. У моделі MOS відсутня можливість кількісно врахувати вплив факторів на якість мовлення. Крім того, модель MOS представляє оцінку якості в однонаправленому з'єднанні, а не в двох напрямках реального з'єднання. Все це вимагало розробки нових моделей та методів оцінки якості передавання даних, що враховують особливості пакетних мереж. Важливим фактором також є те, що різний тип трафіку по-різному впливає на уявлення абонента про якість наданої послуги доступу в мережу Інтернет, і тому задача визначення та управління різних типів трафіку з позиції їх впливу на враження абонента є актуальною і пріоритетним завданням для операторів телекомунікаційних мереж [22,23].

Вимірювання трафіку IPTV, як і всього трафіку відеопотоків, показують, що він має тенденцію до експоненціального зростання і починає конкурувати з трафіком від традиційних додатків в IP- мережах в боротьбі за мережеві ресурси. Довгий час в ролі основних методів оцінки якості IPTV розглядалися тільки суб'єктивні методи оцінки якості передачі відео, проте, їх широке використання в процесі експлуатації послуг IPTV не представляється можливим на увазі складності проведення тестів (необхідність постійно

утримувати групу або групи експертів). Тому останнім часом великої популярності набули методи об'єктивної оцінки, які ґрунтуються на зборі та аналізі мережевих характеристик. Але і їх не можна назвати універсальними і здатними точно оцінити з якою якістю передається відео, оскільки більшість таких методів не враховує характеристик відеопослуг. Тому сьогодні існує досить велика кількість різноманітних методів оцінки якості IPTV як суб'єктивних, так і об'єктивних які потребують вдосконалення [25-32].

### **1.5 Аналіз існуючих підходів до вирішення задач управління та забезпечення якості надання послуг в IP-орієнтованих мережах**

Ефективність мультисервісних телекомунікаційних мереж, що тісно пов'язана з наданням пакету сервісів із гарантованою якістю, багато в чому визначається складом і результатом вирішення задач мережного управління [35]. Метою мережного управління це забезпечення заданих параметрів якості обслуговування (Quality of service, QoS). Особливу роль в процесі управління мережними ресурсами повинні виконуватись на рівні транспорту та доступу, оскільки саме їх ефективне управління дасть змогу забезпечити гарантовану якість обслуговування та підвищення продуктивності мультисервісних телекомунікаційних мереж в цілому на підставі [36-39]:

- забезпечення високого рівня стійкості мережі до відмов;
- реорганізації доступу до використання та збалансованого завантаження доступних мережних ресурсів;
- автоматизованого контролю параметрів трафіка користувачів у відповідності до укладеної умови щодо якості обслуговування (Service Level Agreement, SLA);
- раціональної організації та адаптивної зміни стратегій маршрутизації трафіка;

- реконфігурації режимів роботи мережного обладнання, в тому числі настроювання механізмів пріоритетної обробки пакетів на всіх або частині мережних вузлів.

На сьогоднішній день вже визначені деякі сервісні моделі QoS, а саме, модель кращої можливості Best Effort, модель інтегрованих сервісів Integrated service і диференційованого обслуговування Differentiated service.

Модель кращої можливості характеризується без виділення окремих класів трафіку та використанням всіх доступних ресурсів. У даній моделі вважається, що оптимальним рішенням забезпечення якості обслуговування вважається збільшення пропускної здатності [9]. Однак, деякі типи трафіку, такі як голосовий трафік, мають дуже високу чутливість до затримок пакетів і варіації швидкості їх проходження. Модель кращої можливості навіть при наявності великих резервів допускає виникнення перегрузок в разі різких сплесків трафіку.

Модель інтегрованих сервісів забезпечує наскрізну (End-to-End) якість обслуговування, гарантовану необхідну пропускну здатність. В якості сигнального протоколу, що використовується для передачі вимог наскрізного обслуговування, був запропонований протокол резервування ресурсів (ResourceReservationProtocol- RSVP). Модель IntServ вимагає забезпечення гарантованої якості обслуговування для кожного окремого потоку трафіку в масштабах Internet [40]. З огляду на той факт, що на сьогодні в кожен момент часу в Internet існують тисячі потоків трафіку, обсяг інформації, який повинні підтримувати маршрутизатори, може бути вкрай великим. Це означає наявність практично неминучих проблем, пов'язаних з масштабуванням мережі, оскільки обсяг переданої інформації, який слід підтримувати маршрутизаторам, збільшується пропорційно зростанню числа потоків трафіку. Незважаючи на можливості протоколів групи IntServ в плані забезпечення необхідних показників QoS, реалізація і розгортання методів інтегрованого обслуговування



пов'язані з певними труднощами, особливо в територіально розподілених мережах.

Модель диференційованого обслуговування забезпечує QoS на основі розподілу ресурсів в ядрі мережі і певних класифікаторів та обмежень на кордоні мережі, комбінованих з метою передавання необхідних послуг. У цій моделі вводиться поділ трафіку по класах, для кожного з яких визначається свій рівень QoS. DiffServ є яскравим прикладом «розумного» управління пріоритетом трафіка [7]. Модель диференційованих послуг є логічним продовженням робіт IETF над архітектурою IntServ. DiffServ визначає вимоги для передачі пакетів, такі як пропускна здатність, затримка, тремтіння, а також рівень втрати пакетів в одному напрямку при передачі вздовж мережевого маршруту без гарантування QoS.[41-44]

В ідеалі мережа повинна гарантувати особливі параметри якості обслуговування, сформульовані для кожної окремої послуги. Однак, із зрозумілих причин, існуючі та розроблювані механізми QoS обмежуються розв'язанням більш простого завдання – гарантування певних усереднених вимог, заданих для основних типів сервісів. Механізми підтримки якості обслуговування самі по собі не створюють пропускної здатності. Мережа не може дати більш того, що має. Отже, фактична пропускна здатність каналів зв'язку і транзитного комунікаційного устаткування – це ресурси мережі, що є відправною точкою для роботи механізмів QoS. Механізми QoS тільки керують розподілом наявної пропускної здатності відповідно до вимог послуг і налаштувань мережі. Найочевидніший спосіб перерозподілу пропускної здатності мережі – керування чергами пакетів. Оскільки дані, якими обмінюються два кінцевих вузли, проходять через деяку кількість проміжних мережних пристроїв, а саме: концентратори, комутатори і маршрутизатори, то підтримка QoS потребує взаємодії усіх мережних елементів на шляху з "кінця-в-кінець" ("end-to-end"). Треба чітко розуміти, що підтримка QoS тільки в

одному мережному пристрої, нехай навіть і магістральному, може лише незначно поліпшити якість обслуговування або ж зовсім не вплинути на параметри QoS.

Задача ефективного розподілу ресурсів виникає в процесі аналізу основних показників, що характеризують територіально розподілену інформаційно-телекомунікаційну мережу [45]. До даних показників належать:

- продуктивність системи;
- ємність пам'яті системи.

При формулюванні будь-якої задачі [46], необхідно зіставляти продуктивність доступної інформаційно-телекомунікаційної системи з необхідними витратами часу для вирішення даної задачі або часом займання каналного ресурсу. Істотний обмежуючий фактор – тривалість, протягом якої можна використовувати мережні ресурси для вирішення даної задачі, тобто той реальний час, у межах якого доцільне отримання результатів з метою їхнього використання. Тому для всіх типів систем при вирішенні функціональних задач і застосовуванні методів ефективно організації інформаційно-телекомунікаційного процесу актуальною є проблема розподілу обмеженої продуктивності системи.

Інший найважливіший показник розв'язування задач інформаційно-телекомунікаційною системою – ємність пам'яті для збереження інформаційних ресурсів, сервісів, що надаються в мультисервісній телекомунікаційній мережі [47]. На затримку потоку перед обробкою завдань значною мірою впливають тип пам'яті і метод її використання для збереження інформації. У сучасних обчислювальних системах ємність зовнішньої пам'яті принципово можна збільшувати майже необмежено. Однак витрати часу на пошук інформації на мережевих вузлах інформаційно-телекомунікаційної мережі та передача її на термінальний пристрій користувача мають суттєві технічні обмеження, потребують визначення доцільної ємності

використовуваної пам'яті інформаційно - обчислювальної системи. Наявність різновидів пам'яті, що значно розрізняються за швидкістю і вартістю збереження одиниці інформації, дає можливість застосовувати в інформаційно-обчислювальних системах багаторівневі системи пам'яті [48]. Кожен наступний рівень пам'яті характеризує зниження швидкодії і збільшення можливого обсягу збережених даних [49]. Завдання полягає у визначенні ємності пам'яті кожного рівня, що забезпечує збереження заданого обсягу інформації, якщо час звертання до будь-яких даних мінімальний і ємність всієї пам'яті є обмеженою. Характеристики пам'яті безпосередньо впливають на продуктивність інформаційно-телекомунікаційної системи, і їх доводиться аналізувати одночасно. Оскільки буферизація відбувається на кількох рівнях, то відповідно кожен рівень буферизації буде певним чином впливати на затримки та втрати пакетів [50]. Взагалі, в реальному часі продуктивність інформаційно-телекомунікаційної системи – більш критичний параметр, ніж ємність пам'яті.

Методи і засоби розподілу інформаційних ресурсів можна класифікувати за ступенем невизначеності апріорної інформації щодо основних динамічних характеристик надходження і обслуговування потоків. Розглянемо їх:

Методи розподілу ресурсів першого типу характеризуються найбільш повною апріорною інформацією про моменти надходження даних, тривалість їх обробки, ємність пам'яті, необхідна для збереження вихідних пакетів. У цьому разі достовірна інформація дає змогу скласти план послідовності використання основних ресурсів інформаційно-телекомунікаційної системи на тривалий інтервал часу. Витрати на розподіл ресурсів є однократними і можуть бути зроблені поза її оперативним функціонуванням [51].

У методах розподілу ресурсів другого типу використовуються статистичні характеристики процесу надходження пакетів і ресурсів для їхньої реалізації. Це дає змогу апріорно класифікувати пакети послуг на кілька груп з істотно відмінними статистичними параметрами. Кожну із груп пакетів послуг можна

описати набором параметрів і їх статистичних розподілів (або моментів розподілів). Такі характеристики досить повно відображають динаміку надходження пакетів і потребу в ресурсах інформаційно-телекомунікаційної системи для виконання завдань [52].

Методи розподілу ресурсів третього типу використовуються за відсутності параметра, що дозволяє апріорі класифікувати пакети і ресурси інформаційно-телекомунікаційної системи з метою їхньої реалізації. При цьому вважаються відомими узагальнені середні характеристики всієї сукупності пакетів, які надходять, і необхідні для їхньої реалізації ресурси системи. Відсутність параметрів, придатних для класифікації та ранжирування послуг призводить до того, що ресурси розподіляються або зовсім випадково, або виділяються в міру надходження пакетів з урахуванням оперативних оцінок щодо потрібних ресурсів. Такі оцінки дають змогу перерозподіляти ресурси на обробку пакетів, що надійшли, і, зокрема, реалізовувати обробку в першу чергу тих, які вимагають мінімальної ємності пам'яті і в водночас максимальної продуктивності системи [54].

Розглянемо параметри, які підлягають експериментальному та теоретичному оцінюванню при розподілі ресурсів у інформаційно-телекомунікаційній мультисервісній системі.

1. Перший параметр – це потоки заявок на надання груп послуг. У залежності від типів джерел повідомлень-заявок і призначення інформаційно-телекомунікаційної системи потоки можна апроксимувати різними розподілами [55-57]. Вони оцінюються або шляхом експериментальних досліджень реальних потоків, або в процесі аналізу алгоритмів функціонування джерел повідомлень. У будь-якому випадку класифікація потоків при аналізі даної системи повинна забезпечувати виділення найбільш типових ситуацій, достатньо помітно відмінних як методами, так і характеристиками розподілу ресурсів. Найбільш частими є випадки, коли кілька джерел повідомлень

функціонують стаціонарно і незалежно від виконання викликаних послуг. Сумарний потік у цьому разі складається з  $n$  частинних потоків, кожний з яких характеризується власними параметрами і розподілом. Для простоти передбачимо, що розподіли інтервалів часу для кожного із частинних потоків однакові. Основними характеристиками є інтенсивність  $\lambda_i$  кожного  $i$ -го потоку і сумарна інтенсивність усіх потоків

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \lambda_i.$$

Потоки повідомлень від зовнішніх абонентів у першому наближенні можна вважати незалежними та адитивними.

2. Другий параметр – тривалість обробки пакетів. Він залежить від швидкості передачі інформації та типу використовуваної послуги. Швидкість передачі інформації залежить від каналів передачі та продуктивності мережевих пристроїв [58-60]. Розрізняють такі типи послуг, що обробляють пакети, які надходять до інформаційно-телекомунікаційної системи:

*Перший тип послуг* (рис. 1.2). Для кожного визначеного вхідного пакету, якщо відсутні збої в апаратурі, всі дані, накопичені в пам'яті ЕОМ, будемо вважати фіксованими. Існує строго визначена послідовність виконання операцій ЕОМ, що приводить до результуючого значення. Отже, тривалість обробки таких даних можна визначити однозначно. Тобто, при передаванні пакетів через встановлений шлях, мережеві пристрої обслуговують пакети з однаковою тривалістю.

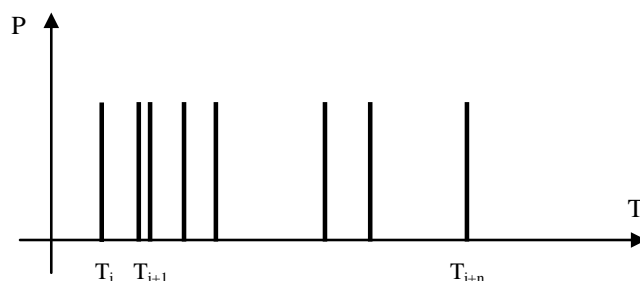


Рис. 1.2. Тривалість оброблення пакетів послуг першого типу в мережевих пристроях

Тривалість обробки повідомлень на цьому маршруті для  $i$ -го потоку можна розглядати як середню тривалість її виконання на одному вузлі з відносною частотою появи. Такий тип послуг характерний для потоків з однаковим розміром пакетів.

*Другий тип послуг.* Унаслідок великої кількості неконтрольованих факторів іноді неможливо класифікувати тривалості реалізації заявок різних типів за деякими апріорними ознаками викликаних сервісів. Інакше кажучи, дисперсія тривалості виконання пакетів виявляється настільки великою, що їхня наявна класифікація не дозволяє віднести до кожного типу заявок середнє значення тривалості  $T_i$ , яке достатньо відрізняється від тривалості виконання заявок інших типів  $T_{i+n}$ . У цьому випадку будемо вважати відомою тільки сумарну середню інтенсивність виконання всієї сукупності пакетів послуг без класифікації їх за будь-якими ознаками. Такий тип послуг характерний для потоків з різними розмірами пакетів (рис.1.3).

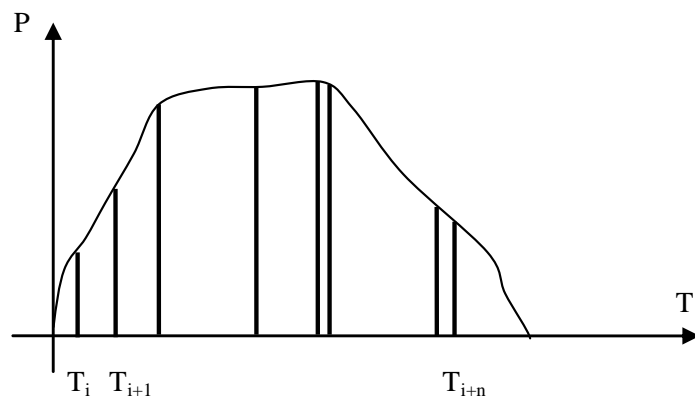


Рис. 1.3. Тривалість оброблення пакетів послуг другого типу в мережевих пристроях

Інтегральний розподіл тривалостей обслуговування при цьому апроксимується досить простим розподілом. Найбільш адекватним розподілом обслуговування пакетів в маршрутизаторі є нормальним (Гауса) – і це достатньо добре підтверджується експериментальними дослідженнями

реальних тривалостей виконання великих сукупностей задач пов'язаних з передаванням потоків. В роботі [61] запропоновано метод, який дає змогу визначити тривалість обслуговування пакетів в маршрутизаторах мультисервісної мережі при передаванні реальних потоків даних в режимі реального часу спостереження. На рисунку 1.4 показано порівняння густини розподілу ймовірностей тривалості оброблення пакетів апаратним CISCO 2800 та розробленим програмним маршрутизатором. Як бачимо найбільш підходящим є нормальний розподілом обслуговування пакетів у мережевих пристроях.

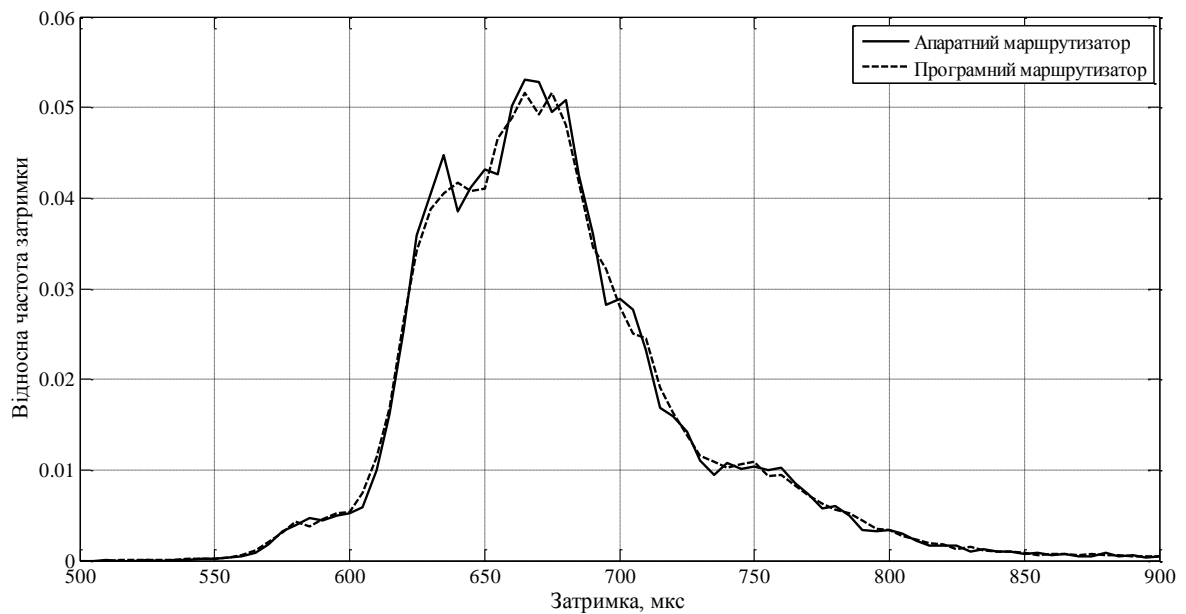


Рис.1.4. Порівняння густини розподілу ймовірностей тривалості оброблення пакетів апаратним та програмним маршрутизатором

3. Третім параметром, що визначає використання продуктивності мультисервісної телекомунікаційної мережі, є її завантаження – відношення значень інтенсивностей надходження пакетів і їхнього обслуговування [62-68]. В разі надходження пакетів, що допускають апріорну селекцію за типами, завантаження буде таким:

$$\rho = \sum_{i=1}^n \rho_i = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot T_i \quad (1.1)$$

де  $\mu_i$  – інтенсивність обслуговування для  $i$ -го потоку;  $T_i$  – тривалість обробки пакету для  $i$ -го потоку.

Якщо інтенсивність надходження пакетів перевищує інтенсивність обслуговування і до того ж не вживаються заходи щодо усунення перевантаження, тобто відкидання пакетів, то вони врешті-решт заповнять усю пам'ять інформаційно-телекомунікаційної системи. Як найбільш раціональну величину завантаження системи доцільно розглянути  $\rho = 0,9 \dots 0,95$ , коли забезпечується достатньо повне використання продуктивності системи, а тривалість очікування, довжина черги пакетів і ймовірність втрат ще не дуже великі.

4. Четвертим параметром є пам'ять. Загальний розподіл ОП інформаційно-телекомунікаційної системи ділиться на зони різного функціонального призначення. Залежно від призначення зон, ємність кожної з них може бути виражена у різних одиницях. Однак при спільному розподілі всіх ресурсів ОП всі характеристики зводять до кількості байтів. Розглянемо окремо основні зони:

*Буферні накопичувачі.* В процесі аналізу роботи системи за різними дисциплінами обслуговування пакетів ємність буферних накопичувачів  $\tau$  зручно вимірювати не кількістю комірок пам'яті або байтів, а кількістю збережених пакетів:

Загальна кількість  $\tau$  комірок буферної зони пам'яті

Кількість комірок для запам'ятовування одного повідомлення чи заявки

$$\tau = \frac{M}{m} \quad (1.2)$$

де  $M$  - загальна кількість комірок буферної зони пам'яті,  $m$  - кількість комірок для запам'ятовування одного пакету



Для більшості систем реального часу ємність буферної пам'яті обмежується кількістю пакетів  $\tau \approx 50 \dots 100 \dots$ . Якщо ємність буферних накопичувачів достатньо велика, стає можливим настільки тривале збереження пакетів, що обробка їх може втрачати сенс внаслідок надходження більш свіжої інформації того ж типу пакетів послуг, які довго очікують, і як наслідок можуть практично повністю втратити свою цінність при запиті користувача на послугу мережі [69-77].

*Пам'ять для взаємодії із зовнішніми накопичувачами.* Обмін із зовнішньою пам'яттю зазвичай відбувається масивами визначеного фіксованого обсягу, які називають сторінками і складають 1024 елементів-слів кожна. Пам'ять, у якій зберігаються масиви даних, можна розділити на резидентну та обмінну. У резидентній пам'яті розміщують дані, які найбільш часто викликаються і використовуються. Дані переписують в обмінну пам'ять програми із зовнішньої пам'яті в міру необхідності для обробки відповідних пакетів. Співвідношення обсягів цих масивів залежить від ряду характеристик даних, а також від технічних параметрів пам'яті інформаційно-телекомунікаційної системи. За умови збільшення ємності оперативної пам'яті для даних інтенсивність обміну з зовнішньою пам'яттю скорочується, і зрештою може відпасти необхідність у зовнішній пам'яті.

*Пам'ять для міжмашинного обміну.* В одно-процесорних системах за умови виконання процесу програми технічно можливе вільне звертання до будь-якої комірки оперативної пам'яті. Багатомашинні і багатопроцесорні обчислювальні системи використовують певну частку спільних даних. Інформація, збережена в якомусь блоці пам'яті, може одночасно знадобитися двом чи більшій кількості процесорів або машин і створити конфліктну ситуацію. Звертання до такого блоку кількох процесорів або машин слід виконувати тільки послідовно та відповідно до певної дисципліни, що призводить до затримок під час звертання. За умови одночасного звертання до

оперативної пам'яті з метою зниження ймовірності конфліктів у ній виділяються зони і блоки для збереження інформації, яка використовується тільки одним процесором, а також зони і блоки, доступні кільком процесорам чи машинам (між машинного обміну). Чим більше ємність зон і кількість незалежних блоків пам'яті, що використовуються кожним процесором автономно, без втручання інших процесорів чи машин, тим повніше можна використовувати продуктивність кожного процесора.

Застосування тих чи інших методів розподілу ресурсів залежить, у першу чергу, від динамічних характеристик використання інформаційно-телекомунікаційного середовища і від ступеня зв'язку їхнього функціонування із реальним часом. Розрізняють такі методи розподілу ресурсів інформаційно-телекомунікаційної системи:

*Статичні методи* – для них є характерною можливістю великих витрат продуктивності і пам'яті мережевих вузлів інформаційної системи на оптимізацію розподілу ресурсів, тому що оптимізація здійснюється однократно до початку робочого функціонування цих ресурсів. При цьому передбачено, що апріорні дані про параметри, які враховуються при оптимізації розподілу ресурсів системи, не змінюються протягом усього часу її функціонування.

Статичний розподіл має бути зведений до вирішення екстремальної задачі методами математичного програмування з відповідними обмеженнями. Допустимість великих витрат на розподіл і висока достовірність апріорної інформації дають змогу застосовувати точні методи оптимізації і одержувати розподіли ресурсів, що збігаються з оптимальними або дуже близькими до них. Подібні статичні задачі зустрічаються при розподілі ємностей багаторівневої пам'яті, при упорядкуванні послідовності розв'язання задач для однотипного регулярного надходження всіх пакетів до одного чи кількох процесорів і в деяких інших випадках.

*Динамічні методи* – реалізуються в процесі розв'язування основних функціональних задач розглядуваної інформаційно - телекомунікаційної системи. Це пов'язано з пам'яттю і продуктивністю тієї ж системи, яка потім застосовує результати розподілу. Тому припустимі витрати ресурсів інформаційно системи на розподіл у цьому разі дуже обмежені і не повинні перевищувати економії ресурсів, яка отримується в результаті застосування відповідного методу. Чим достовірніше апріорна інформація, яку використовують при розподілі, і чим довше вона зберігає своє значення, тим більш точним може бути розподіл ресурсів системи і тим довше можна використовувати результати оптимізації. У тих випадках, коли апріорно відомі основні параметри заявок та способи їхнього обслуговування і гарантовано, що протягом деякого часу не буде зміни цих параметрів, розподіл ресурсів може відбуватись однократно у даний інтервал часу. Відповідно разові витрати на розподіл можуть бути підвищені і його доцільно здійснювати із застосуванням більш точних методів [90-92].

У ряді інформаційно-телекомунікаційних систем склад задач, що виконуються, і тривалість їхнього виконання можна вважати досить відомими і незалежними від випадкових факторів. Це дає змогу розглядати розподіл ресурсів як строго детерміновану задачу, яку можна сформулювати в поняттях теорії розкладів і вирішуватися методами цієї теорії за наявності деяких припущень:

- усі роботи, які підлягають виконанню, цілком визначені і відомі, тобто відомі послідовність значень часу надходження пакетів на виконання і тривалість виконання кожної групи програм, що викликаються;
- усі задані роботи (задачі, які викликаються) мають бути цілком виконані, тобто не повинно бути втрат пакетів через обмежену

буферну пам'ять чи інші фактори, зокрема через несправність машин;

- через відсутність проріджування потоку пакетів при необмеженій буферній пам'яті в одно процесорному пристрої необхідно обмежити сумарне завантаження:  $\rho < 1$ ;
- один мережевий пристрій може одночасно вирішувати тільки одну задачу, переривання не допускається до повного завершення обробки пакету.

При вирішенні завдання розробки методів управління трафіком в мультисервісних мережах зв'язку варто відзначити роботи Лемешка О.В., Петрова В.В., Цибакова Б.С., Іванова В.В., Ложковський А.Г., Сидорової О.І. і ін. [78-81], присвячені дослідженням моделей трафіку і методам його управління в сучасних телекомунікаційних системах. Особливий інтерес викликають дослідження Петрова В.В., присвячені аналізу структури телетрафіку і алгоритмів забезпечення якості обслуговування при впливі ефекту самоподібності. У даній роботі представлені можливі структурні схеми систем динамічного розподілу пропускної спроможності з прогнозуванням і без нього. Показано, що схема, що не використовує прогнозування, вносить затримки і тому такий варіант не ефективний в системах передавання інформації реального часу. Замість схем зі статичним способом розподілу пропускної здатності для пачкового трафіку пропонується використовувати схеми з прогнозуванням. Показаний можливий варіант застосування такої схеми в реальній мережі. На основі алгоритмів полісінга і шейпінгу розроблений новий алгоритм забезпечення якості обслуговування, який реалізує принцип динамічного розподілу пропускної здатності за допомогою прогнозування і призначений для роботи з самоподібним трафіком. Показано, що метод динамічного розподілу пропускної здатності каналу, заснований на прогнозуванні, дає відчутний вииграш у зменшенні втрат і збільшенні

використання каналу при передаванні потоків в порівнянні зі статичним способом розподілу при тому ж самому середньому значенні пропускної здатності.

В основному всі роботи, які присвячені методам оптимізації використання мережевих ресурсів, здебільшого, носять теоретичний характер, пов'язаний зі створенням нових алгоритмів управління, що робить їх важко реалізованими в реальній мережі оператора зв'язку. Іншим недоліком існуючих методів є використання комплексного підходу до управління інформаційними потоками без урахування особливостей кожного типу трафіку, що генерується різними мережевими додатками. Підвищення якості обслуговування інформаційних потоків також частково досягають шляхом вдосконалення апаратної складової – використанням буферної сортувальної пам'яті чи сортувальних мереж [82]. Програмний шлях покращення показників QoS полягає в використанні комбінацій базових дисциплін обслуговування черг на мережевому рівні [83] та поліпшенні алгоритму керування інформаційними потоками на базі WRR (Weighted Round Robin - зважений механізм кругового обслуговування) у вузлах телекомунікаційних мереж [53, 84-86].

Існуючі технічні методи управління трафіком в мережевих пристроях (шейпінг і полісінг) виявляються малоефективні при обробленні трафіку. Зокрема, для зменшення втрат алгоритм полісінг вимагає збільшення пропускної здатності каналу, в результаті чого зменшується його використання (знижується утилізація), а алгоритм шейпінгу вносить затримки, що може бути неприйнятним при обробленні потоків реального часу.

В роботі [87] була запропонована стохастична параметризована модель трафіка на основі раніше відомої стохастичної кривої. Запропоновано метод, який дозволяє отримати оптимальні (за коефіцієнтом використання мережі) параметри цієї моделі при відомих вимогах до якості обслуговування і властивостей мультисервісної мережі. Перевага розробленої моделі в

порівнянні з традиційними підтверджується проведеними розрахунками та моделюванням з використанням реального мультимедійного трафіка. В роботі [88] розглядаються методи оцінки якості обслуговування в мультисервісних мережах передачі даних зі змішаним типом трафіка. Аналізуються базові фактори, що впливають на якість обслуговування: затримки і втрати. Дані фактори досліджуються в зв'язку з різними типами потоків даних: еластичних, нееластичних. В інших дослідженнях [89], запропоновано механізм пріоритезації трафіка і подальшої його обробки в вузлах мережі. Критерієм оптимізації є зменшення затримки пакета в буфері пристрою [93-96].

Основним показником якості розподілу ресурсів є еквівалентна зміна продуктивності інформаційно-обчислювальної системи при різних дисциплінах у порівнянні з найпростішими еталонними дисциплінами розподілу ресурсів. Розглянемо характеристики еталонних дисциплін:

*Дисципліни без пріоритетів.* За відсутності апріорної інформації про характеристики пакетів і їхнє обслуговування немає причин для переваги яких-небудь з них. Порядок обслуговування в такому разі може бути випадковим або доведеться враховувати послідовність надходження пакетів. Найпростіші варіанти – це обслуговування за принципом «першим прийшов – першим вийшов» FIFO. В такому випадку коли пакети обслуговуються цілком, без переривань, за рядом їхнього надходження, причому пакет, що поступив у момент простою обслуговуючого пристрою, відразу ж починає обслуговуватись [97-99].

*Пріоритетні дисципліни.* Якщо характеристики обслуговування пакетів різні в залежності від типу чи пакетів на групі, відповідно до ступеня їхньої важливості, здійснюється за допомогою пріоритетних дисциплін обслуговування, і відповідна система масового обслуговування називається системою із пріоритетами. Правило встановлення пріоритетів визначає порядок, у якому будуть обслуговуватись пакети, що очікують. Пріоритетні

дисциплін обслуговування бувають двох типів: з абсолютними і з відносними пріоритетами. Якщо обслуговування поточної заявки переривається в разі надходження заявки з більш високим пріоритетом і остання негайно починає обслуговуватись, то говорять, що це – дисципліна обслуговування з абсолютними пріоритетами. Якщо переривання обслуговування не допускається, то це – дисципліна обслуговування з відносними пріоритетами. Вищеназвані дисципліни найбільшою мірою розрізняються використанням апріорних відомостей щодо характеристик обслуговування оброблюваних пакетів, які надійшли [100-102]. Такими даними є середня тривалість обслуговування пакетів відповідного типу і штраф за очікування у черзі.

Найбільш перспективним рішенням щодо підвищення якості обслуговування інформаційних потоків у мультисервісній мережі розглядається у роботі [103]. У якій запропоновано концептуально новий підхід організації декількох віртуальних маршрутизаторів у одному фізичному. Кожен віртуальний маршрутизатор налаштований з різною продуктивністю та призначений для обслуговування послуг з різними вимогами QoS. Проте, недолік даної роботи полягає у тому, що у ній не достатньо обґрунтовано переваги в порівнянні з існуючими механізмами покращення якості обслуговування послуг з використанням пріоритезації. Також не наведено вплив технології віртуалізації на тривалість обслуговування пакетів, оскільки відомо, що при розгортанні віртуальних машин загальні ресурси частково виділяються на гіпервізор, який робитиме значний вплив при обслуговуванні пакетів процесором маршрутизатора. Не розкрито у роботі якими засобами віртуалізації розгортаються віртуальні маршрутизатори, що також є важливим фактором впливу на затримку обслуговування пакетів. Одним із технічних недоліків даного способу є те, що віртуалізація ресурсів маршрутизатора робиться статично, а це в свою чергу може призвести до того, що коли на віртуальний маршрутизатор, який призначений для обслуговування потоків

реального часу, поступить трафік з високою інтенсивністю можуть виникнути значні затримки та втрати пакетів при обмежені кількості виділених ресурсів.

### **1.6. Висновки до 1-го розділу**

1. В роботі проаналізовано основні моделі забезпечення якості обслуговування в мультисервісних телекомунікаційних мережах. Проведено аналіз основних параметрів, що характеризують QoS в IP - мережах, які є базовими при наданні послуг абонентові в мультисервісній мережі та технологій за допомогою яких в сучасних пакетних мережах реалізуються методи забезпечення гарантованої якості обслуговування для передавання мультимедійного трафіку.

2. Проведено аналіз факторів, що визначають ефективність інформаційно-телекомунікаційної мережі і використання мережевих ресурсів, а також застосовуванні для управління телекомунікаційною мережею методи і математичні моделі. Показано, що сучасні методи управління потоками даних, хоча і забезпечують збалансоване навантаження ресурсів мережі, однак не враховують деякі фактори, що обумовлюють флуктуаційний характер мережевого трафіку.

3. Розглянуто основні методи управління розподілом трафіку в мережі і застосовуваних в них моделей забезпечення гарантованої якості обслуговування інформаційних послуг у мультисервісних телекомунікаційних мережах. Показано, що ефективність використання мережевих ресурсів може бути підвищена за рахунок розробки та застосування методів адаптивного управління.



## **РОЗДІЛ 2.**

### **МОДЕЛІ ТА МЕТОД ПОКРАЩЕННЯ ПАРАМЕТРІВ QoS В МУЛЬТИСЕРВІСНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ З УРАХУВАННЯМ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ МЕРЕЖЕВИХ ВУЗЛІВ**

В розділі запропоновано моделі та метод забезпечення заданих значень показників якості обслуговування інформаційного трафіку на основі технології віртуалізації мережевого пристрою та адаптивного управління структурним параметрами вузла. Розроблено модель статичної та динамічної реконфігурації обчислювальних ресурсів мережевого пристрою. Запропоновано аналітичну модель маршрутизатора з віртуалізацією ресурсів та математичне представлення параметрів якості обслуговування потоків в мультисервісній інфраструктурі з віртуалізацією ресурсів. Наведені у розділі результати опубліковано у працях [109,111,113, 116,120,121].

#### **2.1. Модель віртуалізованого пакетного маршрутизатора із статичним та динамічним виділенням обчислювальних ресурсів**

Експоненційне збільшення розміру трафіку при відставанні базової місткості мереж, тобто інтенсивного збільшення мережевих ресурсів (буферного простору в вузлах комутації, пропускної здатності каналів передавання, розрахункових потужностей, часу прийняття керуючих дій), змушує шукати ефективні механізми забезпечення якості обслуговування як комплексного програмно-апаратного рішення в маршрутизаторах та комутаторах.

Дану задачу пропонується вирішити шляхом використання методів віртуалізації ресурсів для розгортання в одному фізичному маршрутизаторі декількох віртуальних, призначених для індивідуальної обробки послуг одного

класу із своїми вимогами до QoS. Основна новизна роботи полягає у розробленні моделі віртуального маршрутизатора, використання яких в мультисервісній інфраструктурі забезпечить ефективний розподіл між різними мережевими потоками та дасть змогу підвищити якість обслуговування потоків реального часу із наданням гарантованого рівня QoS сервісів чутливих до втрат та нечутливих до затримок. Для підтвердження або спрощення гіпотези віртуалізації мережевого пристрою з метою забезпечення гарантованого рівня QoS в роботі необхідно порівняти існуючі технічні рішення при використанні стандартного маршрутизатора та розробленим у роботі прототипу експериментального маршрутизатора, який використовує технологію віртуалізації ресурсів. Перш ніж приступити до створення маршрутизатора з віртуалізацією ресурсів потрібно зрозуміти основні поняття та принципи функціонування існуючих стандартних маршрутизаторів.

Сучасна комутація пакетів використовує високошвидкісні інтерфейси з продуктивністю внутрішньої комутаційної матриці в декілька сотень Гбіт/с [104]. Головними вимогами до комунікаційного обладнання є збільшення пропускної спроможності та поліпшення інших його характеристик і мережі в цілому. Необхідність забезпечення можливості статистичного мультиплексування потоків, що проходять через комутаційні системні модулі, передавання різних видів трафіку з несхожими вимогами до кількісних характеристик функціонування мережі є непростими завданнями. Мережеві пристрої складаються з інтегрованих модулів, які передають потік даних, буферизують, маршрутизують, управляють трафіком.

Маршрутизатор здійснює комутацію інформаційних потоків, з'єднуючи відповідні вхідні та вихідні порти. У найзагальнішому вигляді завдання комутації/маршрутизації - з'єднання кінцевих вузлів через мережу транзитних вузлів - може представлятись послідовністю взаємозв'язаних часткових завдань:

- визначення інформаційних потоків;
- визначення маршрутів передавання потоків в мережі;
- повідомлення про знайдені маршрути вузлам мережі;
- просування – розпізнавання сервісів і локальна комутація на кожному транзитному вузлі;
- мультиплексування і демупльтиплексування потків,
- забезпечення необхідної якості обслуговування (Quality of service, QoS).

Мережеві пристрої отримують повідомлення через один інтерфейс, визначають одержувача по тій чи іншій таблиці і передають його на інший інтерфейс. Одне з основних відмінностей між маршрутизатором і будь-яким іншим комутатором повідомлень полягає в способі побудови таблиць. Маршрутизатор посилають повідомлення мереж, в той час як таблиці мостів і комутаторів містять список адрес підрівні MAC.

Маршрутизатор виконує дві основні функції: перемикання трафіку і обслуговування середовища, в якій він працює. Обидві функції можна реалізувати на одному і тому ж процесорі, але це зовсім не обов'язково. Найчастіше перемикання трафіку здійснює окремий інтерфейсний процесор або процедура обробки переривань ядра, в той час як процес обслуговування середовища виконується в фоновому режимі.

Вирішення завдань QoS знаходиться в наступних областях: класифікація додатків з пріоритезацією та диференціюванням трафіку; його профілювання; обмеження за потребою інтенсивності користувацького трафіку; управління чергами з послідовністю обробки пакетів в мережевих вузлах; маршрутизація [113]. Забезпечення QoS відбувається взаємопов'язано. Вимірювання зазначених параметрів QoS у першому розділі здійснюється на деякому інтервалі часу. Чим він менше, тим жорсткіші вимоги ставляться до мережі, а отже, до всіх її елементів, оскільки забезпечення наскрізної QoS вимагає

взаємодії всіх вузлів на шляху пакетів трафіка й визначається надійністю, функціональністю й продуктивністю "слабкої ланки".

Задача розподілу ресурсів каналів між потоками даних вирішується встановленням порядку обслуговування пакетів і організацією черг. Черги та алгоритми їх обробки управляють перевантаженнями маршрутизатора. Черги - області пам'яті, де групуються однопріоритетні пакети. Передача пакетів з черги здійснюється за алгоритмом її обслуговування. Застосування алгоритмів зводиться до забезпечення найкращого обслуговування високопріоритетного трафіку з гарантуванням низькопріоритетному відповідну уваги.

- FIFO (First In – First Out) є найпростішим механізмом обслуговування, за яким пакети передаються на вихід у порядку, в якому вони надійшли на вхід. Він є алгоритмом за замовчуванням у всіх пристроях з комутацією пакетів. Переваги: простота реалізації та відсутність конфігурування. Недолік: неможливість диференційованої обробки пакетів різних потоків.
- пріоритетне обслуговування (Priority Queuing, PQ); припускає наявність вихідних підчерг з високим, середнім, і низьким пріоритетом обслуговування. У межах черги пакети обробляються за FIFO. Пріоритетне обслуговування черг забезпечує високу якість обслуговування та мінімальний рівень затримок пакетів із черги з найвищим пріоритетом. Недоліки: необхідність ретельного контролю трафіку на етапі доступу в мережу з метою належного надання пріоритету; відсутність верхньої межі для кожного з рівнів пріоритету; високий ризик придушення низькопріоритетних потоків потоками з найвищим пріоритетом.

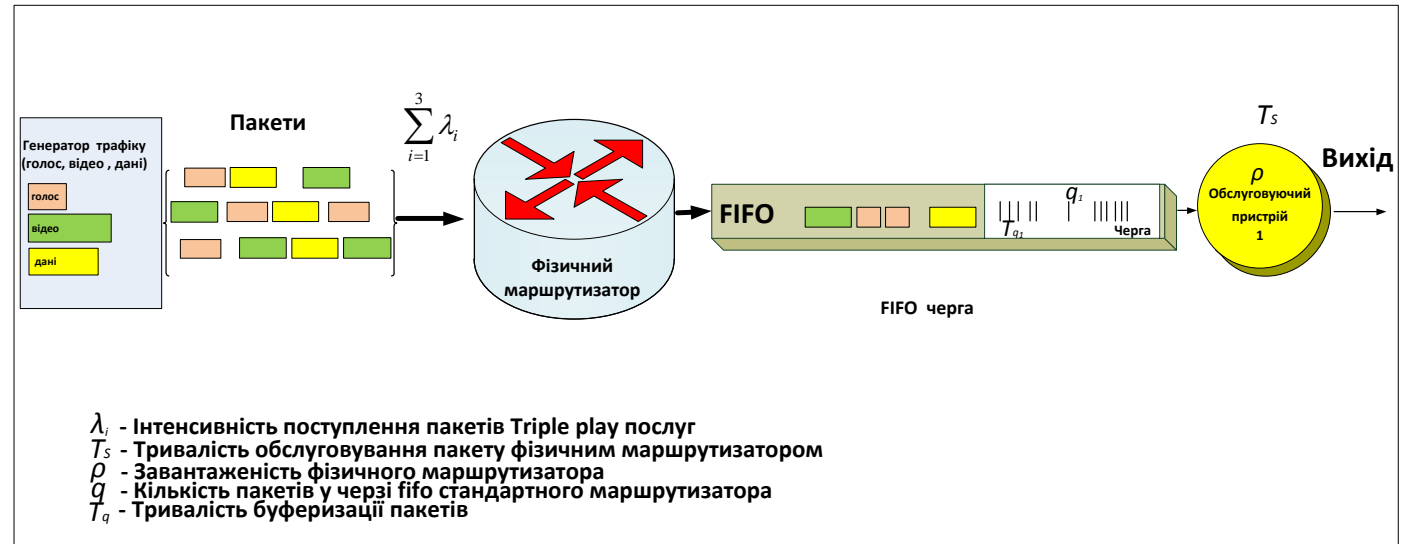
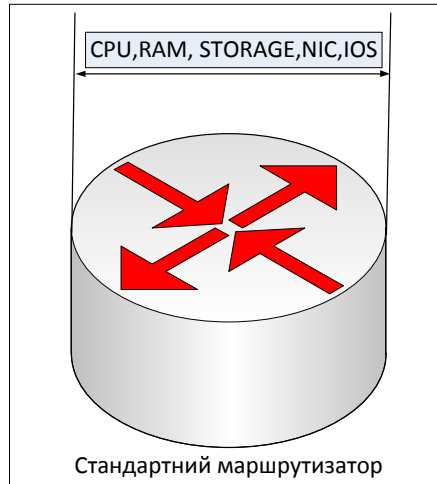


Рис.2.1. Схема моделі пакетного маршрутизатора без пріоритетних черг

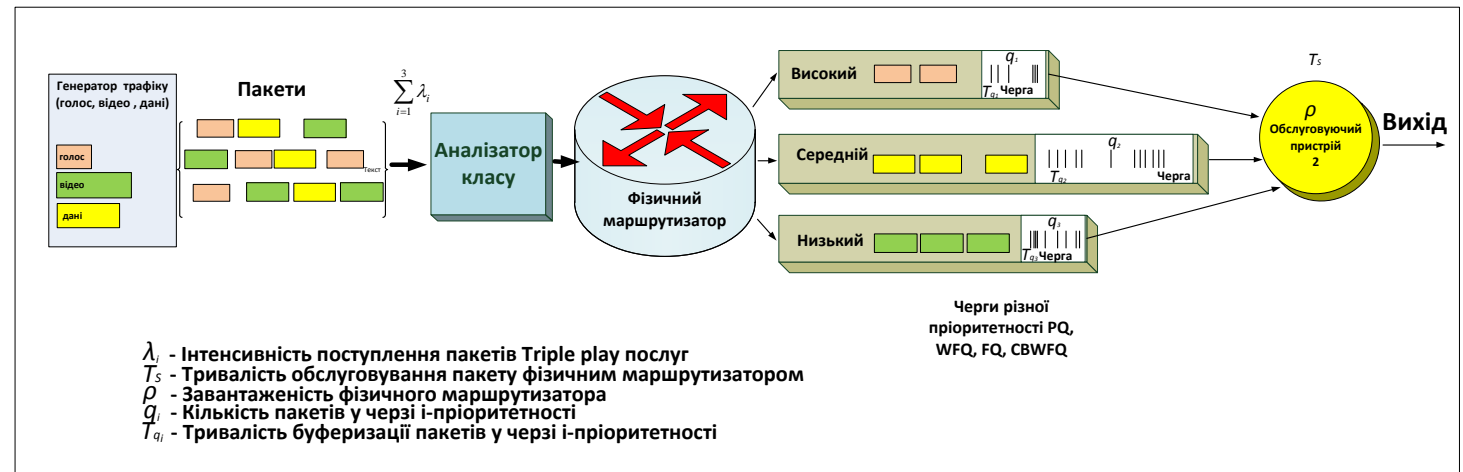
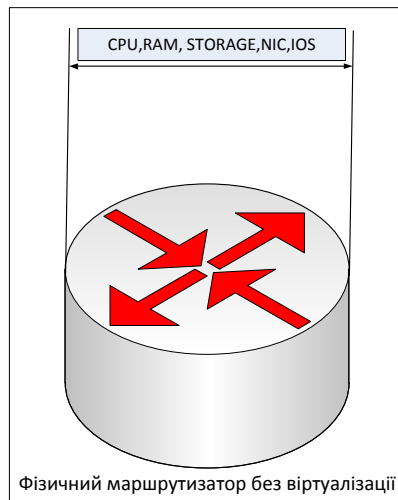


Рис.2.2. Схема моделі пакетного маршрутизатора з пріоритетними чергами

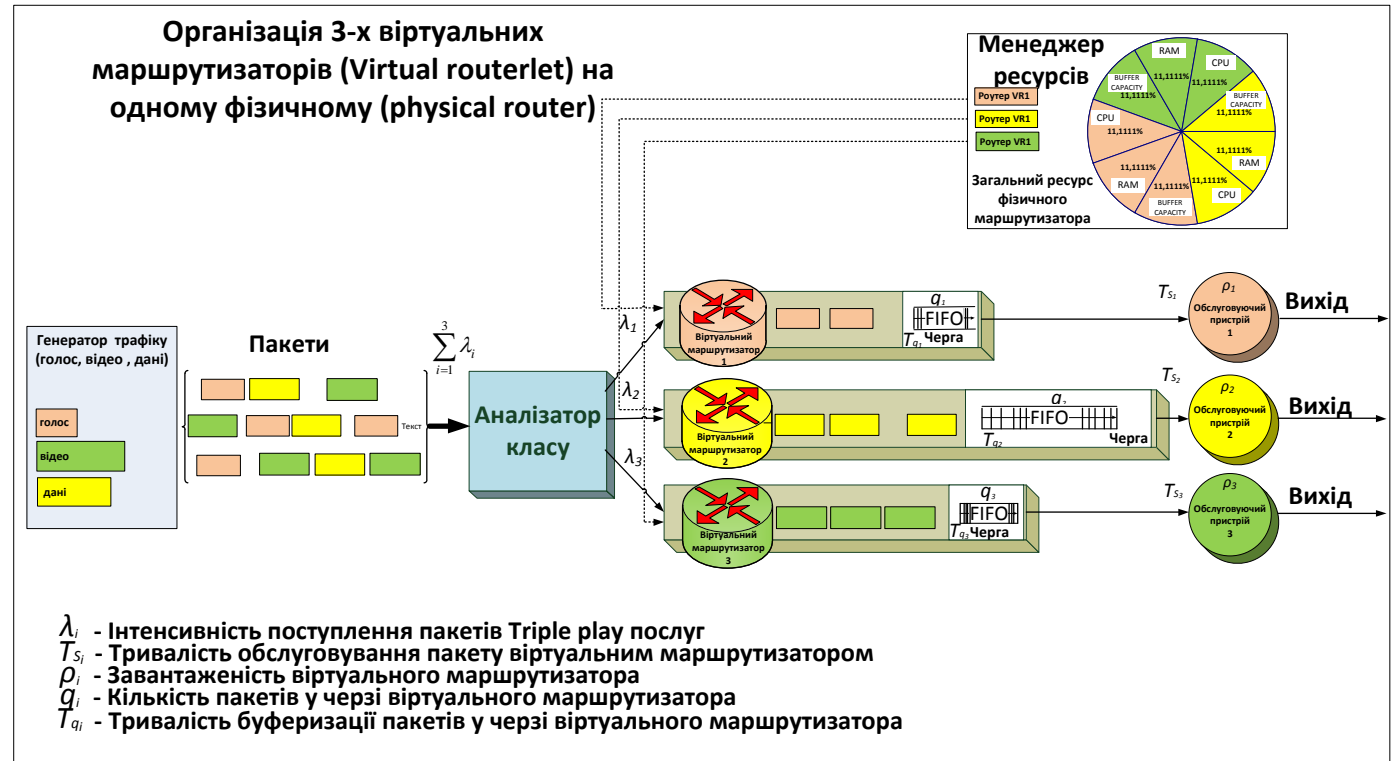
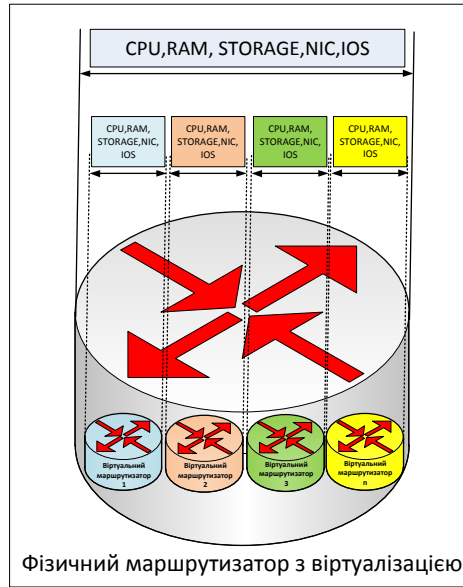


Рис.2.3. Схема моделі віртуалізованого пакетного маршрутизатора із статичним та динамічним виділенням ресурсів

В роботі запропоновано новий підхід до побудови мультисервісної інфраструктури з віртуалізацією маршрутизаторів [116]. Мультисервісна мережа з віртуалізацією – це мережа в якій на одному або декількох мережевих пристроях використовується режим роботи з віртуалізацією. Віртуалізація мережевого пристрою передбачає створення двох або більше віртуальних мережевих машин, які виконують функції маршрутизатора з індивідуальним обслуговуванням потоків. В даному випадку для простоти формалізації моделі віртуального маршрутизатора розглядається передавання трьох типів сервісів так званих послуг Triple play (голос, відео і дані). Відповідно при розробленні структури мережевого пристрою з віртуалізацією, розгорнуто три віртуальні маршрутизатори призначені для індивідуального обслуговування потоків одного типу, забезпечуючи їм необхідний рівень QoS згідно вимог, шляхом виділення фізичних ресурсів апаратного пристрою для конфігурації необхідних продуктивностей віртуальних маршрутизаторів обслуговування потоків( голосу, відео та даних).

На вхід віртуального маршрутизатора поступає агрегований потік пакетів з інтенсивністю  $\Delta = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ . Сумарний потік у цьому разі складається з  $n$  частинних потоків, де  $n=3$  (голос, відео і дані), кожний з яких характеризується власними параметрами і розподілом. Після чого вхідний потік пакетів з сумарною інтенсивністю, поступає на мережевий пристрій обробляться і розділяться на  $N=3$  мережевих віртуальних пристроїв згідно пріоритету поля сервісу Type of Service (ToS), DSCP. Розділення на віртуальні пристрої відбувається блоком аналізатор класу, який працює на основі аналізу IP заголовка і в залежності від вмісту DSCP чи ToS поля зчитуватиме код, який вказуватиме на відповідний тип сервісу та направлятиме їх на обслуговування віртуальними маршрутизаторами класового призначення. Даний принцип розподілу на маршрутизатори є подібним механізму розподілу пакетів на черги

різної пріоритетності системи пріоритетного обслуговування. Тому, технічно при віртуалізації мережевого пристрою, функції блоку класифікації залишаються без змін, направлений лише під інакшу задачу. Тому при порівнянні тривалостей затримки віртуального маршрутизатора із існуючим маршрутизатором за принципом пріоритетного обслуговування, час обробки поля пріоритету сервісу є однаковим та сталим для всіх послуг і є значно менше часу обробки заявки в маршрутизаторі. Таким чином даним часом можна знехтувати (2.1).

$$t_{ToS} \ll T_{вузла}, \quad (2.1)$$

де  $t_{ToS}$ -час затримки пакета на обробку поля пріоритета;

$T_{вузла}$  – час затримки пакета в маршрутизаторі.

Головним чинником по ступеню впливу на виникнення черг, які призводять до важкопрогнозованих затримок буферизації пакетів є *коефіцієнт завантаження віртуального пристрою* – відношення середньої інтенсивності вхідного потоку  $\lambda_i$  до середньої інтенсивності передавання пакетів на вихідний інтерфейс  $\mu_i$ .( в моделі під даним параметром розуміється  $T_{Si}$  - тривалість обслуговування пакету і-го потоку віртуальним маршрутизатором.

Перевагою даної моделі є те, що при використанні блоку менеджера управління ресурсів, є можливість статично та динамічно виділяти обчислювальні ресурси мережевого пристрою для віртуальних маршрутизаторів в залежності від вимог QoS потоку. Під обчислювальними ресурсами пристрою будемо розуміти апаратні ресурси, конфігурація яких суттєво впливає на можливість і продуктивність виконання обробки пакетів віртуальним вузлом. В свою чергу, апаратна конфігурація кожного вузла це об'єм його оперативної пам'яті, тактової частоти процесора та буферної пам'яті. Які виділяються статично та динамічно в залежності від прогнозування вхідного навантаження потоків на вузол, реконфігуруючи продуктивності



віртуальних маршрутизаторів в певні моменти часу, шляхом виділення необхідних їм ресурсів.

Сутність запропонованого способу забезпечення якості обслуговування у вузлах мультисервісної мережі полягає в управлінні обчислювальними ресурсами в залежності від інтенсивності поступлення навантаження пакетів різних пріоритетних класів, а також допустимих вимог щодо якості їх обслуговування.

Для цього в мережевому вузлі необхідно управління, яке буде виконувати такі основні функції:

- Періодичний контроль основних показників якості обслуговування (затримки, втрати пакетів різних пріоритетних класів);
- Автоматичне прийняття рішення на зміну обчислювальних ресурсів віртуальних маршрутизаторів в залежності від вхідного навантаження і відповідних показників якості обслуговування встановленим нормам;

На рис. 2.4 показано принцип управління обчислювальними ресурсами мережевого пристрою на основі залежності середнього часу затримки пакетів від завантаження віртуальних маршрутизаторів при статичному та динамічному виділенні ресурсів.

Вхідний мережевий трафік можна розділити на два типи: чутливий та нечутливий до затримок. Відповідно для простоти формалізації моделі весь трафік розділено на два класи послуг  $K=2$ .

Нехай затримка пакетів першого класу (чутливого до затримок)  $t_1$  в віртуальному маршрутизаторі не повинна перевищити допустиме значення  $t_{\text{дон}1}$ , відповідно запишемо умову дотримання необхідного рівня QoS ( $t_1 \leq t_{\text{дон}1}$ )  
 Затримка пакетів другого класу  $t_2$  (не чутливого до затримок) не повинна перевищувати  $t_{\text{дон}2}$ , в такому разі умова дотримання необхідного рівня QoS у другому віртуальному маршрутизаторі виглядатиме, як ( $t_2 \leq t_{\text{дон}2}$ ).

Тоді в умовах низького навантаження  $(\rho_{i1} \leq \rho'_{vip.1}), (\rho_{i2} \leq \rho'_{vip.2})$  на віртуальні маршрутизатори першого та другого класу в  $i$  - й момент часу при статичному розподілі обчислювальних ресурсів, задовольняються всі вимоги щодо якості обслуговування потоків всіх пріоритетів.

При високому навантаженні  $(\rho'_{vip.1} \leq \rho_{i1} \leq \rho''_{vip.1}), (\rho'_{vip.2} \leq \rho_{i2} \leq \rho''_{vip.2})$  в певні моменти часу виникають ситуації коли  $(t_2 \geq t_{don2})$  та  $(t_1 \geq t_{don1})$ . В такому разі потрібно використовувати динамічний розподіл обчислювальних ресурсів, що дасть змогу збалансувати затримки пакетів двох класів, уникнувши блокування передавання потоків реального часу шляхом реконфігурації продуктивностей віртуальних маршрутизаторів з дотриманням вимог QoS з кінця в кінець двох класів послуг.

На основі отриманих результатів поточного контролю параметрів QoS проводиться перерахунок параметрів обчислювальних ресурсів CPU, RAM, Buffer capacity, мережевого пристрою між класовими віртуальними маршрутизаторами. В результаті при подальшому збільшенні навантаження  $(\rho'_{vip.1} \leq \rho_{i1} \leq \rho''_{vip.1}), (\rho'_{vip.2} \leq \rho_{i2} \leq \rho''_{vip.2})$  на вузол мережі при динамічному розподілі ресурсів в певні моменти часу, середня затримка пакетів послуг реального часу фіксується і відповідає висунутим вимогам  $(t_2 = t_{don2})$  на відміну від статичного розподілу де не дотримуються вимоги по затримці даного потоку. При цьому збільшується затримка пакетів послуг реального часу  $t_1$  проте  $(t_1 \leq t_{don1})$ .

В умовах високого навантаження на мережевий пристрій, коли  $(\rho_{i1} \geq \rho''_{vip.1}), (\rho_{i2} \geq \rho''_{vip.2})$  аналогічно проводиться перерозподіл ресурсів між віртуальними маршрутизаторами класового обслуговування з метою не допустити виходу за межі норм середнього часу перебування пакетів першого класу послуг реального часу  $(t_1 \leq t_{don1})$ , проте в таких умовах зростає затримка

пакетів для послуг не реального часу, не погіршуючи якість сприйняття послуг кінцевими користувачами .

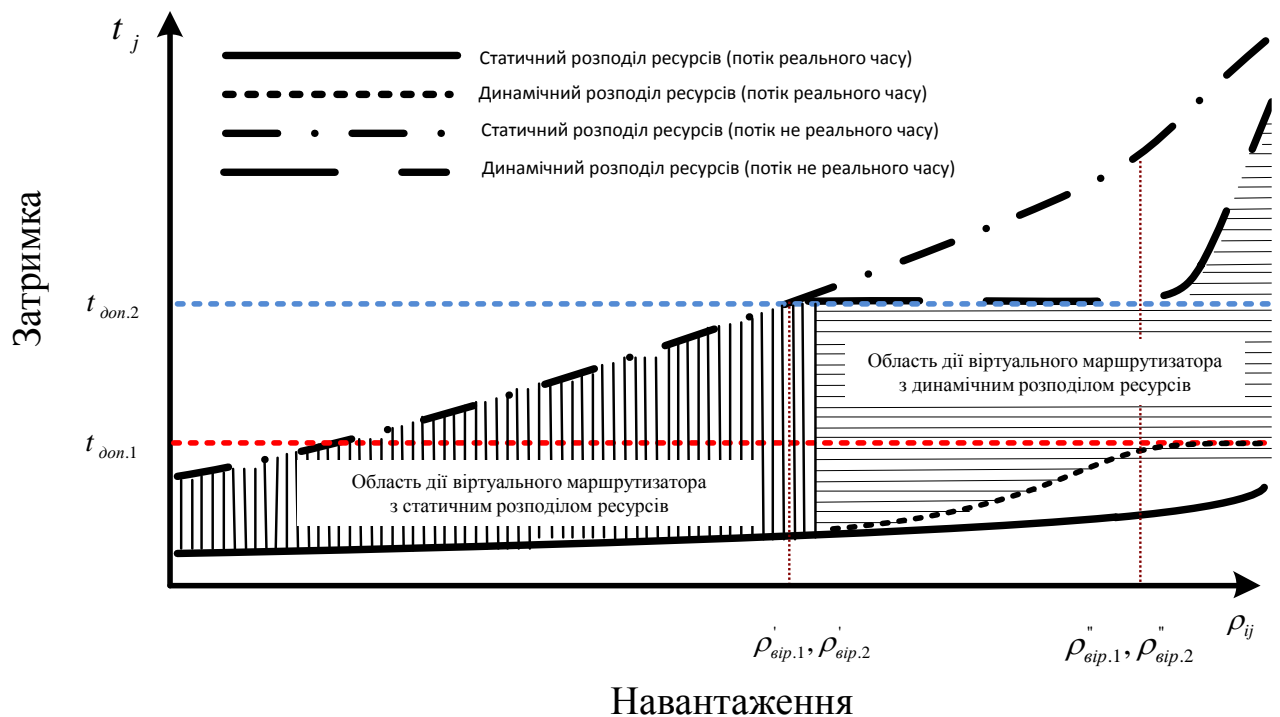


Рис.2.4. Принцип статичного та динамічного розподілу обчислювальних ресурсів мережевого пристрою при організації віртуальних маршрутизаторів класового обслуговування

Такий підхід дасть змогу динамічно створювати віртуальні СМО з оптимальними параметрами (довжина черги, дисципліна керування переповненням черги, кількість обслуговуючих пристроїв, режим роботи обслуговуючих пристроїв) для певного типу сервісів з набором властивих їм вимог до параметрів мережі (втрати, затримки та джитер).

## 2.2. Аналітичне представлення параметрів якості обслуговування віртуальної інфраструктури

У роботі запропоновано аналітичне представлення параметрів якості обслуговування мультисервісної інфраструктури з віртуалізацією ресурсів.

Припустимо, що загальна пропускна здатність вузла мультисервісної мережі становить  $C$  і загальний розмір буфера  $Q$ . Для простоти формалізації моделі використаємо такі позначення:  $a(t)$  – обсяг вхідного трафіку,  $l(t)$  – обсяг відкинутого трафіку,  $r(t)$  – інтенсивність обслуговування в момент часу  $t$ . Також, введемо поняття кривої прибуття, вхідної та вихідної кривої для трафіку на протязі часового інтервалу  $[t_1, t_2]$ . Крива прибуття  $A$  і вхідна крива  $R^{in}$  визначаються як

$$A(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \lambda(x) dx, \quad (2.2)$$

де  $\lambda(t)$  є миттєвою інтенсивністю прибуття пакетів в момент часу  $t$

$$R^{in}(t_1, t_2) = A(t_1, t_2) - \int_{t_1}^{t_2} \xi(x) dx, \quad (2.3)$$

де  $\xi(x)$  є інтенсивністю відкидання пакетів в момент часу  $t$ . З формули 2.3 різниця між кривою прибуття і вхідною є обсяг відкинутого трафіку. Вихідна крива  $R^{out}$  характеризує переданий трафік протягом часового інтервалу  $[t_1, t_2]$ , і визначається як:

$$R^{out}(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} r(x) dx, \quad (2.4)$$

де  $r(t)$  є інтенсивністю обслуговування пакетів в момент часу  $t$ . З цього моменту, ми будемо використовувати наступні скорочення для позначення кривих прибуття, вхідної і вихідної в моменти часу  $t$ , відповідно:

$$\begin{aligned} A(t) &= A(0, t), \\ R^{in}(t) &= R^{in}(0, t), \\ R^{out}(t) &= R^{out}(0, t). \end{aligned} \quad (2.5)$$

На рисунку 2.7. зображено вертикальну та горизонтальну відстані між вхідною і вихідною кривою, які характеризують довжину черги  $Q$  та затримку  $D$  в мережевому пристрої.

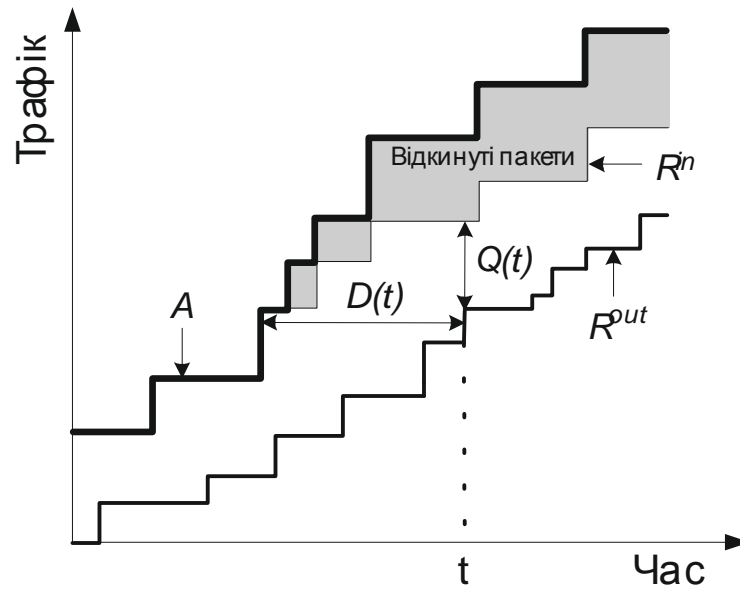


Рис.2.5. Графічне відображення зміни довжина черги, затримки та втрати пакетів

Затримка  $D$  є тривалістю обслуговування пакетів переданих пакетів в момент часу  $t$ . Відповідно, довжина черги та затримка визначаються в момент часу  $t$  за формулами:

$$Q(t) = R^{in}(t) - R^{out}(t), \quad (2.6)$$

$$D(t) = \max_{x < t} \{x \mid R^{out}(t) \geq R^{in}(t - x)\}. \quad (2.7)$$

Середню затримку можна отримати шляхом усереднення миттєвої затримки  $D(t)$  протягом часового вікна тривалістю  $\tau$ .

$$D_t^{avg}(\tau) = \frac{1}{\tau} \int_{t-\tau}^t D(x) dx \quad (2.8)$$

Позначимо інтенсивність втрат  $P(t)$ , яка виражає частину втраченого трафіку від початку поточного періоду зайнятості в момент часу  $t_0$ . Періодом зайнятості є часовий інтервал протягом якого, відбувається максимальне завантаження буфера вузла. Таким чином,  $P(t)$  описує частку трафіку, втраченого на інтервалі  $[t_0, t^-]$ , і визначається як:

$$P(t) = \frac{\int_{t_0}^t l(x) dx}{\int_{t_0}^t a(x) dx} = 1 - \frac{R_{in}(t_0, t^-) + a(t) - l(t)}{A(t_0, t^-)}. \quad (2.9)$$

де  $t^- = \sup\{x \mid x < t\}$

Отже, з допомогою вище записаних виразів можна формально описувати характеристики якості обслуговування віртуальної інфраструктури.

### 2.3. Модель мережевого пристрою з віртуалізацією ресурсів

В теорії аналізу телекомунікаційних мереж достатньо тривалий період загальноприйнятою була концепція, що будь-який пристрій обслуговування може бути описаний засобами систем масового обслуговування та теорії телетрафіку. З деякими засадами згаданого підходу можна погодитись і сьогодні, однак все частіше виникають ситуації, коли розраховані таким способом мережі в певні моменти входять у режим перевантаження і перебувають у такому стані доволі тривалий період часу, що призводить до значних втрат провайдера послуг. Проведений аналіз показав, що так відбувається через невідповідність обраних моделей реальному мережевому трафіку до і після обслуговування. Це, в свою чергу, пояснюється відмінностями у імовірнісних характеристиках випадкових процесів, які прийняті для моделювання реального трафіку.

В мультисервісних телекомунікаційних мережах вхідні інформаційні потоки можуть мати постійну (CBR), змінну (VBR) і змішану бітову швидкість, від чого математична модель потоку може бути від найпростішої пуассонівської до складної моделі фрактальних процесів (самоподібний трафік) [120]. Закон розподілу інтервалу часу між вимогами в цих потоках може бути довільний і тому в узагальненій моделі резонно досліджувати узагальнений (G) вид розподілу випадкової величини цього інтервалу. Довжина

пакетів кожної зі служб є різною отже, і тривалість обслуговування може бути різною – для одних сервісів постійною, а для інших – змінною. У такому випадку, бажано досліджувати загальний вид розподілу випадкової величини та тривалості обслуговування.

Реальні потоки в мультисервісних мережах формуються безліччю джерел з окремою, різною інтенсивністю навантаження (різномірні потоки). У процесі створення агрегованого потоку беруть участь джерела, які належать до різних груп користувацьких сервісів з різними інтенсивностями навантаження. Значення інтенсивності результуючого потоку в кожен момент часу залежить від того, до якої групи по інтенсивності навантаження належить джерело і яке співвідношення чисельності цих джерел. Більш адекватно описати потік або розподіл інтервалів часу між пакетами можна не експонентним розподілом (М), а їх сумішшю - гіперекспонентним розподілом (НМ) [105].

Гіперекспоненційний інтервал часу між пакетами призводить до такого розподілу кількості пакетів на інтервалі в середню тривалість обслуговування, яке добре апроксимується нормальним (Гаусса) законом. Для реальних потоків мультисервісних мереж зв'язку адекватна математична модель з гіперекспонентним розподілом інтервалу часу між пакетами, кількість яких на інтервалі часу апроксимується нормальним розподілом.

Мережевий пристрій з віртуалізацією згідно СМО можна зобразити за допомогою каскадного включення буферної пам'яті та обслуговуючих пристроїв див. рис.2.6. Таким чином, поведінка трафіку мультисервісної IP-мережі характеризується різними законами розподілу і тому при віртуалізації мережевого пристрою кожен віртуальний маршрутизатор працює із своїм класом послуг, кожен з яких описується відповідною функцією розподілу інтервалів між пакетами та функцією розподілу тривалості обслуговування.

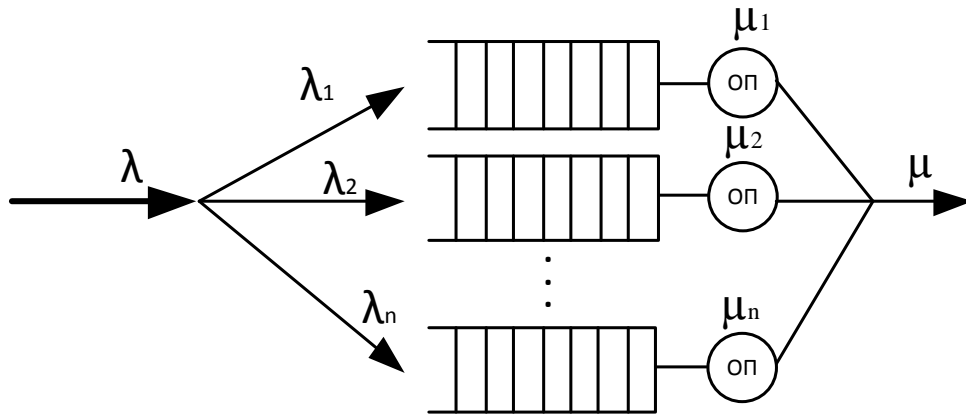


Рис. 2.6 Модель мережевого пристрою з віртуалізацією

Провівши декомпозицію моделі маршрутизатора з віртуалізацією (див. рис. 2.7) для одного типу трафіку отримаємо наступну спрощено односерверну модель :



Рис. 2.7. Модель віртуальної машини маршрутизатора для трафіку VoIP

Для опису такої моделі можна використати довільну систему масового обслуговування. Для прикладу використаємо систему M/M/1/n де на вхід поступають виклики з Пуасонівським законом розподілу при суперкомпозиції яких утворюється мультисервісний агрегований потік [111].

$$P(k) = \frac{\lambda^k}{k!} \cdot e^{-\lambda}. \quad (2.10)$$

Отже, для запропонованої системи M/M/1/n ймовірність втрат в  $i$  – му віртуальному маршрутизаторі визначається:

$$P_{vm_i} = \frac{(1 - \rho_i) \cdot \rho_i^{n_i}}{1 - \rho_i^{n+1}}, \quad (2.11)$$



де  $\rho_i$  – коефіцієнт завантаження  $i$  – го віртуального маршрутизатора ;

$n_i$  – кількість місць в буфері  $i$  – го віртуального маршрутизатора;

$$\rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}, \quad (2.12)$$

де  $\lambda_i$  – інтенсивність поступлення пакетів  $i$  – го потоку  $i$  – го віртуального маршрутизатора ;

$\mu_i$  – інтенсивність обслуговування пакетів  $i$  – го потоку  $i$  – го віртуального маршрутизатора;

Середня кількість пакетів в буфері  $i$  – го віртуального маршрутизатора :

$$\bar{N}_i = \frac{\rho_i}{1 - \rho_i} - \frac{(1 + n_i) \cdot \rho_i^{n_i+1}}{1 - \rho_i^{n_i+1}}, \quad (2.13)$$

Відповідно середній час перебування пакета в  $i$  – му віртуальному маршрутизаторі можна визначити на основі формули Літтла:

$$\bar{T}_i = \frac{\bar{N}_i}{\lambda_i} \quad (2.14)$$

$$\bar{T}_i = \left( \frac{\rho_i}{1 - \rho_i} - \frac{(1 + n_i) \cdot \rho_i^{n_i+1}}{1 - \rho_i^{n_i+1}} \right) \cdot \frac{1}{\rho_i \mu_i} \quad (2.15)$$

Оскільки, трафік мультисервісних мереж з комутацією пакетів характеризується наявністю довгострокових залежностей інтенсивності навантаження, то адекватною моделлю потоків в таких мережах вважаються самоподібні (self-similarity) процеси, де вхідний потік описується фрактальним броунівським рухом (модель fBM). Визначення прогнозованого розміру буфера здійснюється на основі формули Норрота для середньої кількості пакетів, які містяться у буфері з без скінченним розміром [125,126].

У роботі впреше запропоновано використати формулу Норрота для оцінки кількості пакетів  $i$  – го потоку в буфері  $i$  – го віртуального

маршрутизатора, де кожен потік характеризується своїми властивостями та із своїм параметром Херста :

$$N_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i} \cdot \frac{\left(\frac{\lambda_i}{\mu_i}\right)^{\frac{H_i-0.5}{1-H_i}}}{\left(1 - \frac{\lambda_i}{\mu_i}\right)^{\frac{H_i}{1-H_i}}}, \quad (2.16)$$

де  $H_i$  – параметр Херста  $i$  – го потоку, що надходить на  $i$  – й віртуальний маршрутизатор.

Обсяг пам'яті буфера віртуального маршрутизатора, що потребується, визначається за формулою:

$$Q_i = N_i \cdot L_{cp,i}, \quad (2.17)$$

де  $L_{cp,i}$  - середня довжина пакету.

Розрахунок кількості пакетів, що очікують обслуговування за допомогою формули Норрсса можливий за будь-якого закону розподілу тривалості обслуговування, але справедливий тільки для експоненціального закону розподілу інтервалів між пакетами, наприклад для моделей M/G/1, M/D/1, M/M/1.

У роботі Норрсса [21] було показано, що ймовірність того, що кількість пакетів в системі  $n$  перевищить задану величину  $N$ , визначається виразом:

$$P(n > N) = \Phi \left( \left( \frac{N}{\sqrt{a\lambda}} \right)^{\frac{(1-H)}{H}} \cdot \frac{\mu - \lambda}{\sqrt{a\lambda}} \right), \quad (2.18)$$

де

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot (1+x)} \cdot e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (2.19)$$

Також оцінку завантаженості буфера проведено згідно формули Норроса [92-93], проте її застосування для даного дослідження обмежується тим, що вона виведена для нормального закону розподілу Гауса, отже при інших розподілах вхідного трафіку може давати не достатньо достовірні результати. Для визначення завантаженості буфера запишемо формулу Норроса у наступному вигляді:

$$Q_i = \left[ \frac{\left[ H_i^{H_i} (1 - H_i)^{1-H_i} \sqrt{-2 \ln(p_i)} \right]^{1/H_i} a_i^{1/2 H_i} m_i^{1/2 H_i}}{C_i - m_i} \right]^{H_i / (1 - H_i)}, \quad (2.20)$$

де  $Q_i$  – завантаженість буфера (біт) в  $i$  – му віртуальному маршрутизаторі ,

$H_i$  – параметр Херста профілю трафіку в  $i$  – му віртуальному маршрутизаторі,

$p_i$  – імовірність втрати пакету, яку необхідно забезпечити  $i$  – му віртуальному маршрутизаторі,

$C_i$  – пропускна здатність прямого каналу (біт/с) в  $i$  – му віртуальному маршрутизаторі ,

$m_i$  – швидкість поступлення пакетів в  $i$  – му віртуальному маршрутизаторі (біт/с),

$a_i$  – коефіцієнт варіації швидкості поступлення пакетів в  $i$  – му віртуальному маршрутизаторі (біт/с).

#### **2.4. Покращення параметрів QoS на основі методу адаптивного управління структурними параметри віртуальних маршрутизаторів**

В мультисервісних телекомунікаційних мережах широкого розповсюдження набули методи управління ресурсами та динамічної зміни параметрів мережі в залежності від зміни вхідного впливу (йдеться про

мережевий трафік, що створюється різними застосуваннями та агрегується рівнем доступу). Однак, дуже обмежене група авторів розглядає задачу планування ресурсів мережі, необхідних для гарантованого передавання певного обсягу трафіку. Тобто, йдеться про задачу визначення мінімального обсягу ресурсів для забезпечення гарантованих параметрів якості обслуговування [71-73].

В роботі пропонується використати метод адаптивного управління структурними параметри віртуальних маршрутизаторів для забезпечення гарантованого рівня QoS інформаційним потокам.

Визначення основних досліджуваних параметрів QoS у віртуальній інфраструктурі розраховувались за формулами 2.21 та 2.22.

Ймовірність втрати пакету – визначається як кількість втрачених пакетів до загальної кількості пакетів. Втрати мережі  $P_{мережі}$  обумовлені помилками в каналі (з впровадженням ВОЛС втрати в каналі мають величини порядку  $10^{-9}$ , і ними можна знехтувати з урахуванням норм на втрати в мережі) і втратами у вузлах мережі  $P_{вузла_i}$ . Втрати у віртуальних вузлах мережі  $P_{вузла_i}$  визначаються інтенсивністю трафіка, розміром буфера, застосовуваної політикою обслуговування черг і використовуваними методами запобігання перевантаження.

$$P_{вузла_i} = \frac{1}{X_i} \cdot \sum_k x_{k_i}, \quad (2.21)$$

$P_{вузла_i}$  – ймовірність втрати пакету в  $i$  – му віртуальному маршрутизаторі;

$X$  – загальна кількість пакетів переданих на  $i$  – й віртуальний маршрутизатор;

$x_{k_i}$  – кількість втрачених пакетів за  $k$ -тий період в  $i$  – му віртуальному маршрутизаторі.

- Затримка  $t_{вузла_i}$  – являє собою тривалість обслуговування пакета в  $i$  – му віртуальному маршрутизаторі і визначається як сума часу опрацювання пакета і очікування обслуговування в буфері.

$$t_{вузла_i} = t_{буфер_i} + 2 \frac{L_{пак_i} \cdot 8}{C_{інтерфейсу_i}} + t_{проц.обробки_i}, \quad (2.22)$$

$C_{інтерфейсу_i}$  – пропускна здатність вхідного та вихідного інтерфейсу (прийнято, що пропускна здатність вхідного і інтерфейсу рівні) ;

$t_{буфер_i}$  – тривалість очікування пакетом у буфері  $i$  – му

віртуальному маршрутизаторі ;

$L_{пак_i}$  – довжина пакета, що обробляється в  $i$  – му віртуальному маршрутизаторі;

$t_{проц.обробки_i}$  – тривалість опрацювання пакета у процесорі

віртуального обслуговувального пристрою;

- Джитер – визначається, як різниця між середнім значенням затримки та конкретною затримкою.

$$dt_i = \frac{1}{N_i} \sum t_{сеп_i} - t_{j_i}. \quad (2.23)$$

$dt_i$  – середнє значення джитера;

$t_{j_i}$  – затримка  $i$ -ого пакету;

$t_{сеп_i}$  – середнє значення затримки.

На сьогоднішній час багато робіт присвячені опису моделей вхідного потоку. Останні дослідження властивостей інформаційних потоків в мультисервісних телекомунікаційних системах показали, що використання

моделей самоподібних процесів (самоподібних потоків) дає змогу більш точно описувати трафік, що передається в даних системах. Тепер необхідно описати модель обслуговуючого пристрою з віртуалізацією. Сама модель маршрутизатора з віртуалізацією ресурсів описана вище. Якщо йдеться про мультисервісні мережі, то навіть його структура не є наперед однозначно відомою. Моделювання дає найбільш точні результати у випадку врахування якомога більшої кількості параметрів реальної системи обслуговування. Важливими факторами є і структура (наявність певної кількості вхідних/вихідних інтерфейсів, можливість паралельної обробки даних з декількох інтерфейсів, можливість пріоритетної обробки певних класів мережевого трафіку), а також функціональні параметри (швидкодія внутрішньої вхідної/вихідної шини, швидкодія обслуговуючого пристрою, швидкість перемикання між інтерфейсами, обсяг буфера, імовірність відкидання пакетів при перевищенні заданих буферних порогів.) Для того, щоб модель обслуговуючого пристрою була адекватною, необхідно забезпечити верифікацію заданих функціональних параметрів кожного елемента конкретного мережевого вузла (із врахуванням можливих допусків виробництва).

Першим структурним параметром вузла для управління QoS розглянемо буфер. При віртуалізації загальний розмір буфера ділитиметься між віртуальними маршрутизаторами, оптимальне використання буферного ресурсу віртуальними пристроями забезпечить необхідну якість потокам з різними вимогами. Окремим аспектом обслуговування є врахування моделі поведінки черг системи обробки інформації (обслуговуючого вузла). Стан черги визначається розміром буфера, завантаженістю системи та значеннями порогів відкидання пакетів для боротьби з перевантаженнями. Модель загального стану черги (без розподілу по пріоритетах класів трафіку, що винесено в окрему

задачу) із врахуванням завантаженості буфера можна представити рядом наступних умов:

Сума ємностей віртуальних черг в критичному випадку не може перевищувати загального розміру буфера при низьких коефіцієнтах використання попереднього сегменту мережі.

$$\sum_{i=1}^n q_{черги_i} \leq Q_{буф}, \quad (2.24)$$

де  $q_{черги_i}$  – довжина віртуальних черг пакетів;  $Q_{буф}$  – загальний обсяг буферної пам'яті;

В роботі запропоновано модель адаптивного управління загальним буферним ресурсом для виділення оптимальних ємностей віртуальних черг в умовах яких забезпечується необхідна якість обслуговування інформаційних потоків.

$$\begin{cases} t_{поточне_i} \leq T_{допустиме_i} \\ P_{поточне_i} \leq P_{допустиме_i} \Rightarrow q_{черги_i} \in Q_{буф}, \\ dt_{поточне_i} \leq dT_{допустиме_i} \end{cases} \quad (2.25)$$

де  $t_{поточне_i}$ , – поточна затримка буферизації потоку в  $i$  віртуальному маршрутизаторі;  $T_{допустиме_i}$  – допустима затримка потоку у  $i$  віртуальному буфері маршрутизатора згідно встановлених рекомендації ;  $P_{поточне_i}$  – імовірність відкидання пакетів в буфері  $i$  - го віртуального маршрутизатора;  $P_{допустиме_i}$  – допустимі втрати потоку у  $i$  віртуальному буфері маршрутизатора згідно встановлених рекомендації ;  $dt_{поточне_i}$ , – поточний джитер буферизації потоку в  $i$  віртуальному маршрутизаторі;  $dT_{допустиме_i}$  – допустимий джитер потоку у  $i$  віртуальному буфері маршрутизатора згідно встановлених рекомендації ;.

$$\sum_{i=1}^n CPU_i \leq CPU, \quad (2.26)$$

$$\begin{cases} t_{\text{поточне}_i} \leq T_{\text{допустиме}_i} \\ p_{\text{поточне}_i} \leq P_{\text{допустиме}_i} \Rightarrow CPU_i \in CPU \\ dt_{\text{поточне}_i} \leq dT_{\text{допустиме}_i} \end{cases} \quad (2.27)$$

$$\sum_{i=1}^n RAM_i \leq RAM, \quad (2.28)$$

$$\begin{cases} t_{\text{поточне}_i} \leq T_{\text{допустиме}_i} \\ p_{\text{поточне}_i} \leq P_{\text{допустиме}_i} \Rightarrow RAM_i \in RAM, \\ dt_{\text{поточне}_i} \leq dT_{\text{допустиме}_i} \end{cases} \quad (2.29)$$

де  $CPU_i$ , – частота процесора  $i$  - го віртуального маршрутизатора ;  $CPU$  – номінальна частота процесора фізичного маршрутизатора,  $CPU_i$ , – частота процесора  $i$  - го віртуального маршрутизатора  $RAM$  – оперативна пам'ять фізичного маршрутизатора,  $RAM_i$ , – оперативна пам'ять  $i$  - го віртуального маршрутизатора.

Залежно від структурно-функціонального типу мережевого вузла можлива зміна структури вихідного трафіку в порівнянні з вхідним. Тому необхідно застосувати методи підбору математичної моделі (густини розподілу) вихідного трафіку, щоб мати можливість аналізувати вхідний вплив на наступний вузол обслуговування. Тому необхідно записати невідому модель трафіку, в якій відомі тривалості пакетів та інтервали між ними.

Найбільшу складність представляє аналіз самоподібних процесів, адже, окрім закону Парето, майже не видається можливим підібрати математичну модель такого трафіку через його антиперсистентність. Трафік, що передається в мультисервісних мережах з комутацією пакетів, має довгострокові залежності в інтенсивності та ще більш суттєво відрізняється від пуассонівського потоку і



навіть будь-яких інших потоків, що визначаються одномірною функцією розподілу ймовірності інтервалу часу між моментами надходження пакетів. Більш адекватною моделлю потоків у таких мережах є самоподібні процеси, проте дослідження характеристик якості обслуговування систем розподілу інформації в цих умовах є дуже складною математичною задачею. У мультисервісних пакетних мережах трафік є різнорідним і з певними вимогами до QoS. Тут передачу потоків різних служб забезпечує одна і та ж сама мережа з єдиними протоколами та законами управління. Через те, що джерела кожної служби можуть мати різні швидкості передавання інформації та змінювати її в процесі сеансу зв'язку (максимальна та середня швидкості), то об'єднаному потоку пакетів властиве так зване «пачкування» трафіка (burstness), вимірюване коефіцієнтом пачкування. Це пачкування обумовлює ще більшу нерівномірність трафіка, за якої дисперсія інтенсивності трафіка перевищує її математичне сподівання від 20 до 60 разів і більше.

При розгортанні віртуальних маршрутизаторів топологія фізичної мультисервісної мережі стає віртуальною моносервісною. Це в свою чергу дає змогу, спростити розв'язок задачі побудови адекватної математичної моделі вхідного потоку в моносервісних мережах з однорідним трафіком. Такими, наприклад, є суто телефонні мережі з єдиною послугою телефонного зв'язку, що й зумовлює однорідність трафіка. Найпростіша модель пуассонівського потоку, здебільшого відповідає таким умовам, а значення інтенсивності трафіка та її дисперсії збігаються або достатньо близькі.

Найбільш важливим є питання забезпечення параметрів якості сервісу вузлом. Змінюючи параметри структурно-функціональної моделі обслуговуючого вузла, можемо спостерігати за змінами кількісних та часових параметрів якості обслуговування. Завдання планування ресурсів зводиться до вибору параметрів структурно-функціональної моделі вузла обслуговування,

які забезпечують дотримання бажаних (заданих, необхідних) часових та кількісних параметрів якості обслуговування.

## **2.5. Висновки до 2-го розділу**

1. Використання єдиної мережевої інфраструктури, для передачі трафіку послуг з різними вимогами до якості обслуговування, тягне за собою необхідність справедливого, конкурентного розподілу мережевих ресурсів, особливо, в сучасних телекомунікаційно-мережних систем в умовах високого навантаження. В роботі запропоновано новий підхід до проектування мультисервісної інфраструктури з віртуалізацією маршрутизаторів. Мережа з віртуалізацією – це мереже в якій на одному або декількох мережевих пристроях використовується режим роботи з віртуалізацією. Віртуалізація мережевого пристрою передбачає створення двох або більше віртуальних мережевих машин, які виконують функції маршрутизатора з індивідуальним обслуговуванням потоків. Використання віртуальних маршрутизаторів в мультисервісній інфраструктурі забезпечить ефективний розподіл між різними мережевими потоками та дасть змогу підвищити якість обслуговування потоків реального часу із наданням гарантованого рівня QoS сервісів чутливих до втрат та нечутливих до затримок.

2. В даний час пред'являються жорсткі вимоги до передавання послуг потокового мультимедіа. Сучасні механізми розподілу ресурсів мережного елементу (вузла), а також алгоритми запобігання перевантаженню потребують постійного настроювання для забезпечення заданої якості. Параметри цих механізмів є величинами, настроювання яких проводиться для кожного конкретного випадку, і нерідко базуються на інтуїції системного адміністратора або рекомендаціях виробника устаткування, а не на аналітичному розрахунку. Таким чином, на даний момент не існує гарантії, що при конфігурації мережного устаткування і плануванні мережі в цілому буде

встановлений режим оптимального використання ресурсів мережних елементів, а значить, забезпечено надання послуги з необхідною якістю. Відповідно у роботі запропоновано аналітичну модель визначення параметрів якості для системи з віртуальними маршрутизаторами при заданій конфігурації мережного елементу. З допомогою даного математичного представлення можна визначити основні параметри системи віртуальних черг, що базуються на алгоритмі FIFO з метою проведення аналізу ефективності використання мережних ресурсів, а також визначення якості послуги, що надається, для заданої інтенсивності надходження пакетів на вхідний інтерфейс мережного елементу.

3. Найбільш важливим є питання забезпечення параметрів якості сервісу вузлом. Змінюючи параметри структурно-функціональної моделі обслуговуючого вузла, можемо спостерігати за змінами кількісних та часових параметрів якості обслуговування. Завдання планування ресурсів зводиться до вибору параметрів структурно-функціональної моделі вузла обслуговування, які забезпечують дотримання необхідних часових та кількісних параметрів якості обслуговування. Сформовано залежність між структурно-функціональними параметрами та параметрами якості обслуговування. Забезпечено узгоджене вирішення задач планування та управління обчислювальними ресурсами за рахунок введення динамічної віртуалізації маршрутизаторів для гарантованої обробки певних класів трафіку. Динаміка забезпечується шляхом перерозподілу мережевого ресурсу при збільшенні або зменшенні його обсягу.

### **РОЗДІЛ 3.**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ МАРШРУТИЗАТОРІВ В УМОВАХ ПЕРЕДАВАННЯ МУЛЬТИСЕРВІСНОГО ТРАФІКУ**

У даному розділі розроблено імітаційну модель мережевого пристрою з віртуалізацією ресурсів. Проведено моделювання та порівняння систем обслуговування інформаційних потоків з статичною та динамічною реконфігурацією ресурсів маршрутизатора з обробкою пакетів за порядком черги FIFO на базі імітаційної моделі. На основі отриманих залежностей визначено обсяг необхідних ресурсів обслуговуючого вузла для забезпечення встановленого рівня часових показників якості обслуговування при розгортанні віртуальних маршрутизаторів. Аналогічно порівнювалась запропоновані способи віртуалізації мережевого пристрою із системою пріоритетного обслуговування потоків. Досліджено вплив методу управління структурними параметри віртуальних маршрутизаторів на якість обслуговування потоків. Наведені у розділі результати опубліковано у працях [110, 112, 117, 119].

### **3.1. Розробка імітаційної моделі маршрутизатора з віртуалізацією та без віртуалізації ресурсів**

Імітаційна модель СМО - це модель, що відображає поведінку системи і зміни її стану в часі при заданих потоках заявок, що надходять на входи системи. Вихідними параметрами є величини, що характеризують якість функціонування системи, наприклад, такі як

- коефіцієнти використання каналів обслуговування;
- максимальна і середня довжина черг в системі;
- час знаходження заявок в чергах і каналах обслуговування.

В роботі розроблено імітаційну модель маршрутизатора за допомогою компонент SimEvents програмної системи Matlab. Для реалізації дискретно-подієвого моделювання в середовищі Simulink використовується компонента SimEvents. За допомогою SimEvents можна моделювати і проектувати розподілені системи управління, апаратні конфігурації, мережі передачі і збору інформації. Можна також моделювати подієво-керовані процеси, такі наприклад, як стадії процесу планування мережі для визначення потреб у ресурсах і оцінки вузьких місць інфраструктури. При моделюванні дискретних подій або моделюванні на основі подій стан системи змінюються в результаті настання асинхронних дискретних інцидентів, які називаються подіями. На противагу цьому моделювання, засноване виключно на диференціальних або різницевих рівняннях, в яких час є незалежною змінною, - моделювання на основі часу, тому що стан системи залежать від часу. Simulink призначений для моделювання на основі часу, в той час як SimEvents створювався для моделювання дискретних подій. Вибір типу моделювання залежить як від самого досліджуваного явища, так і від способу, яким його передбачається вивчати.

При дискретно-подієвому моделюванні використовується поняття сутності (entity). Сутності можуть переміщатися через черги в мережі (queues), сервери (servers) , комутатори та маршрутизатори (switches and routers), керованих дискретними подіями, в процесі моделювання. Відповідно при дослідження мультисервісних мереж в ролі сутності будемо розуміти IP пакети послуг.

Подія (event) - це миттєве дискретне явище, яке змінює перемінну стану, вихід або поява інших подій. Прикладами подій в моделі SimEvents є:

- переміщення сутності (пакета) від одного блоку до іншого;
- завершення обслуговування сутності (пакета) в сервері (мережевому пристрої).

На рисунку 3.1 відображені іконки, що представляють всі розділи бібліотеки блоків *simevents*.



Рис.3.1. Вікно бібліотеки SimEvents

Виберемо з розділу *Generators* (підрозділ *Entity Generators* - генератори сутностей) блок *Time-Based Entity Generator*, з розділу *Queues* блок *FIFO Queue*, з розділу *Servers* - блок *Single Server*, з розділу *SimEvents Sinks* - блок *Entity Sink* і блок *Signal Scope*. В результаті у вікні моделі буде виконуватися на іншій картині.

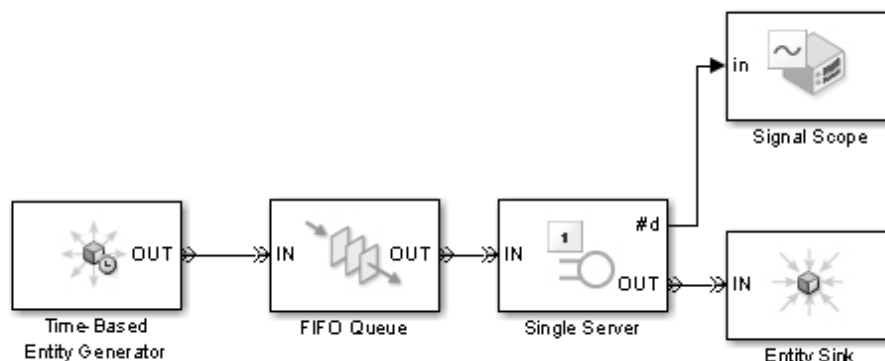


Рис.3.2. Основні блоки при створенні імітаційної моделі системи обслуговування потоків

Представлена на рисунку 3.2 модель містить блоки для всіх ключових процесів моделювання: генерації сутностей (блок *Time-Based Entity Generator*), зберігання сутностей в черзі (блок - *FIFO Queue*), обслуговування сутностей (блок - *Single Server*) і відображення інформації про хід моделювання (блок - *Signal Scope*). При дискретно-подієвому моделюванні черги (*queues*) зберігають сутності протягом деякого інтервалу часу, який заздалегідь невідомий. Черга намагається випустити сутність якомога швидше, але успіх операції залежить від можливості наступного блоку прийняти нову сутність. Відмінними властивостями черги є:

- ємність (*capacity*), тобто максимальну кількість сутностей, котрі черга може зберігати одночасно;
- дисципліна черги, яка визначає яка з сутностей покине чергу першою, якщо вона зберігає кілька сутностей.

Блоки черг перебувають в розділі *Queues* бібліотеки *SimEvents*.

Сервер (*server*) в дискретно-подієвому моделюванні зберігає сутності протягом певного проміжку часу, званого часом обслуговування (*service time*) і потім намагається випустити сутність. Під час періоду обслуговування кажуть, що блок-сервер обслуговує сутність.

Час обслуговування для кожної сутності обчислюється в момент її прибуття в сервер. На відміну від цього час зберігання блоку в черзі заздалегідь ніколи невідомо. Однак, якщо наступний блок не приймає сутність, яку вже обслужив сервер, то сервер повинен зберігати сутність далі.

Відмінними властивостями сервера є:

- число сутностей, які можна обслужити одночасно. Це число може бути кінцевим або нескінченним;
- характеристиками або методами обчислення часів обслуговування вхідних сутностей;

- чи дозволяє сервер прибуваючим сутностями займати сервер при наявності інших сутностей, що зберігаються на сервері. При відсутності цієї властивості сервер з кінцевою ємністю, якщо він сповнений, не приймає до обробки нових поступаючих сутностей.

Блоки серверів знаходяться в розділі *Servers* бібліотеки *SimEvents*.

Для дослідження ефективності функціонування існуючого маршрутизатора із запропонованим віртуальним маршрутизатором розроблено імітаційну модель маршрутизатора з віртуалізацією та без віртуалізації ресурсів. Модель маршрутизатора складається з набору блоків, які відповідають за функціонування певних елементів структури реального мережевого пристрою. Відповідно кожен фізичний маршрутизатор в мережі містить віртуальні маршрутизатори, які обробляють свій потік даних і конфігуруються відповідно до вимог QoS послуг. На рисунку 3.3 зображено структуру імітаційної моделі, яка складається із трьох віртуальних маршрутизаторів (1,2,3) та стандартного маршрутизатора з дисципліною обслуговування пакетів FIFO (4) на вхід, яких поступає агрегований потік даних. Відповідно маршрутизатор 1 – обслуговує відео трафік, маршрутизатор 2 – обслуговує голосовий трафік, маршрутизатор 3 – обслуговує дані та 4- обслуговує Triple Play послуги.

У роботі розглянуто основні принципи роботи блоків імітаційної моделі маршрутизатора. Для початку необхідно згенерувати потоки трафіку, функція розподілу яких відповідає реальним даним. Реальний потік трафіку, будь якого типу складається із пакетів різної довжини та між пакетної відстані. Щоб максимально наблизитись до реального трафіку, використовуючи програму Wireshark всі необхідні характеристики потоків можна отримати шляхом експериментального дослідження послуг мультисервісної мережі [117]. Спираючись на результати наукових досліджень проаналізованих в першому розділі визначено, який найбільш підходящий розподіл є адекватним для



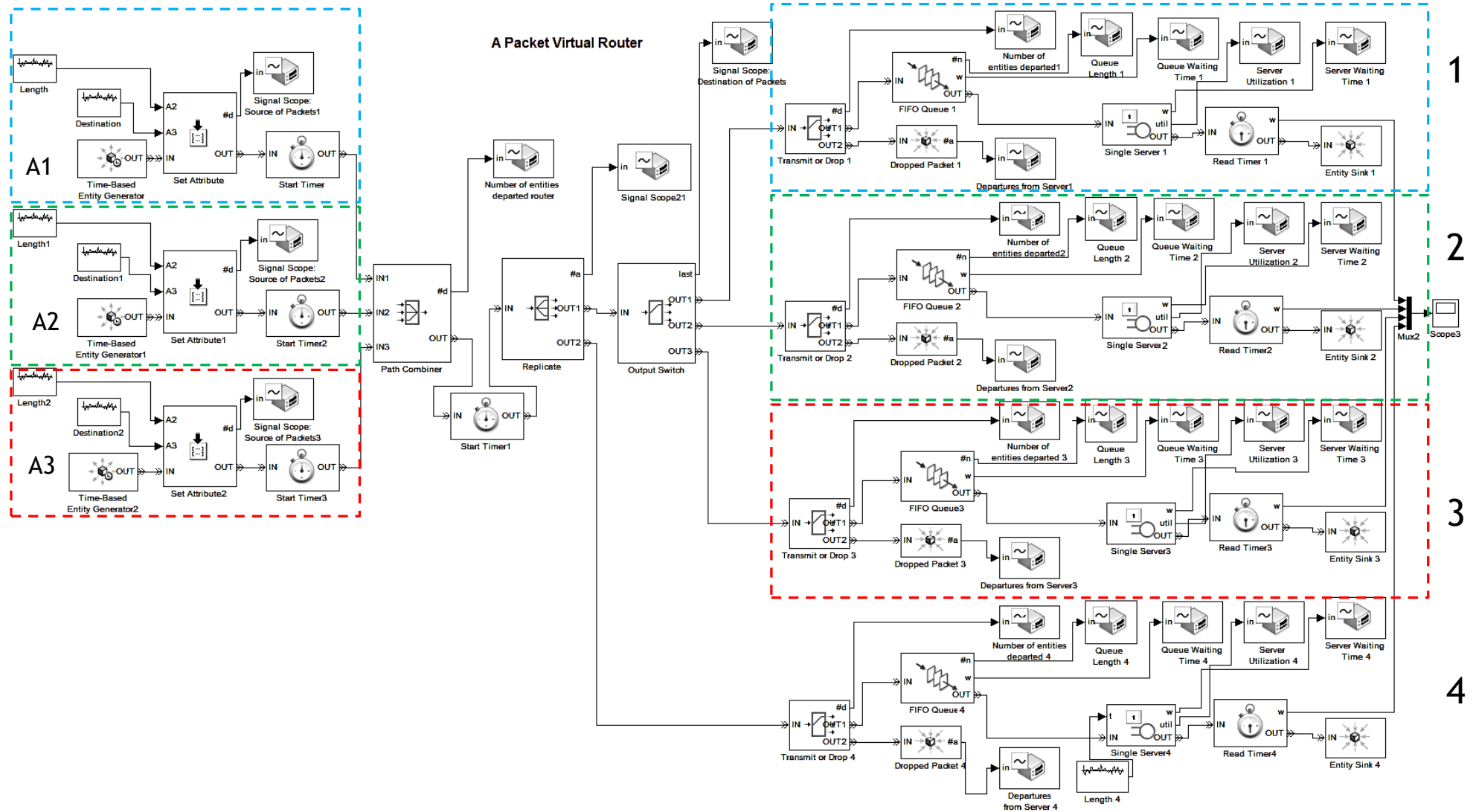


Рис.3.3. Схема моделі пакетного маршрутизатора з віртуалізацією ресурсів (1,2,3) та без віртуалізації (4)

для послуг голосу, відео і дані для задання у моделі . Згідно [105, с .71] встановлено, що агрегований мультисервісний трафік можна згенерувати сумішю експоненційних розподілів між пакетної вістані потоків від декількох джерел, так званим гіперекспоненційним розподілом.

На рисунку 3.3 показані три робочі станції A1, A2 і A3 , які виконують функції генераторів пакетів послуг відео, голосу і даних. Для того, щоб згенерувати потік пакетів різних послуг використовується блок *Time-Based Entity Generator* (Розділ *Generators / Entity Generator.*) – блок генерує пакети в моменти часу, які визначаються вхідним статистичним розподілом (рис.3.4). Порядок генерування визначається значенням параметра *Generate entities with:*

*Intergeneration time from dialog* - моменти часу генерації визначаються в залежності від параметрів в діалогових полях блоку;

Тип розподілу моментів генерації визначається полем *Distribution*.  
Можливі значення:

- *Constant* (постійне) - сталий час між згенерованими пакетами задається в полі *Period*.
- *Uniform* (рівномірний) - випадковий рівномірний розподіл задається діапазоном в полях *Minimum* і *Maximum*.
- *Exponential* - експоненційний розподіл задається параметром *Mean* (середнє).

При установці параметра розподілу в значення *Uniform* або *Exponential* в діалоговому вікні є також параметр *Initial seed*, що визначає генерований набір випадкових чисел. Для фіксованого значення цього параметра випадкова послідовність при наступному запуску моделі повториться. Характерно, значення цього параметра встановлюється в велике (наприклад, п'ятизначне) непарне число.

*Intergeneration time from port t* - моменти часу генерації визначаються через сигнальний порт  $t$ , інформація з якого зчитується при старті моделювання і в кожен момент генерації нового пакету.

Для збору статистики блоку потрібно відзначити галочкою потрібні сигнали на вкладці Statistics в панелі властивостей блоку. Якщо відзначений відповідний пункт, то у блоку з'являється новий сигнальний вихідний порт, на який виводиться наступна статистична інформація відповідно:

#d – число пакетів, які залишили блок після початку моделювання;

w - середній час між генераціями пакетами.

Блок *length* формує часовий інтервал, який затрачається при обробленні маршрутизатором пакету різного розміру та є сумою інтерфейсної та процесорної затримки. Інтерфейсна затримка залежить від розміру пакету та процесорна затримка не залежить від розміру пакетів, оскільки в реальному пристрої зчитується лише заголовок сталої величини 20 байт. Отже, в моделі це є випадкові цілі числа, згенеровані відповідно до розподілу величин пакетів цієї або іншої послуги, що передаються мережею та обслуговуються вузлами. Таким чином в запропонованій моделі імітується передавання пакетів різного розміру та їх вплив на кінцеву затримку.

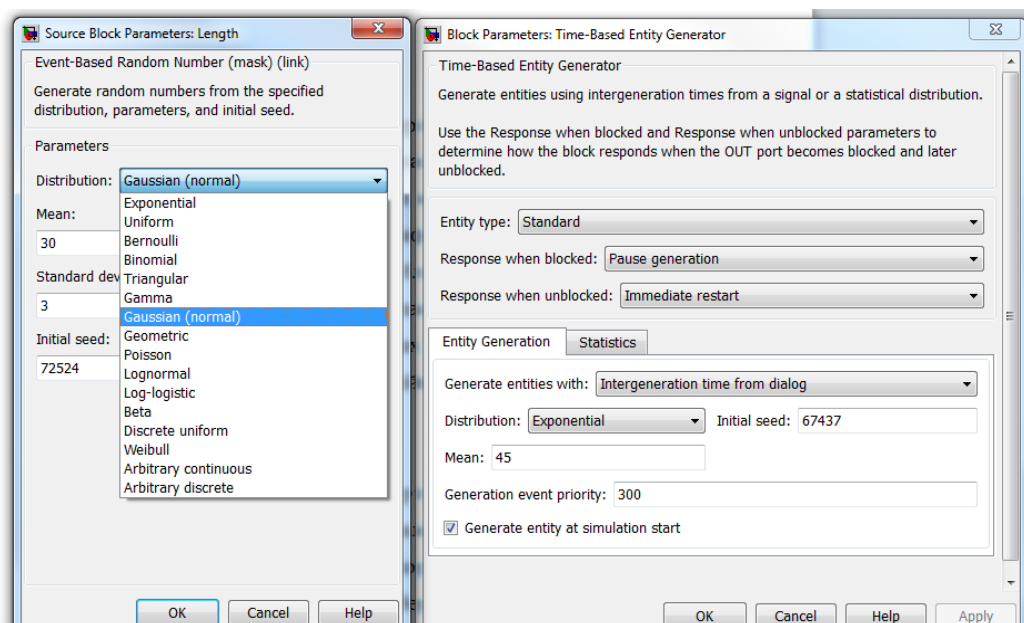


Рис.3.4. Генерація пакетів

На виході блоку *Set Attribute* формується пакет із заданими часовими параметрами і адресою призначення;

Блоки *Start Timer* та *Read Timer* фіксують момент часу надходження пакетів на маршрутизатора та відповідно виходу із маршрутизатора. З допомогою даних блоків визначається тривалість обслуговування пакетів мережевим вузлом;

Блок *Path Combiner* дає змогу об'єднати кілька потоків в один агрегований. Блок приймає пакети через вхідні порти і випускає їх через єдиний вихідний порт. Кількість вхідних портів визначається параметром ***Number of entity input ports***.

Блок *Replicate* випускає через свої вихідні порти копії поступаючих пакетів в блок. Кількість копій, створюваних блоком, визначається параметром ***Number of entity output ports***. Цей блок в моделі використовується для того щоб агрегований потік дублювати на маршрутизатор 4 через порт OUT2, який функціонує за стандартним принципом обслуговування пакетів та через порт OUT1 на блок *Output Switch*, який направляє пакети, адресованні класовим віртуальним роутерам, які підключені до його вихідних портів. Даний блок в розробленій моделі виконує функцію ідентифікації та розподілу класів послуг по віртуальних маршрутизаторах. Наступним етапом роботи моделі є передавання потоків трафіку на блок *Transmit or Drop*, який використано для визначення ймовірності втрат пакетів при переповненні буфера. Порт OUT2 – використовується для фіксування кількості відкинутих пакетів буфером *FIFO Queue* блоком *Dropped Packet*.

Отже, з виходу кожної робочої станції пакети надходять у вхідні буфери віртуальних маршрутизаторів (A1-1, A2-2, A3-3) кожен з яких обслуговує лише свій тип класу послуг, представлені на схемі у вигляді блоків *FIFO* черги, *FIFO queue1*, *FIFO Queue2* та *FIFO queue3*. Або у буфер *FIFO queue4*

маршрутизатора без віртуалізації, який обслуговує агрегований потік від трьох станцій (A1, A2, A3-4).

Блок *FIFO Queue* - одночасно зберігає до N пакетів, де N - значення параметра Capacity (Ємність буфера) . Блок намагається випустити пакет через вихідний порт OUT, однак якщо порт OUT блокований, то пакет залишається в блоці. Якщо в блоці зберігаються кілька пакетів, то пакети залишають блок відповідно до дисципліни перший прийшов - першим вийшов (first in - first out (FIFO)).

Для збору статистики блоку потрібно відзначити галочкою потрібні сигнали на вкладці *Statistics* в панелі властивостей блоку. Якщо відзначений відповідний пункт, то у блоку з'являється новий сигнальний вихідний порт, на який виводиться наступна статистична інформація:

#d – число пакетів, що залишили блок через порт OUT після початку моделювання;

#n - число пакетів в черзі;

w - середній час очікування в цьому блоці для всіх пакетів, які залишили блок через будь-який порт;

len - середнє число пакетів в черзі за часом, тобто середній по часу сигналу #n.

Блок *Single Server* обслуговує одночасно один пакет за деякий інтервал часу і потім намагається випустити пакет через вихідний порт OUT. Якщо порт OUT блокований, то сутність залишається в блоці до тих пір поки вихідний порт не розблокується. Час обслуговування (Service Time) визначається через параметри, атрибути або сигнали в залежності від значення параметра *Service Time From*. Блок визначає час обслуговування пакетів при її надходженні. Часи обслуговування визначаються в довільних одиницях (мкс, мс, с...).

Значення параметра *Service Time From*:

*Dialog* - значення часу обслуговування задаються в полі параметра *Service Time*;

*Attribute* - значення часу обслуговування задаються атрибутом, ім'я якого зазначено в поле параметра *Attribute name*. У моделі даний атрибут називається *length*, оскільки пакети послуг передаються різного розміру з різним розподілом то для їх обслуговування затрачається різний час;

*Signal port t* - значення часу обслуговування задаються через сигнальний порт *t*. Сигнал повинен бути подієвим (event-based). Якщо виставлено це значення, то у блоку з'являється додатковий сигнальний порт *t*.

Для збору статистики блоку потрібно відзначити галочкою потрібні сигнали на вкладці *Statistics* в панелі властивостей блоку. Якщо відзначений відповідний пункт, то у блоку з'являється новий сигнальний вихідний порт, на який виводиться наступна статистична інформація:

#d - число пакетів, що залишили блок через порт OUT після початку моделювання;

#n - число пакетів в сервері, 0 або 1;

w - середній час очікування в цьому блоці для всіх пакетів, які залишили блок;

util – утилізація (коефіцієнт завантаження) сервера (маршрутизатора), тобто частка часу моделювання, використана на зберігання пакетів. На початку моделювання утилізація дорівнює 0 або 1 в залежності від того чи зберігає сервер пакет.

Для завершення процесу передавання пакетів використовується блок *Entity Sink*.

Для виведення результатів моделювання у вигляді графіків використовується блок *Signal Scope* з розділу бібліотеки *SimEvents Sinks*.

### **3.2. Моделювання системи обслуговування потоків даних в мультисервісних вузлах мережі із використанням механізмів віртуалізації**

Моделювання – найпотужніший універсальний метод дослідження та оцінювання ефективності різних систем, включаючи і процес обслуговування потоків в мультисервісних вузлах мережі, поведінка яких залежить від дії випадкових чинників.

З урахуванням головного цільового завдання теорії, концепції моделювання процесів функціонування систем, характеристик, прийнятих для опису ресурсів, інформаційно-телекомунікаційну систему як об'єкт теоретичних досліджень можна представити у вигляді сукупності взаємодіючих систем масового обслуговування (СМО) шести типів (ресурсу пам'яті, ресурсу обчислень, ресурсу транспортування інформації, ресурсу пошуку адреси, ресурсів розпізнавання і відображення інформації) з відповідними потоками заявок на обслуговування до кожного типу СМО.

Очевидно, що під час роботи системи в мультизадачному режимі потоки заявок систематично генеруються функціональними задачами розподіленої системи, включеними у пакети завдань або в оперативний режим.

Згідно з теорією, дослідження якості функціонування систем і синтез їх оптимальної структури базуються на представленні інформаційно-телекомунікаційної системи як СМО, однак дослідженню системи у цілому передують систематичний виклад основ моделювання її складників.

Оцінюють якість і оптимізацію розподілених інформаційно-обчислювальних систем (розподілених віртуальних роутерів у нашому випадку) за допомогою аналітичних (математичних) і імітаційних (програмних) моделей, а також методів експериментального дослідження.

В порівнянні з аналітичним моделювання імітаційне знімає більшість обмежень, пов'язаних з можливістю відтворення в моделях реального процесу функціонування системи, яку досліджують. В даному випадку досліджується маршрутизатор мультисервісної мережі з розгортанням у ньому віртуальних роутерів. Використання імітаційного моделювання дає можливість відобразити динамічну взаємну обумовленість поточних і наступних подій, комплексний взаємозв'язок між параметрами і показниками ефективності системи тощо. Хоч імітаційні моделі в окремих випадках не такі лаконічні, як аналітичні моделі, проте їх можна як завгодно близько наблизити до реальної системи, яку моделюють, і зробити простими у використанні для дослідження. Такий підхід моделювання дає змогу використовувати імітаційні моделі як універсальний засіб для прийняття певних рішень в умовах невизначеності, беручи до уваги що в моделях бувають чинники, які складно формалізувати, а також використовувати основні принципи системного підходу для розв'язування практичних задач в інформаціо-телекомунікаційних системах.

Описи компонентів реальної системи обслуговування інформаційних потоків в імітаційній моделі містять в собі певний логіко-математичний характер, який складається з алгоритмів, які імітують функціонування маршрутизатора мультисервісної мережі. Програма моделі, побудована на базі цих алгоритмів, дає змогу звести імітаційне моделювання до проведення експериментів на ЕОМ шляхом їхнього „прогону” на деякій множині вхідних даних, які імітують первинні події, що відбуваються в системі. Відповідно, отримана інформація, яка фіксується у процесі моделювання та дослідження моделі, дає змогу визначити та порівняти потрібні показники, що характеризують ефективність роботи маршрутизатора в умовах стандартного функціонування та при використанні запропонованого методу віртуалізації ресурсів маршрутизатора при розгортанні декількох віртуальних роутерів на одному фізичному, структурні параметри яких є адаптовані до гарантованого



забезпечення вимог QoS інформаційних потоків даних [112] . При моделюванні процесу роботи маршрутизатора використовується запропоновані моделі статичної та динамічної реконфігурації ресурсів маршрутизатора для порівняння ефективності функціонування маршрутизатора із стандартним режимом обробки пакетів за порядком черги fifo.

### ***3.2.1. Моделювання та порівняння систем обслуговування інформаційних потоків з статичною реконфігурацією ресурсів маршрутизатора та обробкою пакетів за порядком черги fifo***

Для перевірки запропонованих у другому розділі технічних рішень по підвищенню та забезпеченню гарантованого рівня якості обслуговування інформаційних потоків в мультисервісній мережі проведено імітаційне моделювання розробленої моделі із статичною віртуалізацією ресурсів маршрутизатора. Для моделювання використано запропоновану модель пакетного маршрутизатора з віртуалізацією та без віртуалізації ресурсів (рис.3.3). На рисунку 3.5 показано конфігурацію моделі в умовах коли на одному фізичному маршрутизаторі розгортається три окремих віртуальних маршрутизатора, які функціонують не залежно один від одного, обслуговуючи лише потоки свого класу для яких необхідно забезпечити допустимі значення QoS. В процесі моделювання генеруються послуги голосу, відео і дані кожна з яких характеризується своїм допустимим рівнем якості обслуговування згідно рекомендацій ITU-T. Також, в моделі потрібно врахувати, що при розгортанні віртуальних маршрутизаторів так само, як і при розгортанні віртуальних машин загальні ресурси оперативної пам'яті, CPU та буферної пам'яті діляться в залежності від кількості виділених незалежних машин (маршрутизаторів) та від статичної конфігурації пропорцій наданих у використання ресурсів. В моделі зіставлено продуктивність маршрутизатора із витратами часу при обслуговуванні пакету або часом займання процесорного ресурсу. Оскільки номінальна частота процесора маршрутизатора є найбільш вагомим

показником продуктивності, то згідно аналізу технічного паспорту виробників маршрутизаторів середній час обслуговування пакетів в залежності від CPU наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Залежність часу обслуговування пакетів від процесорної частоти маршрутизатора

| CPU-частота процесора маршрутизатора<br>(МГц) | Середній час обслуговування пакетів<br>(мкс) |
|---|--|
| 1400  | 10   |
| 850   | 20   |
| 650   | 25   |
| 450   | 35   |

Тому, в умовах коли розгортається 3 віртуальних маршрутизатора на одному фізичному, отримуємо такий розподіл ресурсів при статичному виділені (рис.3.5.-3.6.).

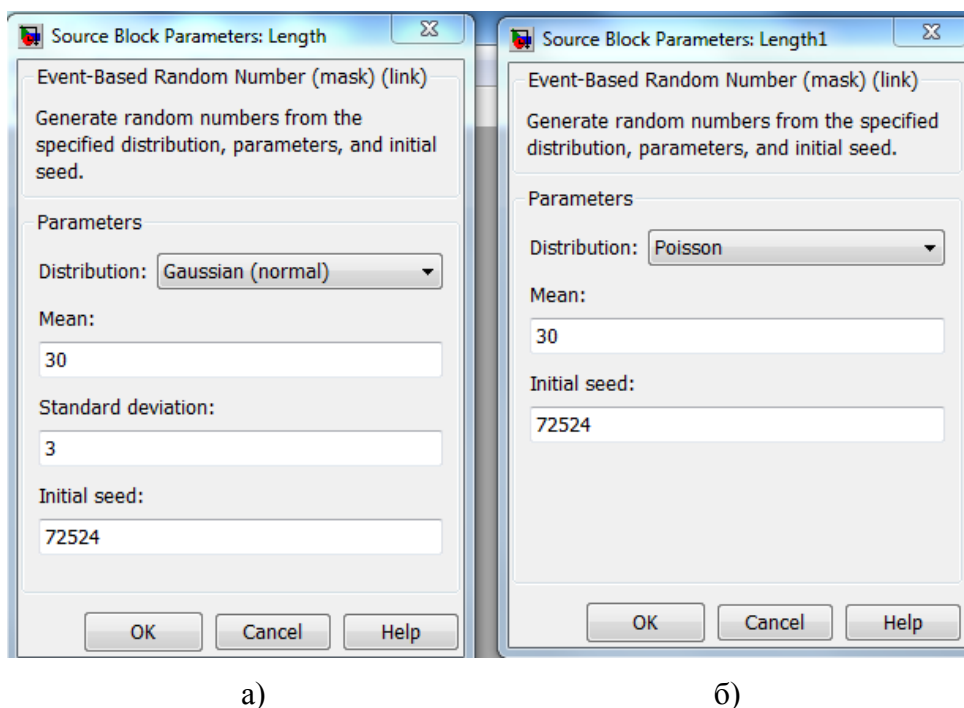
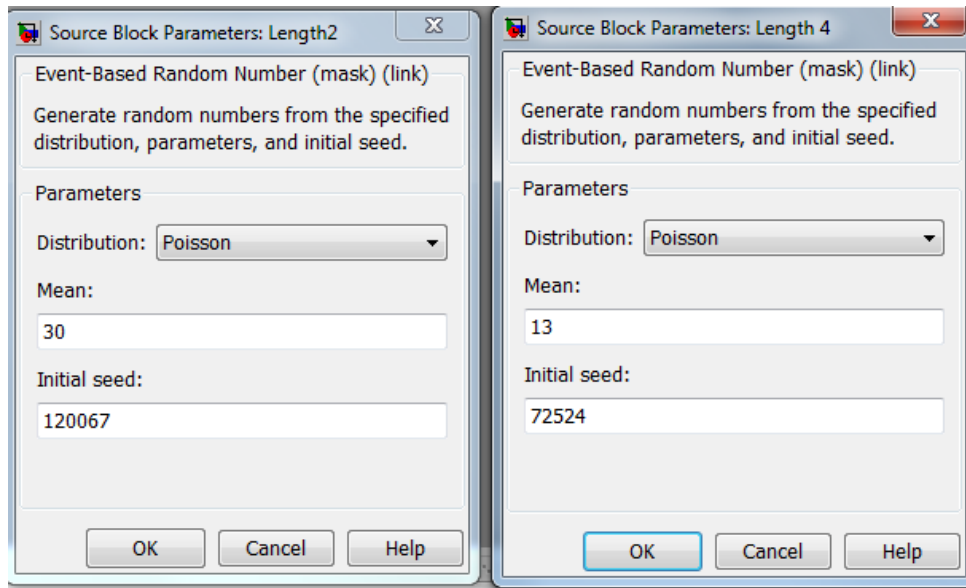


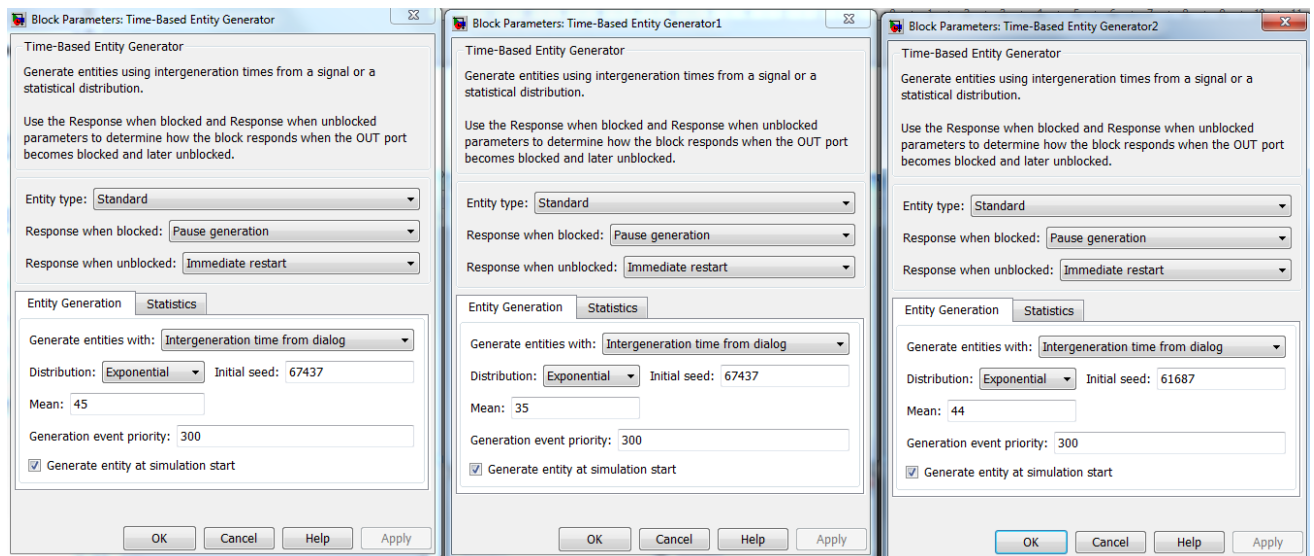
Рис.3.5. Час обслуговування 30 мкс а) - маршрутизатор 1 CPU-450 МГц  
б) - маршрутизатор 2 CPU-450 МГц



в)

г)

Рис.3.6. Час обслуговування 30 мкс в) - маршрутизатор 3 CPU-450 МГц  
г) - маршрутизатор 4 (без віртуалізації) CPU-1400 МГц



а)

б)

в)

Рис.3.7. Генерація інтенсивностей надходження пакетів послуг а) - відео, б)-  
голосу і в) – даних

Генерування мультисервісного потоку відбувається від трьох незалежних джерел (рис.3.7) з різною інтенсивністю пакетів та з експоненціальним

розподілом між пакетної відстані. Відповідно на виході мережевого пристрою отримуємо агрегований гіперекспоненційний розподіл інтервалів між пакетної відстані характерний для реальних потоків мультисервісних мереж.

Задавши необхідні вхідні дані моделі на рисунку 3.8 показано моменти надходження пакетів послуг від трьох джерел відео, голос і дані. На рисунках 3.9-3.12 відображено потоки послуг відео, голосу та даних, які надходять на мережевий пристрій з віртуальними маршрутизаторами. З даних графіків можна отримати інформацію про кількість згенерованих пакетів протягом моделювання та їх тривалості між пакетної відстані. А також з рисунка 3.12 бачимо, що після виходу пакетів із трьох генераторів вони поступають на блок *path combiner* зображеного на схемі 3.3 моделі досліджуваного пакетного маршрутизатора та агрегуються в один потік.

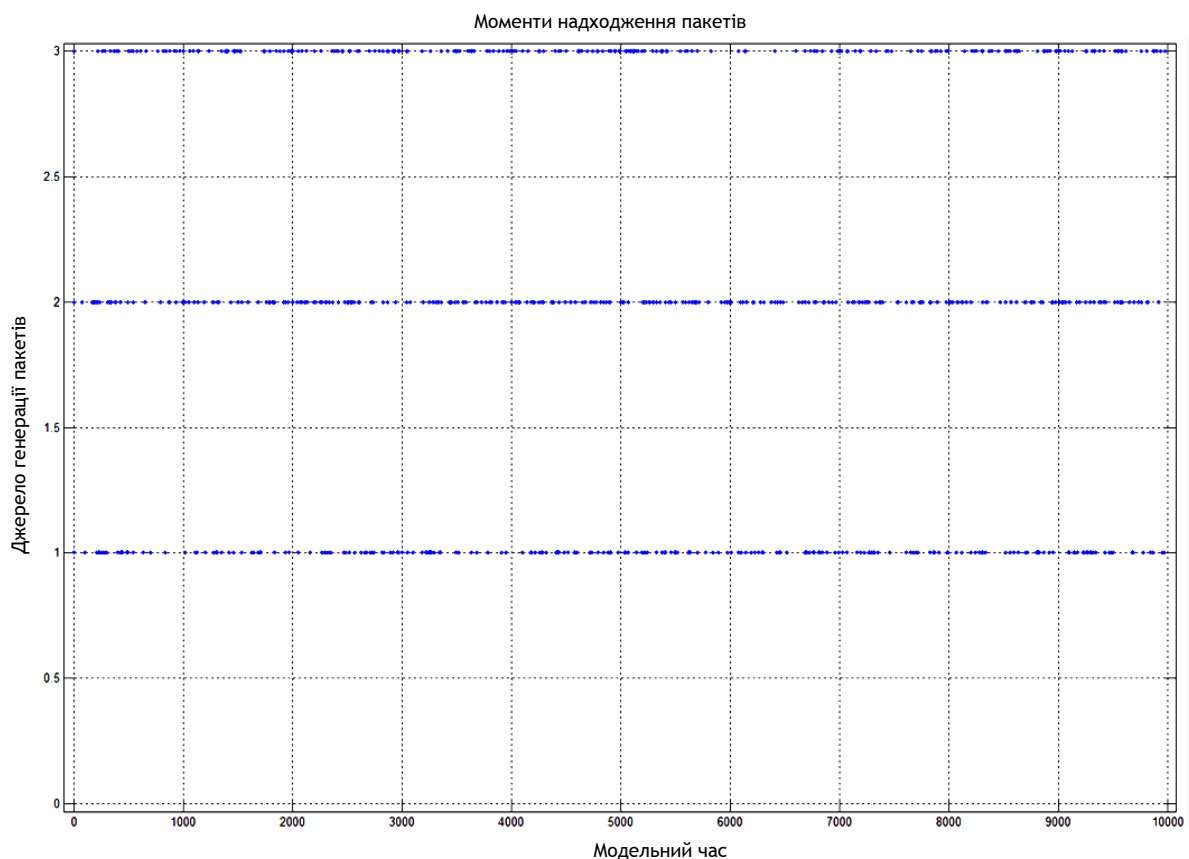


Рис.3.8. Генерація моментів надходження пакетів послуг 1) - відео, 2)- голосу і 3) – даних

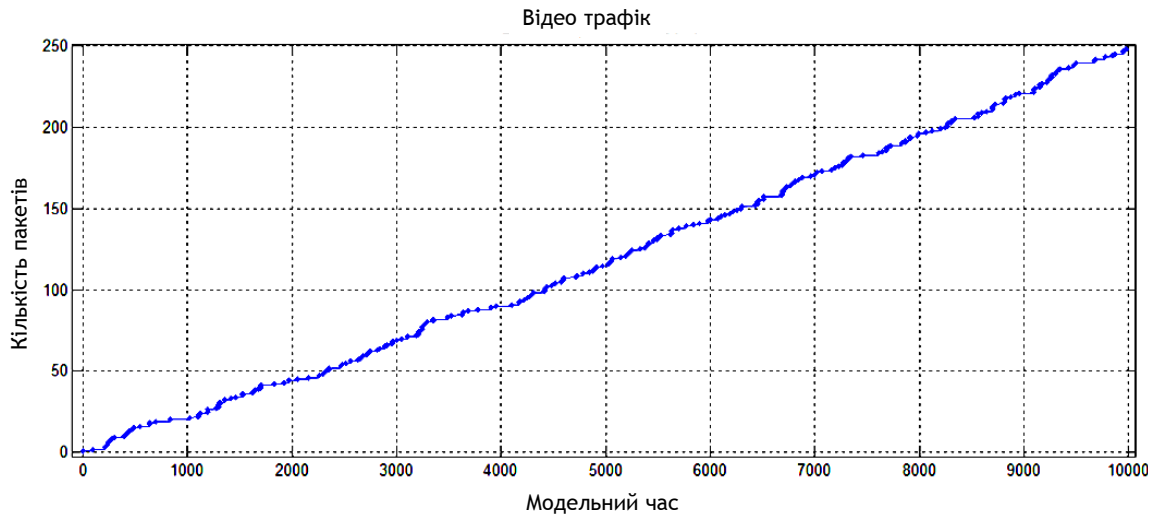


Рис.3.9. Генерація відео трафіку

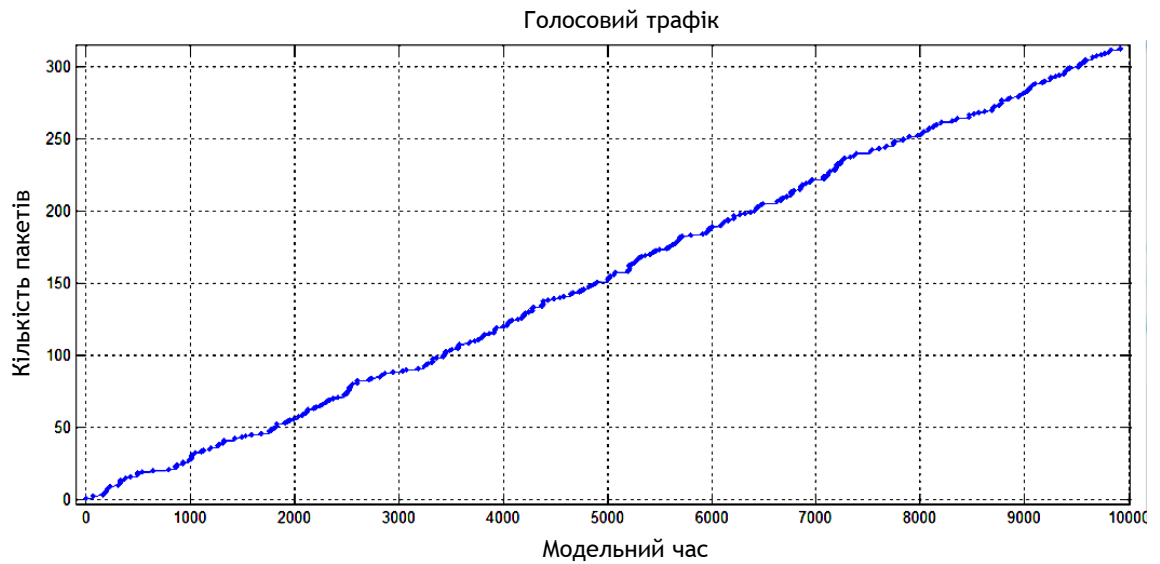


Рис.3.10. Генерація голосового трафіку

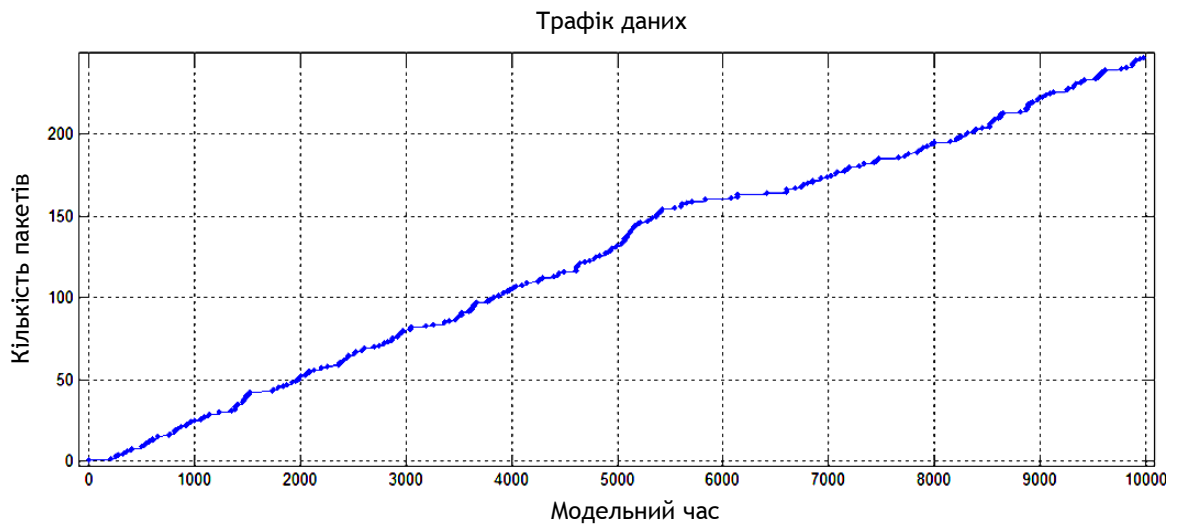


Рис.3.11. Генерація трафіку даних

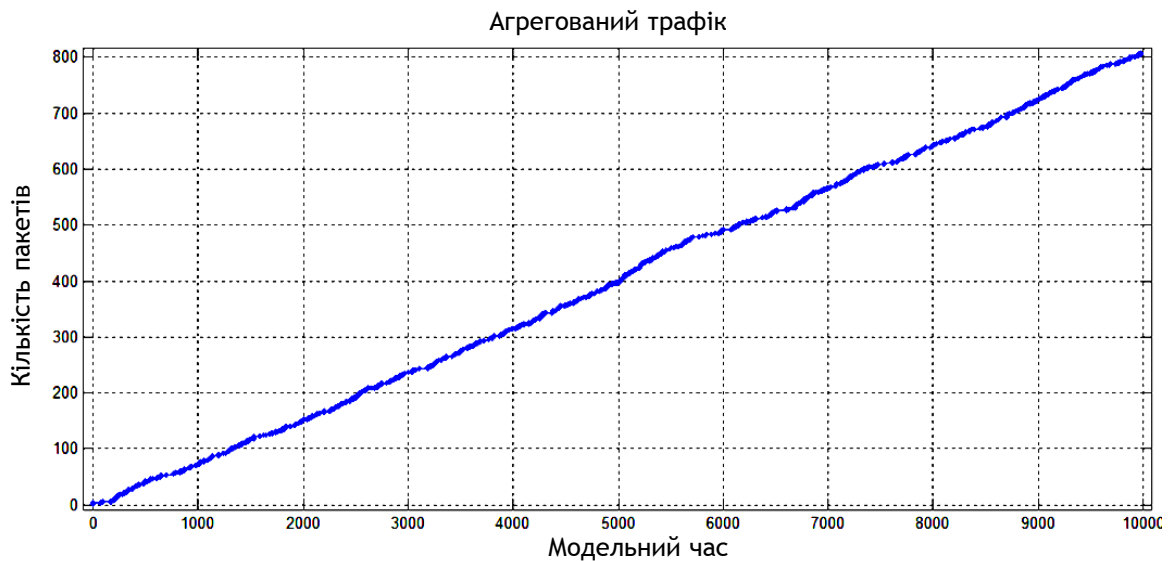


Рис.3.12. Агрегований потік

Відповідно згенерувавши мультисервісний потік, пакети послуг поступають на віртуальні обслуговуючі пристрої маршрутизатора свого призначення, за кожним із яких закріплені свої вихідні порти мережевого пристрою. Функцію даних віртуальних обслуговуючих пристроїв зображено в моделі блоками *Single Server1*, *Single Server2*, *Single Server3* та обслуговуючого пристрою без віртуалізації *Single Server4*. На рисунках 3.13-3.15 наведені діаграми завантаження кожного віртуального маршрутизатора в залежності від інтенсивності вхідного потоку.

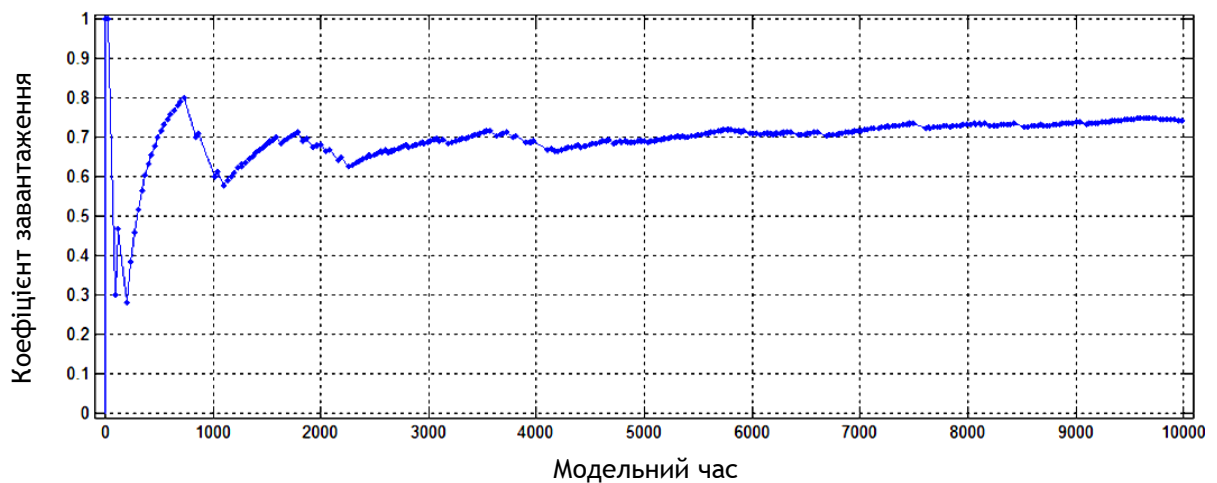


Рис.3.13. Завантаження віртуального обслуговуючого пристрою відео потоками

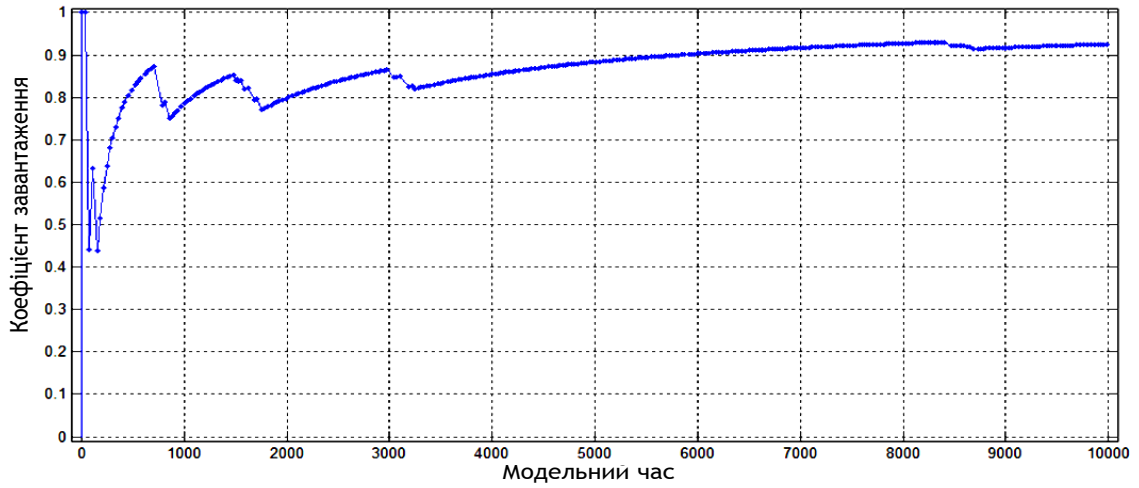


Рис.3.14. Завантаження віртуального обслуговуючого пристрою потоками  
голосу

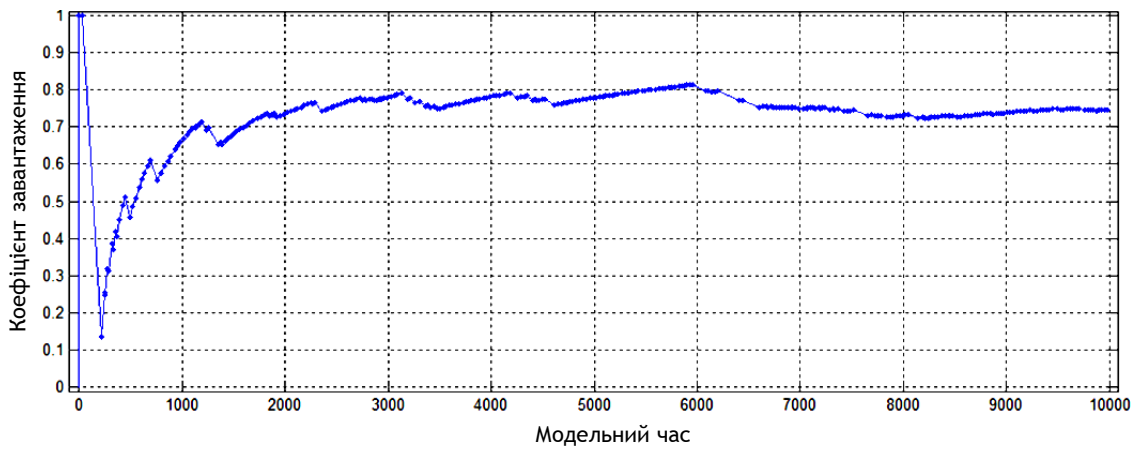


Рис.3.15. Завантаження віртуального обслуговуючого пристрою потоками  
даних

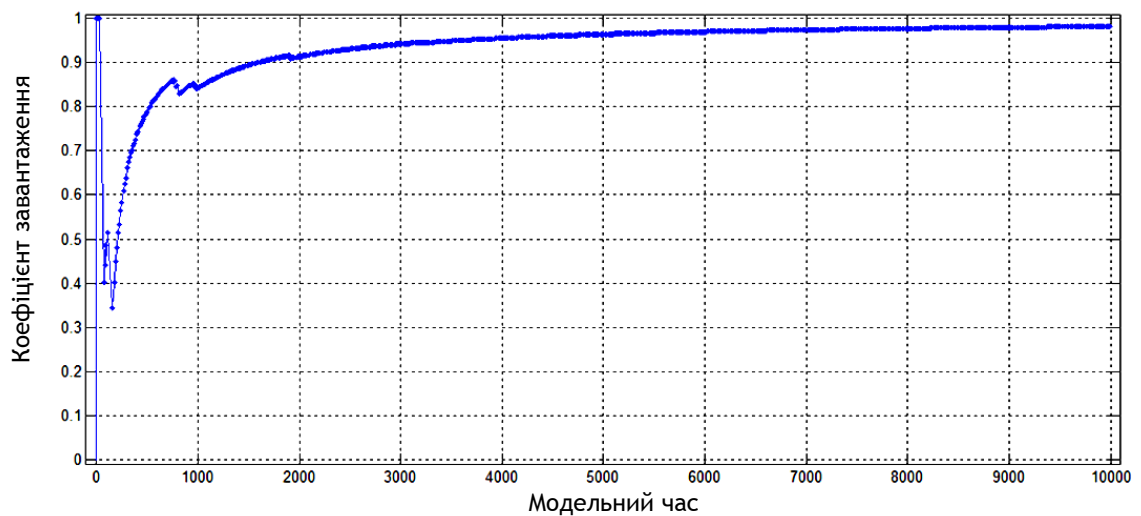


Рис.3.16. Завантаження обслуговуючого пристрою фізичного маршрутизатора  
потоками Triple Play

Отже, з результатів моделювання бачимо вузькі місця, які можуть призвести до погіршення рівня QoS. Відповідно найбільшого завантаження обслуговуючого пристрою зазнає віртуальний маршрутизатор при обробленні потоків голосу, що пояснюється високою інтенсивністю вхідного потоку в даному випадку голосових пакетів (рис.3.14). Також на рисунку 3.16 представлено завантаження обслуговуючого пристрою маршрутизатора без віртуалізації при обслуговуванні агрегованого потоку згенерованого від трьох джерел. В такому випадку завантаження максимально близько наближається до повного перевантаження (до одиниці) і може призвести до погіршення якості обслуговування потоків при обмеженій ємності буфера.

Тому, в процесі моделювання спостерігались завантаження буферів віртуальних маршрутизаторів та маршрутизатора без використання віртуалізації при обслуговуванні цих же потоків з допомогою блоків *Queue length*. В моделі функції буферів віртуальних маршрутизаторів виконують блоки *FIFO Queue1*, *FIFO Queue2*, *FIFO Queue3* та буфера маршрутизатора без віртуалізації *FIFO Queue 4*. Ємності буферів сконфігуровані з не скінченим розміром та без відкидання пакетів з метою визначення максимальної кількості пакетів, які буферизуються протягом модельного часу спостереження роботи маршрутизатора. Дисципліна обслуговування пакетів з буфера відбувається за принципом перший прийшов перший вийшов (FIFO). За відображення кількості пакетів у буфері віртуальних маршрутизаторів протягом модельного часу відповідають блоки *Queue Length 1*, *Queue Length 2*, *Queue Length 3* та без віртуалізації *Queue Length 4*. На рисунках 3.17-3.20 показано завантаженості буферів досліджуваних систем обслуговування інформаційних потоків.



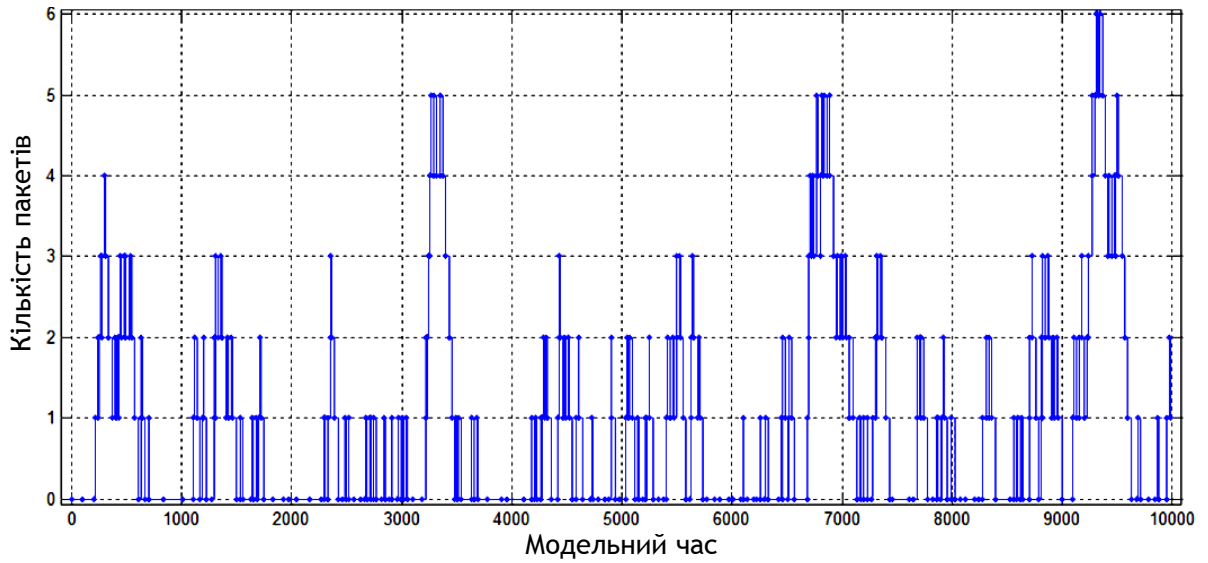


Рис.3.17. Завантаження буфера віртуального маршрутизатора потоками відео

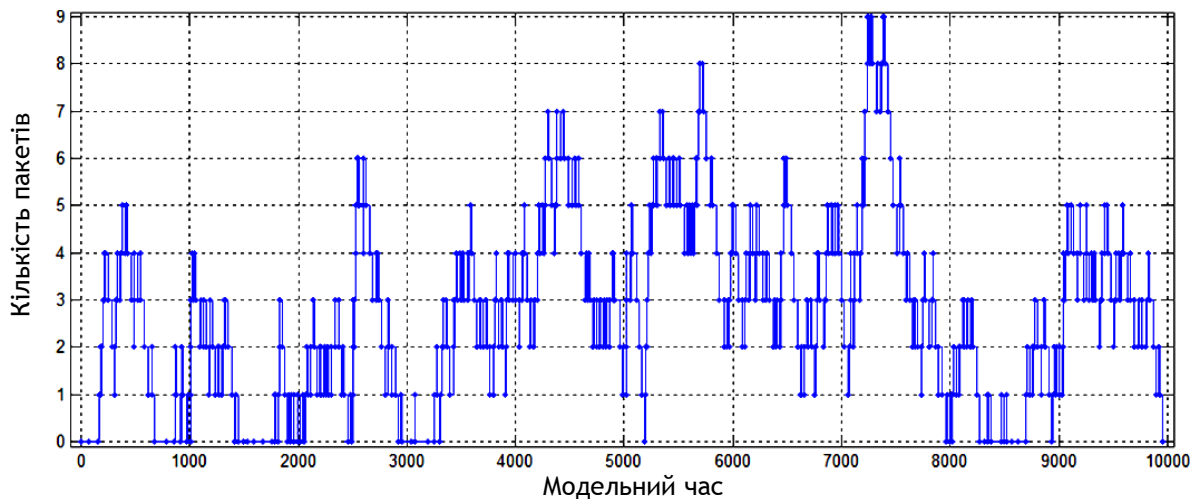


Рис.3.18. Завантаження буфера віртуального маршрутизатора потоками голосу

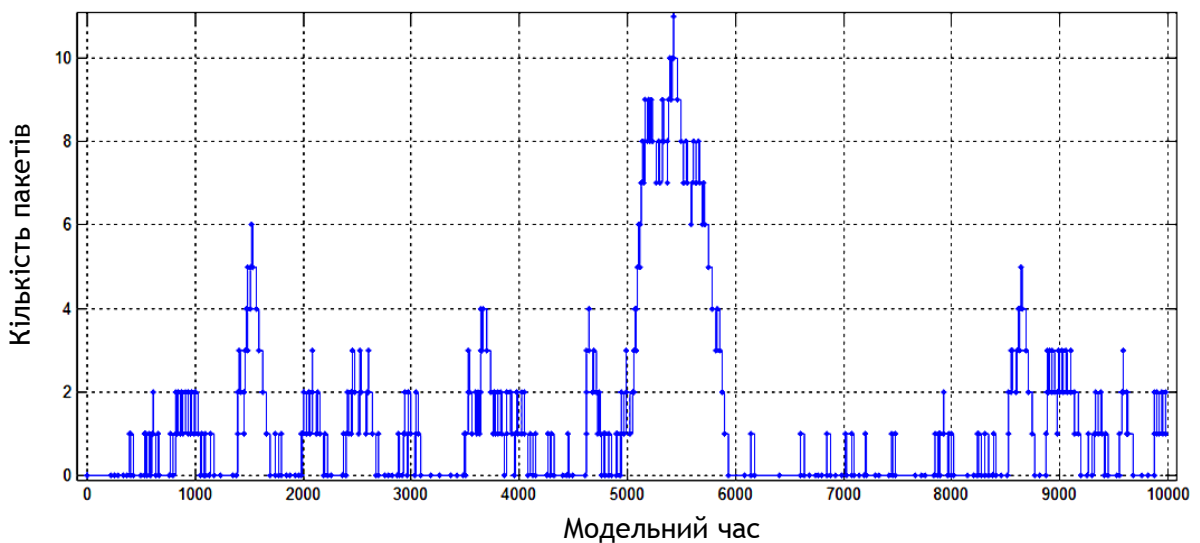


Рис.3.19. Завантаження буфера віртуального маршрутизатора потоками даних

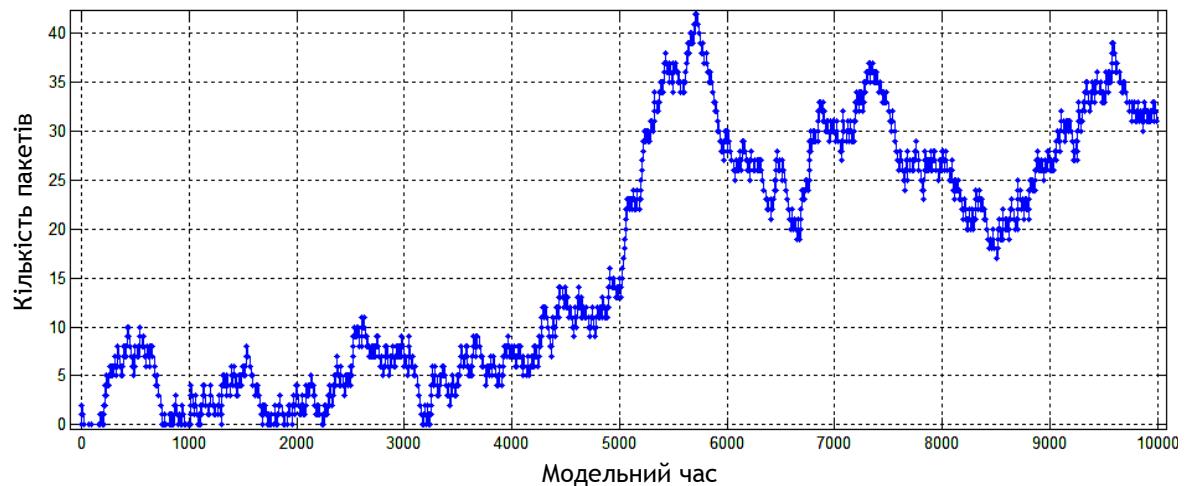


Рис.3.20. Завантаження буфера фізичного маршрутизатора потоками Triple Play

Проаналізувавши отримані результати, бачимо, що максимальне кількість пакетів у буфері розміром 11 пакетів спостерігається у віртуальному маршрутизаторі при обслуговуванні потоку даних. Проте, якщо подивитись по середньому завантаженні буфера протягом моделювання то найбільша кількість пакетів, які буферизуються спостерігається у віртуальному маршрутизаторі з обслуговування потоку голосу - 6 пакетів. Відповідно затримка буферизації у віртуальному маршрутизаторі при обслуговуванні пакетів голосу буде вищою в порівнянні з іншими двома віртуальними маршрутизаторами.

На рисунку 3.20 відображено завантаженість буфера без віртуалізації ресурсів маршрутизатора за стандартним принципом обслуговування з дисципліною FIFO. Як бачимо після 5000 модельного часу спостереження в буфері появляється значна кількість пакетів агрегованого потоку. При порівнянні із статичною віртуалізацією обчислювальних ресурсів маршрутизатора є недолік по забезпеченню оптимального розміру буфера, оскільки при стандартному обслуговування пакетів ємність буфера повинна бути встановленою у розмірі зберігання більше 41 пакетів для гарантування без втратної інформації. При віртуалізації ресурсів мережевого пристрою сума

максимальної кількості пакетів трьох віртуальних буферів становить 26 пакетів (без втрат пакетів), що є меншим від маршрутизатора, який обслуговує ці потоки без віртуалізації. Отже, необхідно пам'ятати, що занадто великий розмір мережевого буфера за невеликої пропускної здатності приведе до значних затримок. Але, з іншого боку, занадто малий розмір буфера за високих швидкостей передавання приведе до втрати пакетів. На цьому етапі починають з'являтися проблеми щодо вибору оптимальних відносно мінімальних затримок та втрат пакетів розмірів мережевих буферів [110].

Внаслідок попадання пакетів у буфер виникають затримки буферизації пакетів, які впливають на кінцеву затримку та як наслідок на якість сприйняття послуги [114]. Відповідно в моделі за моніторинг затримки буферизації віртуальних маршрутизаторів відповідаються блоки *Queue Waiting Time 1*, *Queue Waiting Time 2*, *Queue Waiting Time 3* та без віртуалізації *Queue Waiting Time 4*.

На рисунках 3.21-3.24 показано затримки буферизації віртуальних маршрутизаторів та фізичного маршрутизатора без використання віртуалізації.

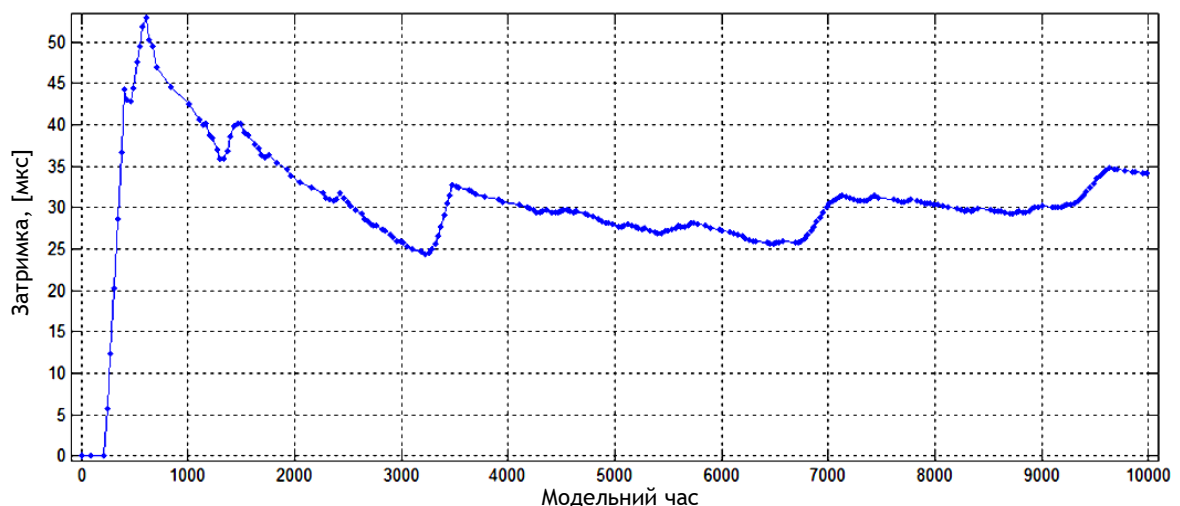


Рис.3.21. Затримка буферизації віртуального маршрутизатора при обслуговуванні відео потоку

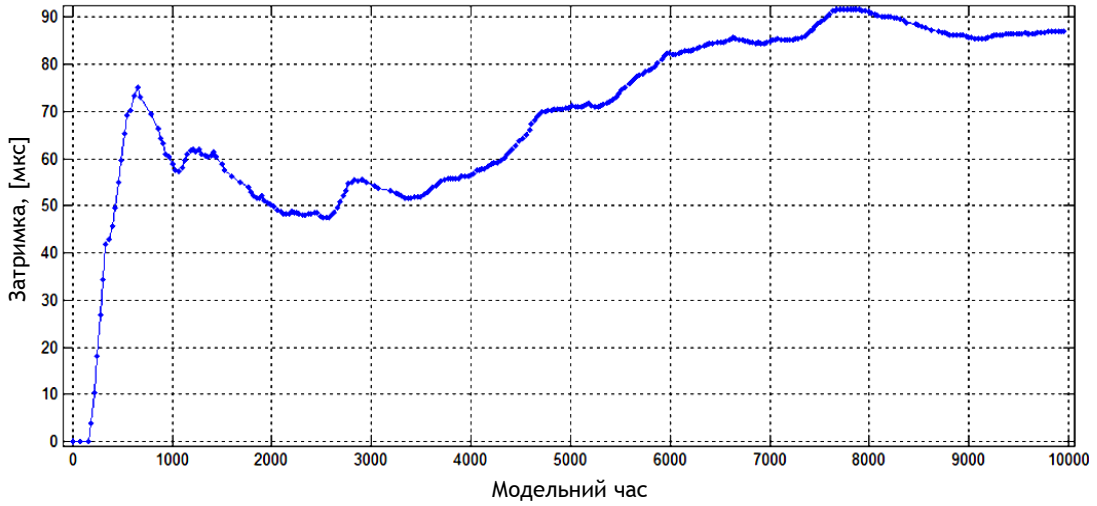


Рис.3.22. Затримка буферизації віртуального маршрутизатора при обслуговуванні голосового потоку

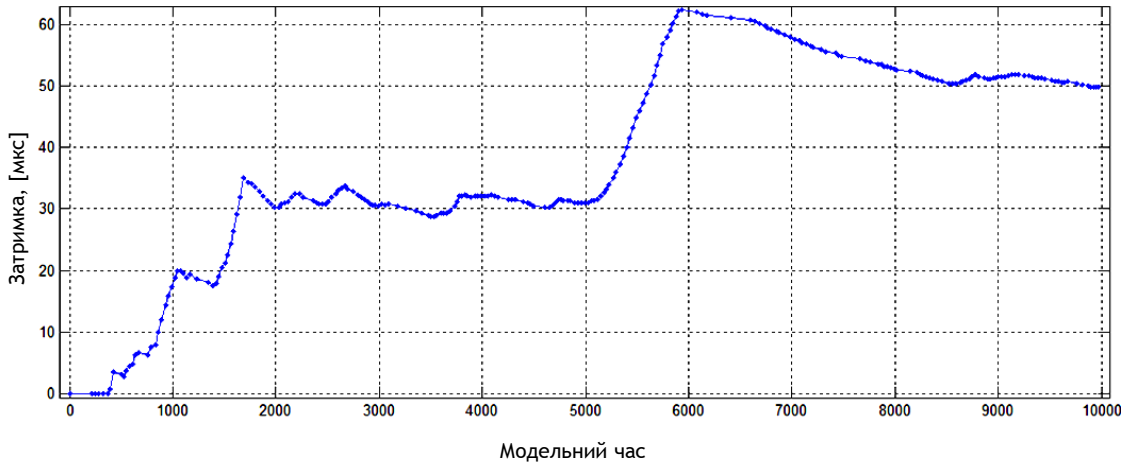


Рис.3.23. Затримка буферизації віртуального маршрутизатора при обслуговуванні потоку даних

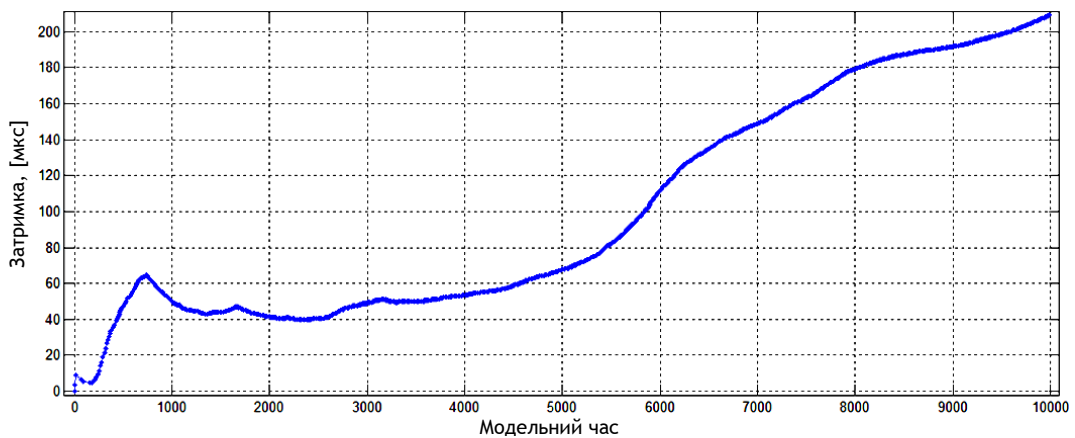


Рис.3.24. Затримка буферизації фізичного маршрутизатора при обслуговуванні агрегованого потоку

Як бачимо з рисунку 3.22 значної тривалості затримки пакетів у буфері зазнає віртуальний маршрутизатор при обслуговуванні голосового потоку в порівнянні з іншими віртуальними маршрутизаторами. Максимальна затримка буферизації у фізичному маршрутизаторі при обслуговуванні агрегованого трафіку досягає 210 мкс. Однозначно, що маршрутизатор з таким принципом роботи має високу ймовірність того, що потоки впливатимуть один на одного на кінцеву якість сприйняття. Та без використання ефективних механізмів розподілу ресурсів між пріоритетними потоками зазнаватимуть погіршення QoS.

Оскільки на вхід маршрутизатора поступають пакети з різною довжиною, то інтерфейсна затримка буде різною, затримка обслуговування процесором є сталою величиною для всіх пакетів і залежить від номінальної частоти процесора мережевого пристрою. Блоки *Server Waiting Time* у розробленій імітаційній моделі відповідають за моніторинг даного типу затримки. Результати, яких показано на рисунку 3.25-3.28

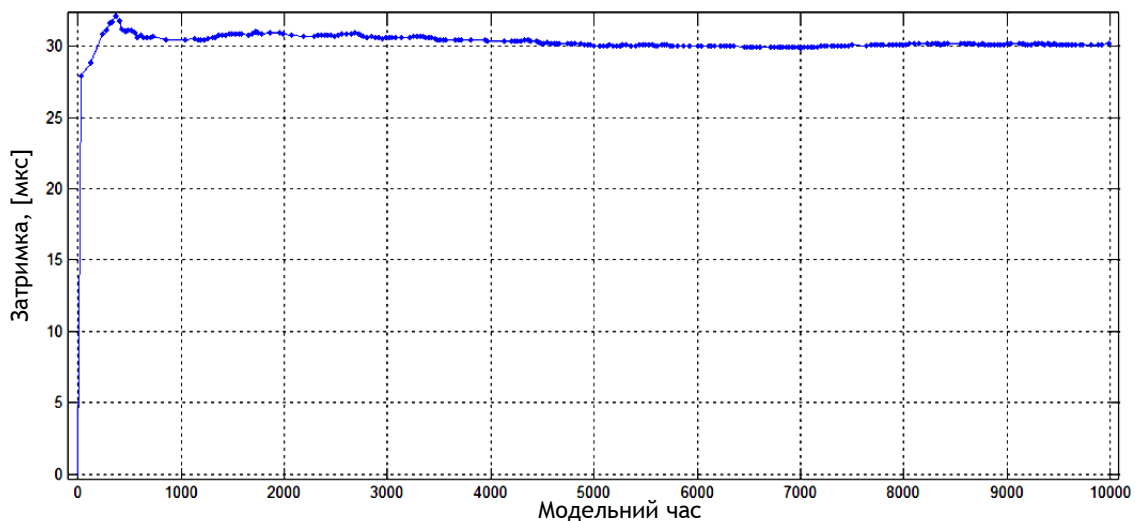


Рис.3.25. Сума процесорної та інтерфейсної затримки пакетів віртуального маршрутизатора при обслуговуванні відео потоку

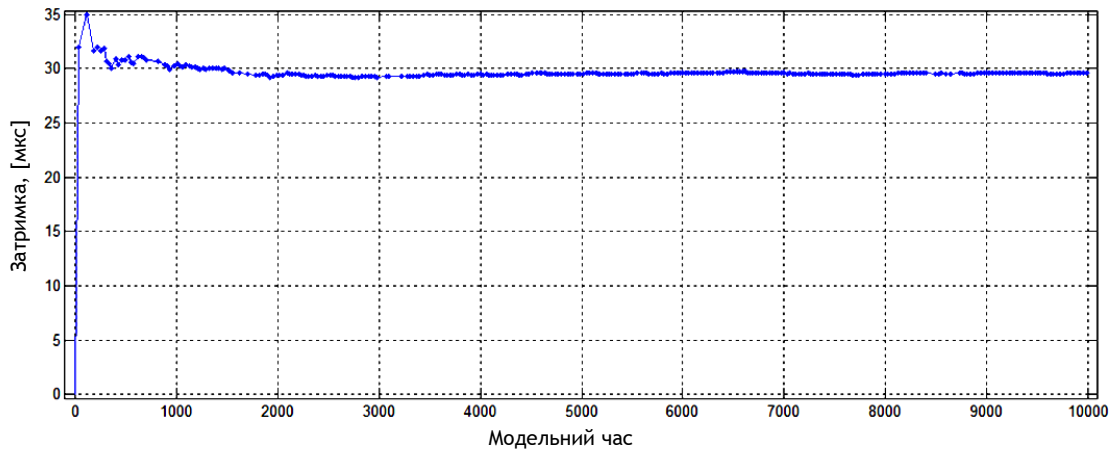


Рис.3.26. Сума процесорної та інтерфейсної затримки пакетів віртуального маршрутизатора при обслуговуванні голосового потоку

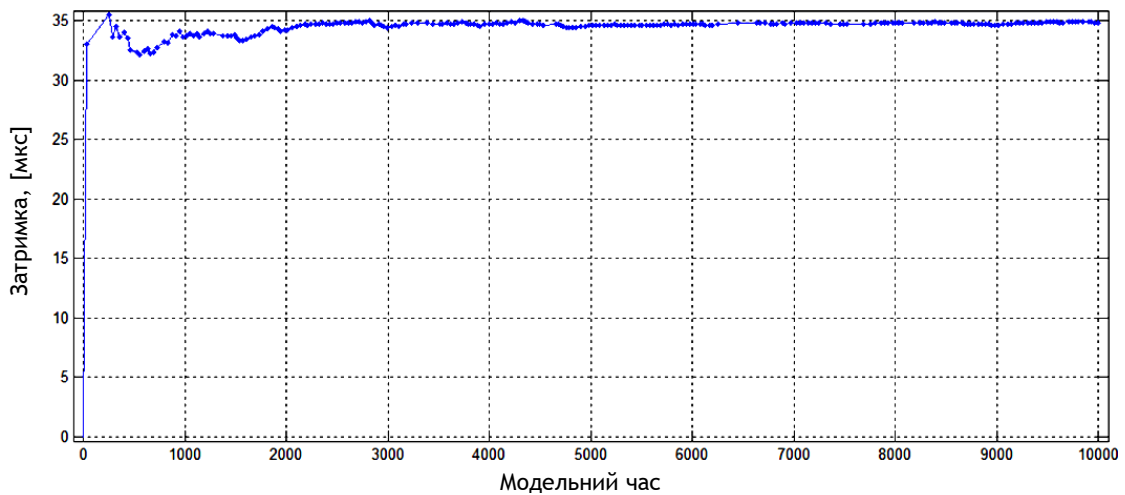


Рис.3.27. Сума процесорної та інтерфейсної затримки пакетів віртуального маршрутизатора при обслуговуванні потоку даних

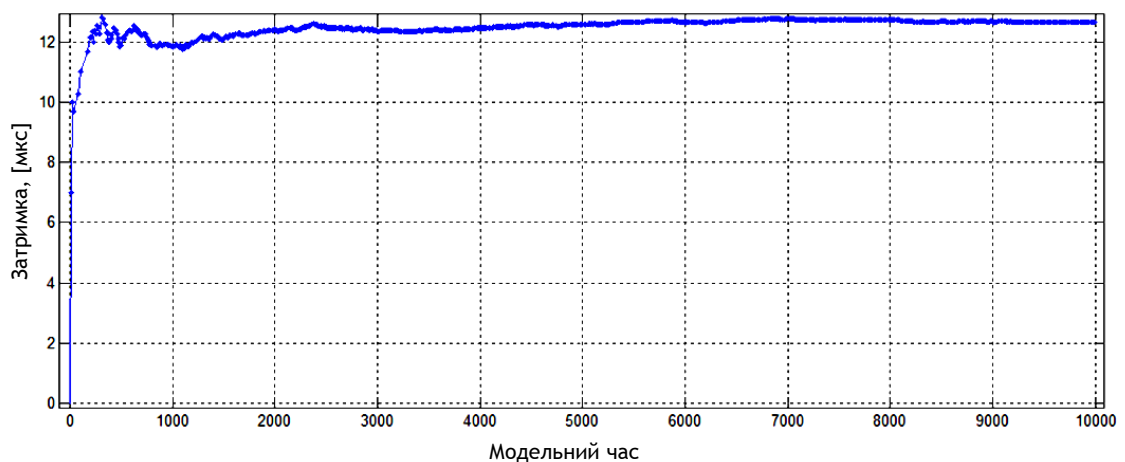


Рис.3.28. Сума процесорної та інтерфейсної затримки пакетів фізичного маршрутизатора при обслуговуванні агрегованого потоку

З рисунку 3.28 видно, що сума процесорної та інтерфейсної затримки пакетів фізичного маршрутизатора при обслуговуванні відео потоку та без використання віртуалізації є нищою у 2.5- 3 рази у порівнянні із затримкою, яка виникає у віртуальних маршрутизаторах класового призначення. У даному випадку це пояснюється тим, що ресурси тактової частоти процесора використовуються повністю для процесу обслуговування пакетів. На відміно від віртуальних маршрутизаторів у яких в рамках одного фізичного процесора відбувається симуляція трьох віртуальних процесорів в рамках одного фізичного маршрутизатора.

Кінцевим результатом запропонованої імітаційної моделі є порівняння результатів затримки пакетів послуг систем обслуговування інформаційних потоків з статичною реконфігурацією ресурсів маршрутизатора (організація трьох віртуальних маршрутизаторів) та обробкою пакетів за порядком черги FIFO в одному фізичному маршрутизаторі (рис.3.29).

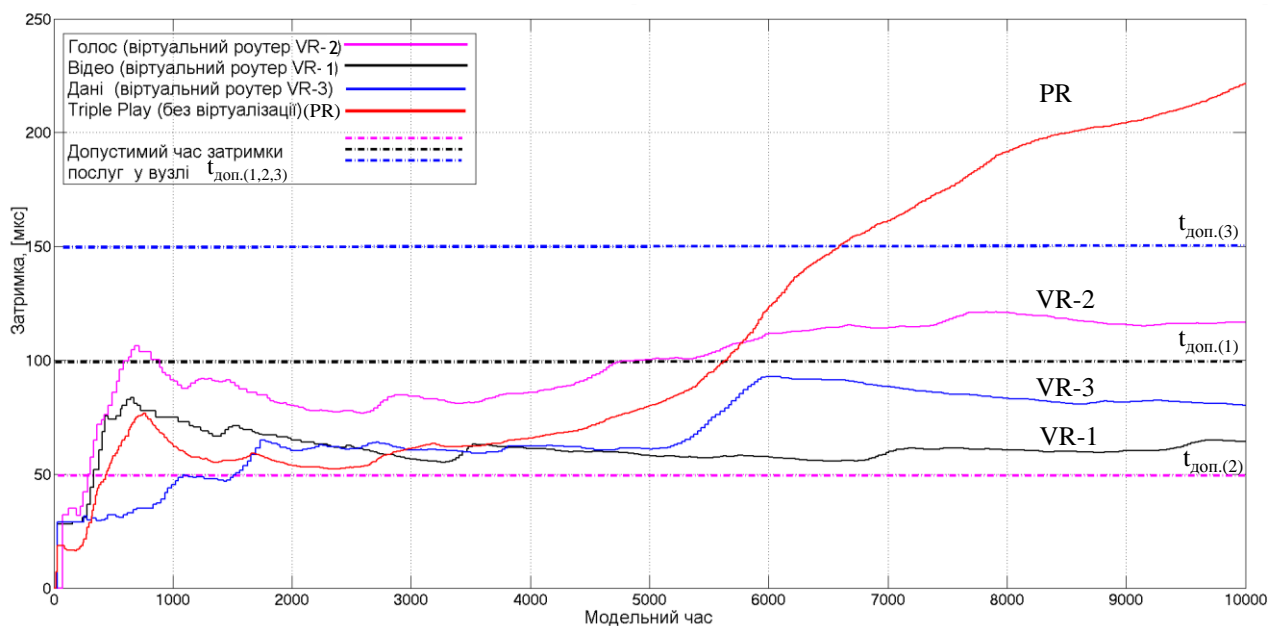


Рис.3.29. Порівняння тривалостей затримок пакетів в маршрутизаторі без віртуалізації та з статичною віртуалізацією ресурсів мережевого пристрою

На рисунку 3.29 відображено затримки, які виникають на кожному із віртуальних роутерів при обслуговуванні свого типу трафіку. Відповідно, для кожного із потоків є своя допустима тривалість перебування пакета у вузлі в залежності від чутливості сервісу до затримок згідно рекомендацій IT-UT. У випадку перевищенні допустимої затримки потоками у вузлі, вважається, що сервіс зазнає погіршення якості обслуговування за критерієм мінімальної затримки. Крива PR відображає затримку потоків Triple Play, яка виникає у звичайних маршрутизаторах без використання віртуалізації за принципом обслуговування черг FIFO. Недоліком, є те, що при такій системі обслуговування потоків невідомо, який пакет якого сервісу зазнає затримки в певний момент часу і дізнатися про перевищення допустимої межі складно. На відміну від попередньої системи, система обслуговування потоків з віртуалізацією мережевого пристрою, дає змогу фіксувати затримку для кожного потоку окремо протягом усього модельного часу та визначати у які моменти часу відбувається перевищення допустимих норм по затримці.

Отже, з результатів моделювання бачимо, що починаючи із 6600 модельного часу обслуговування мультисервісних потоків фізичним маршрутизатором без віртуалізації не забезпечує належного рівня QoS, оскільки кінцева затримка перевищує допустимі норми кожного із потоків. Тому наглядно видно переваги статичної віртуалізації ресурсів маршрутизатора, при використанні якої потокам відео (крива - VR1) і даних – (крива - VR3) забезпечується допустима затримка. Проте фіксується і затримка голосового потоку внесена віртуальним роутером VR2 у якій фіксуються моменти перевищення допустимої затримки. Як бачимо застосування технології статичної віртуалізації мережевого пристрою не здатна повністю забезпечити гарантованого рівня QoS усім присутнім потокам в мережі за критерієм мінімальної затримки. Вирішення даної проблеми, пропонується шляхом використання динамічної реконфігурації ресурсів мережевого



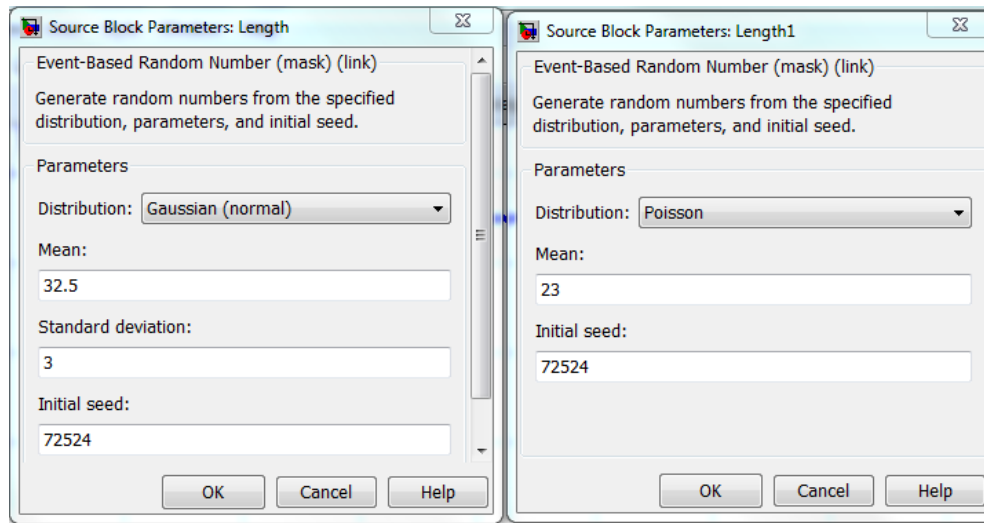
пристрою для організації віртуальних маршрутизаторів, який дає змогу гнучкіше управляти ресурсами в певні моменти часу в залежності від вхідного навантаження.

### ***3.2.2. Моделювання та порівняння системи обслуговування інформаційних потоків з динамічною реконфігурацією ресурсів маршрутизатора та обробкою пакетів за порядком черги *fifo****

Для організації динамічного виділення обчислювальних ресурсів фізичного мережевого пристрою між віртуальними маршрутизаторами, необхідно в блоках *length* імітаційної моделі змінити середні значення тривалостей обслуговування пакетів, які залежать від номінальної частоти процесора. Оскільки, віртуальний маршрутизатор, який відповідає за голосову обробку пакетів не забезпечував належного рівня якості обслуговування за критерієм мінімальної затримки при статичному виділенні ресурсів, то при динамічному виділенні блок менеджер ресурсів збільшить для даної машини віртуальну частоту процесора ( тим самим зменшується середня тривалість перебування пакетів у віртуальному вузлі, оскільки інтенсивність його обслуговування збільшується) на практиці це робиться шляхом виділення більшого часу використання загального процесорного ресурсу певної віртуальної машини.

Отже, теоретично досягнути різних продуктивностей віртуальних маршрутизаторів на одному мережевому пристрої з одним фізичним процесором частотою 1400 МГц, можна шляхом зміни віртуального часу використання процесора. Які б практично відповідали продуктивностям маршрутизаторам з різною номінальною частотою процесора, наприклад 350 МГц, 760 МГц, 240 МГц (рис.3.30-3.31). Таким чином віртуалізація забезпечує продуктивність віртуальних маршрутизаторів, яку на практиці можна порівняти з продуктивністю невіртуалізованого маршрутизатора з меншою частотою процесора, що дає віртуалізації можливість практичного

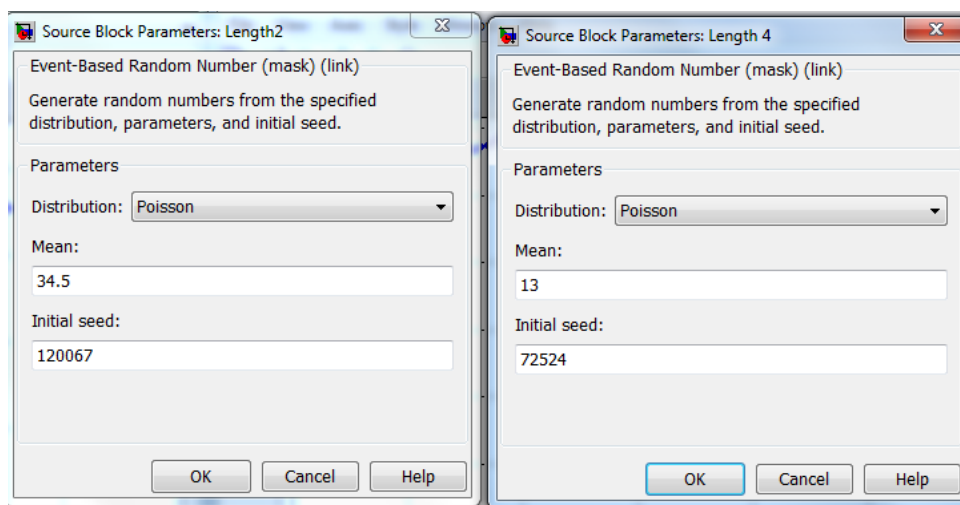
використання і в майбутньому тягне її широкє поширення в телекомунікаційних мережах .



а)

б)

Рис.3.30. Час обслуговування 32.5 мкс - маршрутизатор 1 CPU-350 МГц а), час обслуговування 23 мкс - маршрутизатор 2 CPU-760 МГц б)



в)

г)

Рис.3.31. Час обслуговування 34.5 мкс в)-маршрутизатор 3 CPU-240 МГц в), час обслуговування 13 мкс -маршрутизатор 4 (без ввіртуалізації) CPU-1400 МГц г)

На рисунках 3.7-3.9 наведені діаграми завантаження кожного віртуального маршрутизатора в залежності від інтенсивності вхідного потоку при динамічному виділенні обчислювальних ресурсів маршрутизатора.

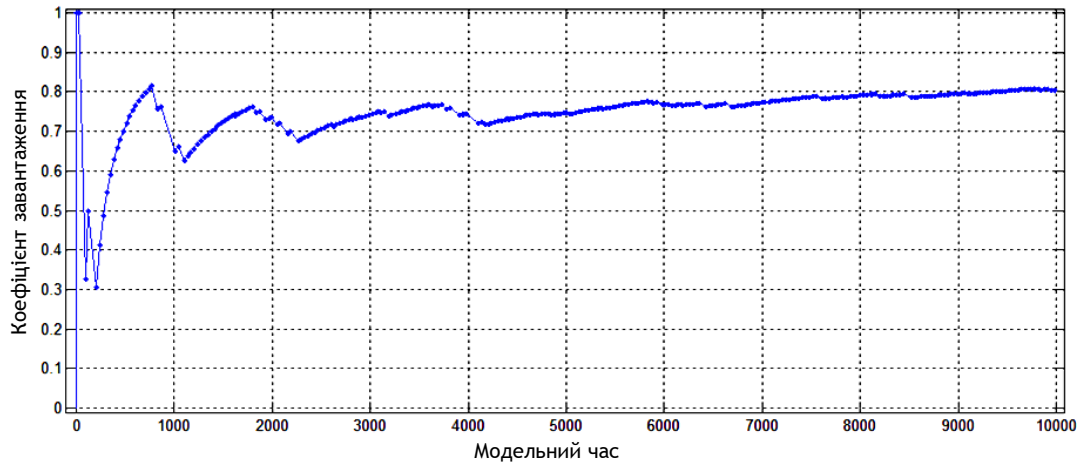


Рис.3.32. Завантаження віртуального обслуговуючого пристрою відео потоками

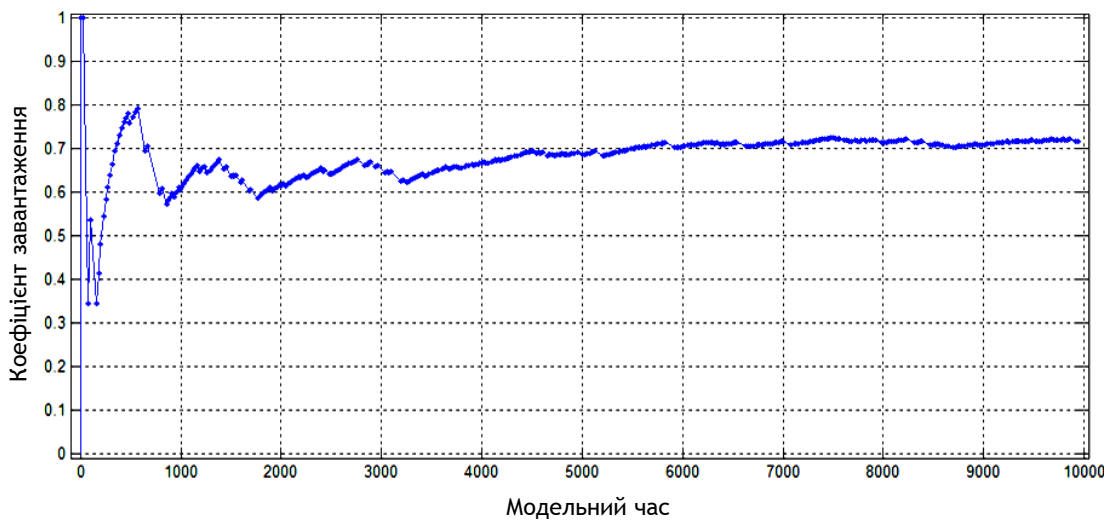


Рис.3.33. Завантаження віртуального обслуговуючого пристрою голосовими потоками

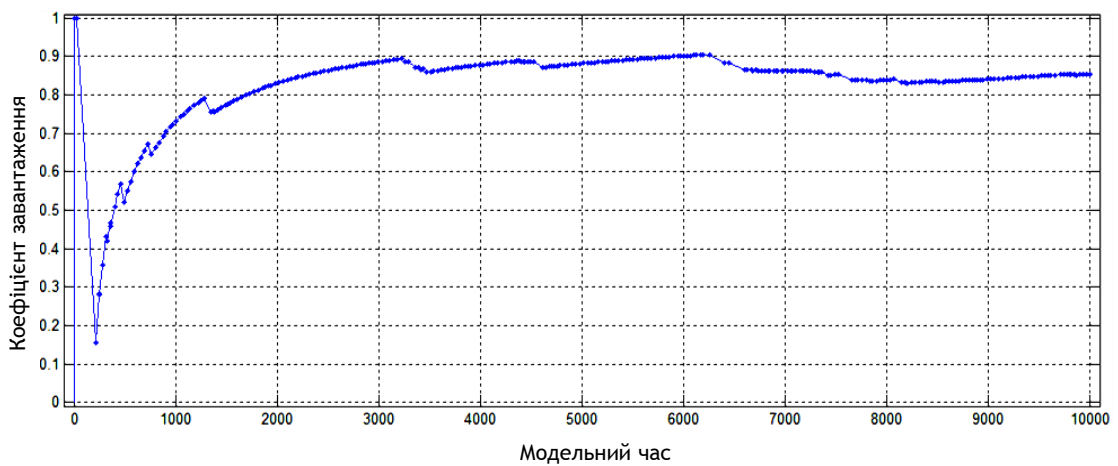


Рис.3.34. Завантаження віртуального обслуговуючого пристрою потоками даних

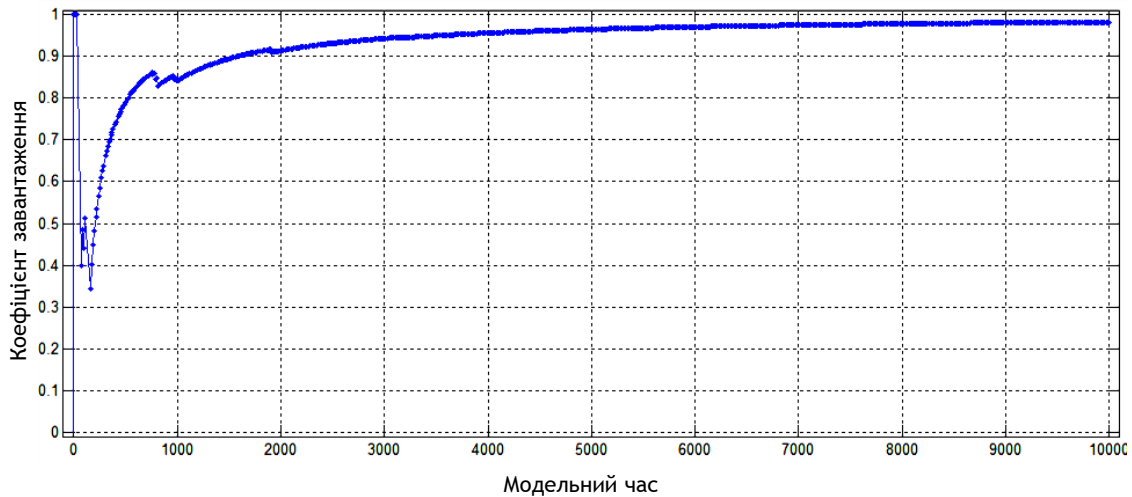


Рис.3.35. Завантаження обслуговуючого пристрою фізичного маршрутизатора потоками Triple Play

Як бачимо з рисунку 3.33 коефіцієнт завантаження віртуального маршрутизатора при обслуговуванні трафіку голосу зменшився від 0.9 (статична віртуалізація) до 0.7 (динамічна віртуалізація). Це пояснюється тим, що при динамічному розподілі обчислювальних ресурсів продуктивність віртуального маршрутизатора, який обробляє голосовий потік зростає за рахунок того, що інтенсивність обслуговування трафіка пристроєм збільшилась, шляхом виділення більшого вікна часу доступу до процесорного простору маршрутизатора. Відповідно, така ситуація призводить до зменшення продуктивності віртуального маршрутизатора призначеного для потоку даних. Оскільки, при одному і тому ж навантаженні на обслуговуючий пристрій віртуального маршрутизатора (потіку даних) виділений час використання процесора при динамічній віртуалізації є меншим в порівнянні із статичною. Тому, коефіцієнт завантаження віртуального маршрутизатора при обслуговуванні потоку даних збільшився від 0.75 до 0.85 (рис.3.34).

Вплив завантаженості буферів віртуальних маршрутизаторів при динамічній віртуалізації показано на рисунках 3.36-3.38 та фізичного маршрутизатора 3.39.

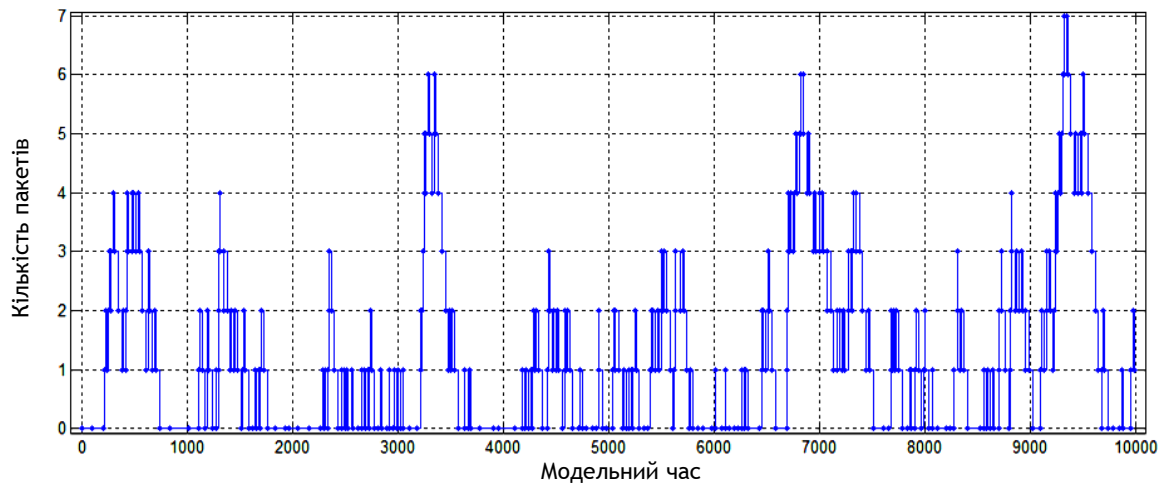


Рис.3.36. Завантаження буфера віртуального маршрутизатора потоками відео

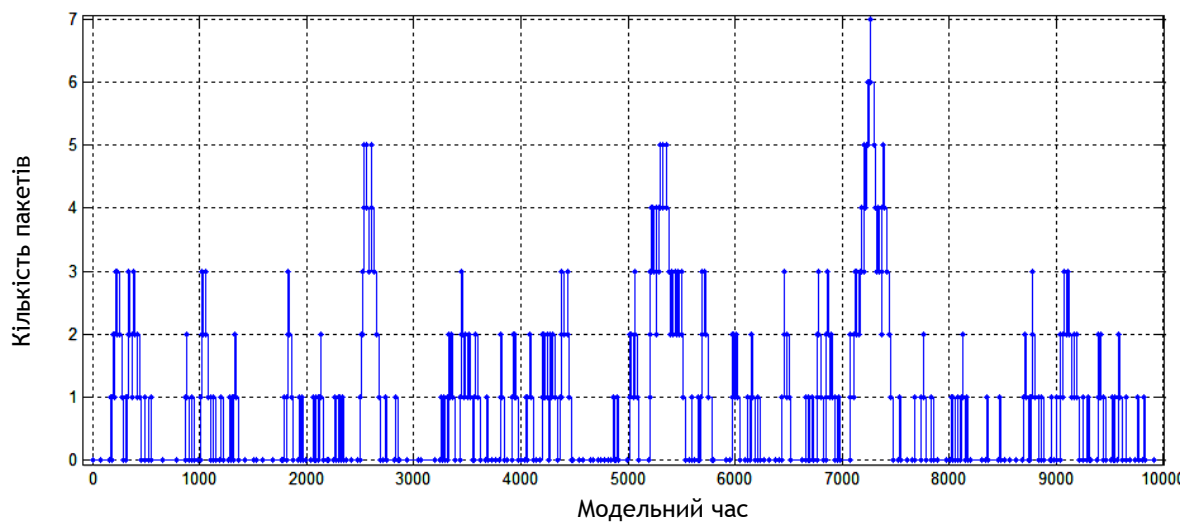


Рис.3.37. Завантаження буфера віртуального маршрутизатора потоками голосу

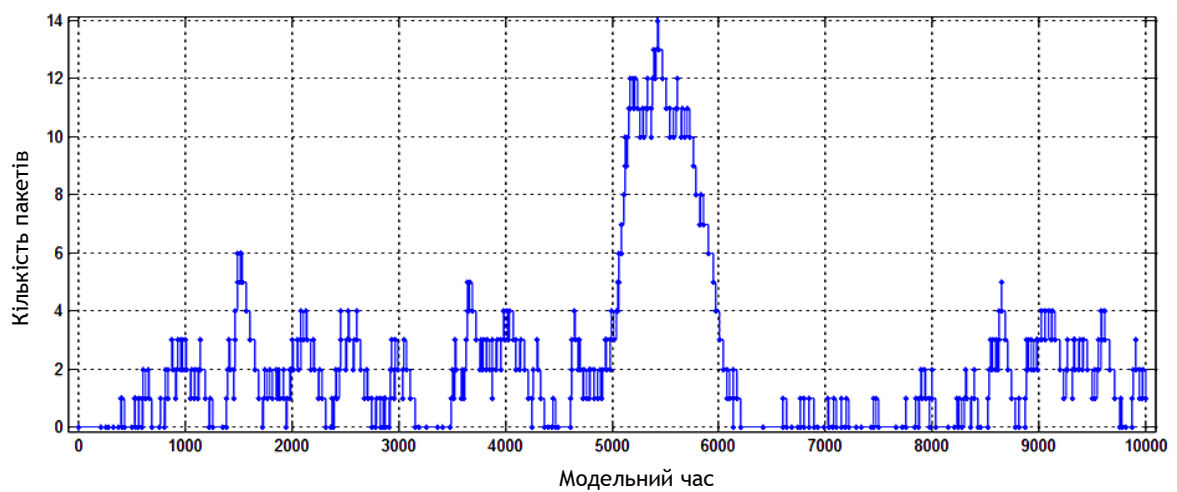


Рис.3.38. Завантаження буфера віртуального маршрутизатора потоками даних

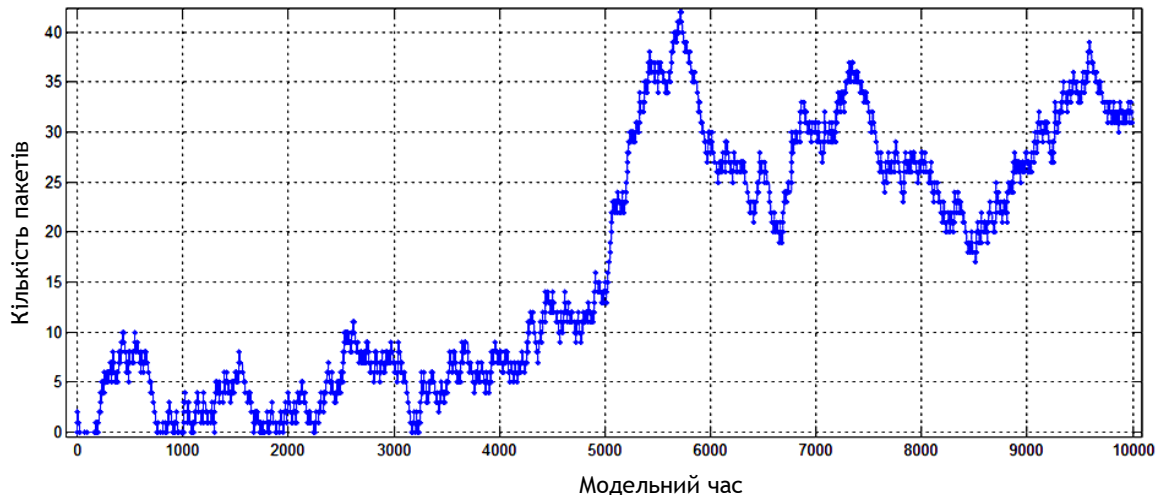


Рис.3.39. Завантаження буфера фізичного маршрутизатора потоками Triple Play

З отриманих результатів бачимо, що середня кількість пакетів у буфері віртуального маршрутизатора призначеного для обслуговування потоків голосу зменшилась від 6 до 3 (рис.3.37). Отриманий результат пояснюється тим, що інтенсивність обслуговування пакетів віртуальним маршрутизатором при обслуговуванні трафіку голосу збільшилась. Проте для інших двох віртуальних маршрутизаторів середня кількість пакетів у буфері зросла на 2-3 пакети (рис.3.36, 3.38). Відповідно затримка, яка виникає при буферизації показано на рис.3.40-3.43.

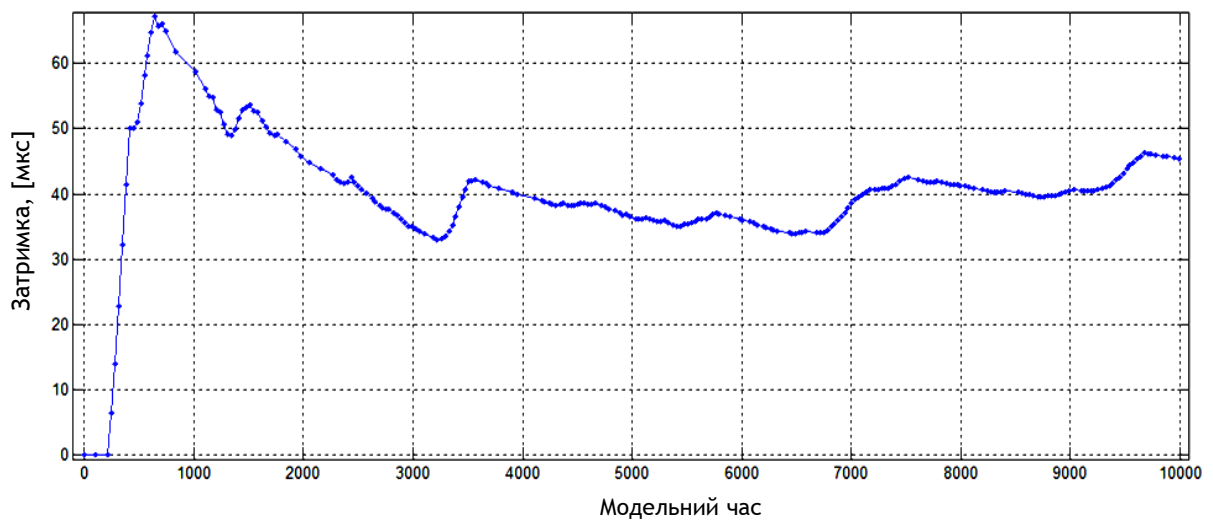


Рис.3.40. Затримка буферизації віртуального маршрутизатора при обслуговуванні відео потоку

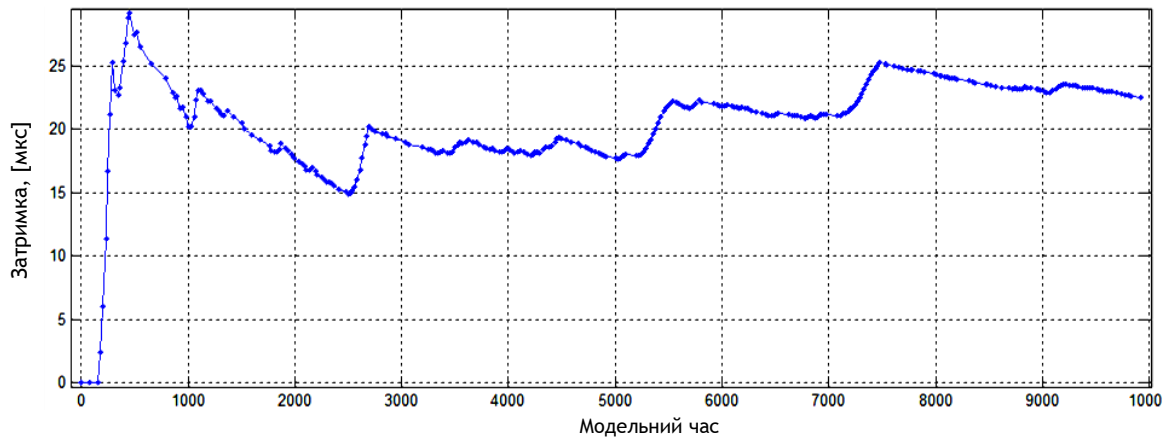


Рис.3.41. Затримка буферизації віртуального маршрутизатора при обслуговуванні голосового потоку

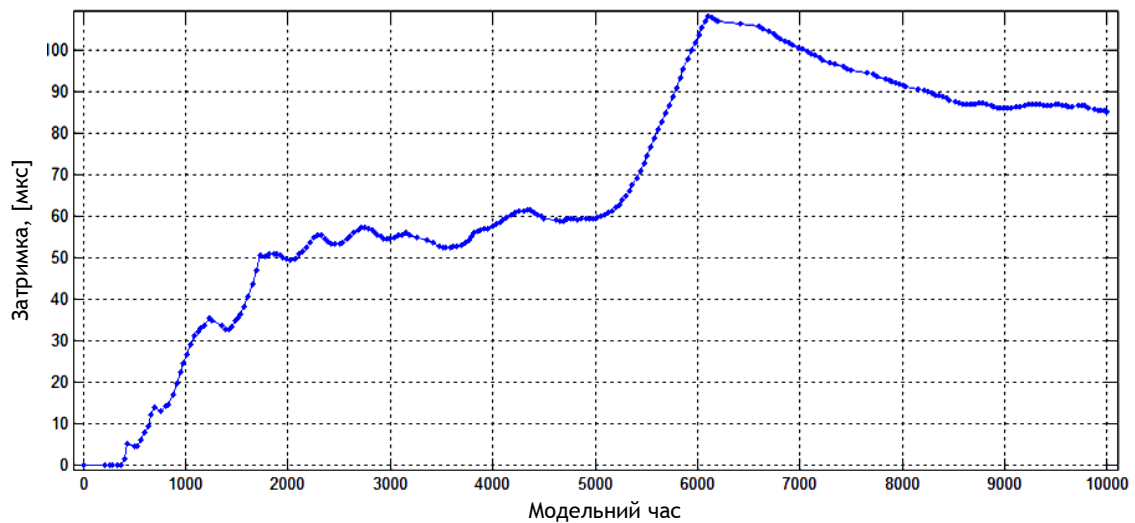


Рис.3.42. Затримка буферизації віртуального маршрутизатора при обслуговуванні потоку даних

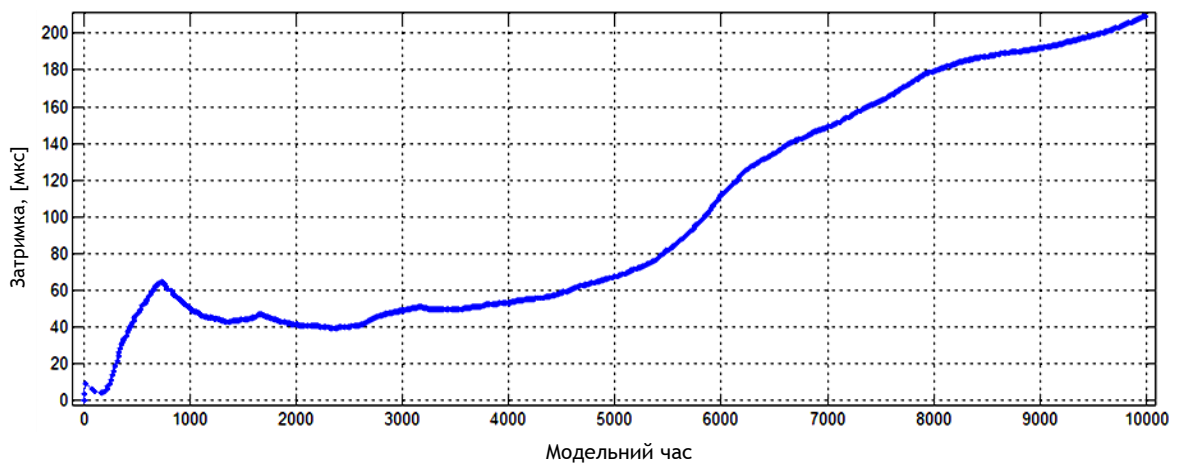


Рис.3.43. Затримка буферизації фізичного маршрутизатора при обслуговуванні агрегованого потоку

З отриманих результатів моделювання бачимо, що середнє значення затримки буферизації голосового трафіку зменшилось від 75 мкс до 25 мкс. А на двох інших віртуальних маршрутизаторах затримка буферизації порівняно із статичною віртуалізацією збільшилась в межах допустимого значення рис.(3.4213.42).

Сума процесорної та інтерфейсної затримки пакетів віртуального маршрутизатора при обслуговуванні відео потоку відображено на рисунках

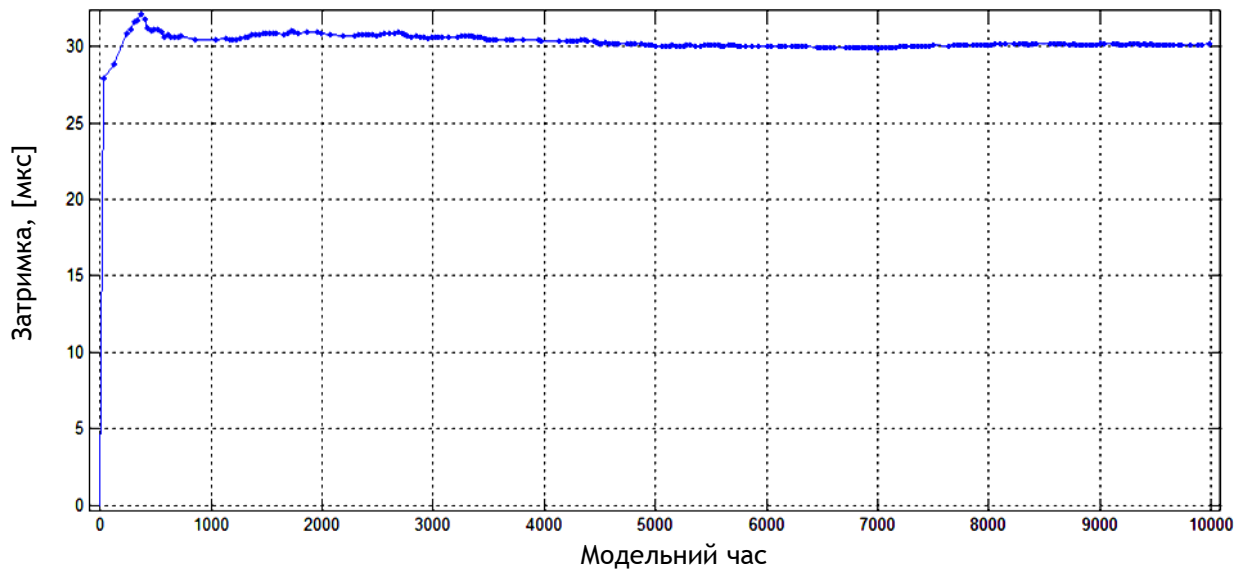


Рис.3.44. Сума процесорної та інтерфейсної затримки пакетів віртуального маршрутизатора при обслуговуванні відео потоку

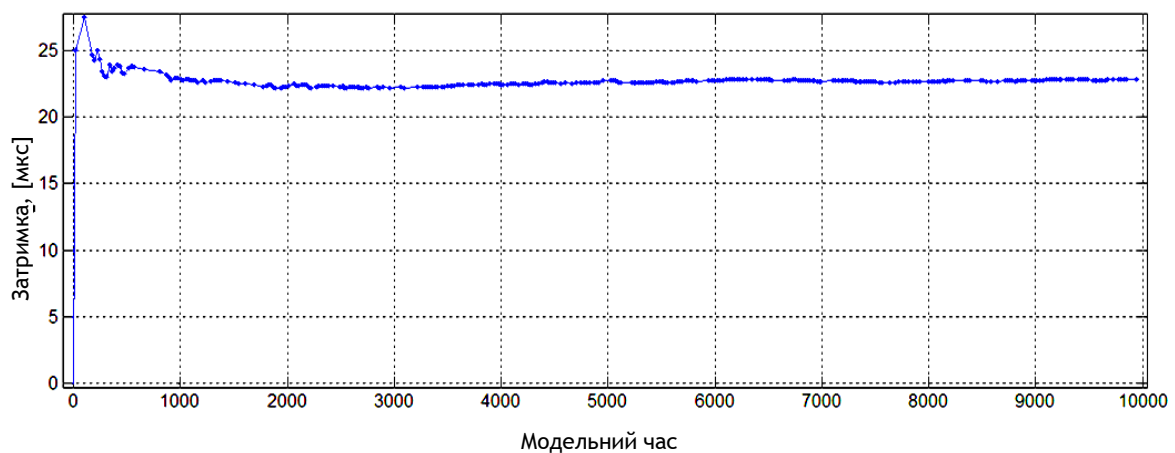


Рис.3.45. Сума процесорної та інтерфейсної затримки пакетів віртуального маршрутизатора при обслуговуванні голосового потоку



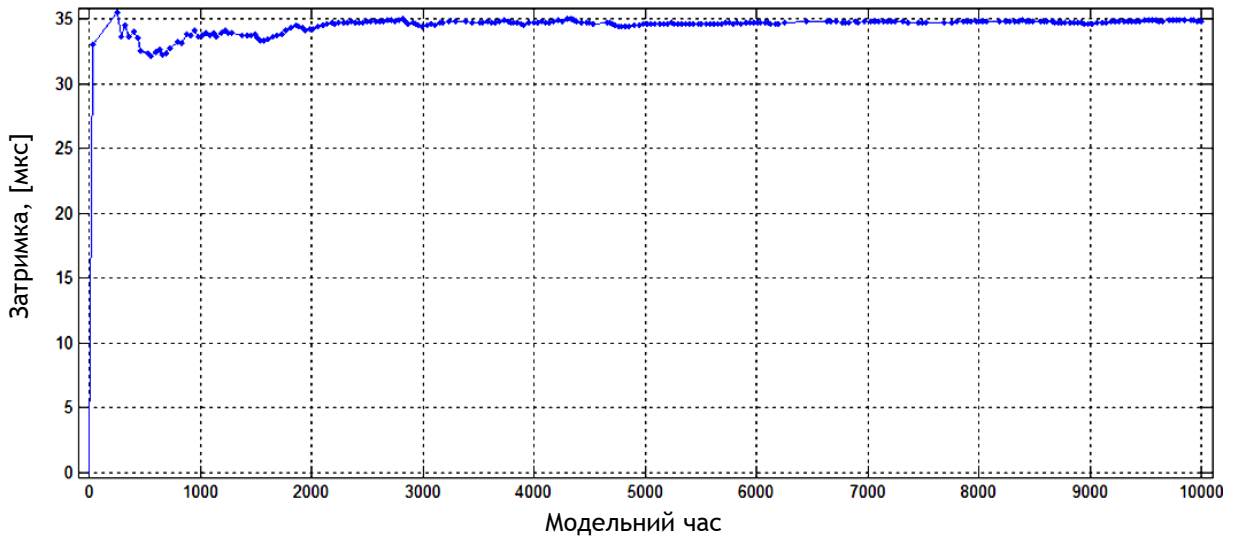


Рис.3.46. Сума процесорної та інтерфейсної затримки пакетів віртуального маршрутизатора при обслуговуванні потоку даних

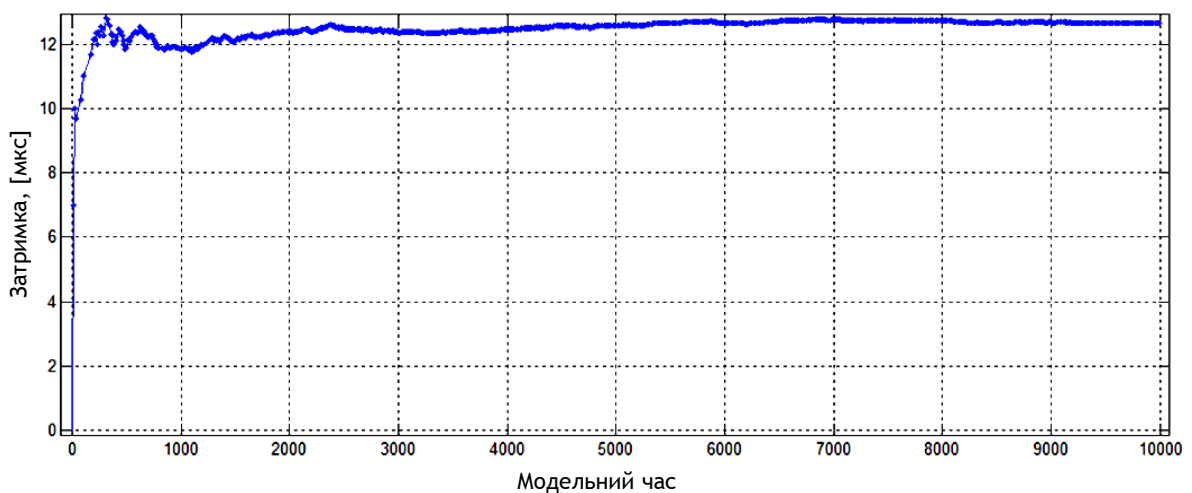


Рис.3.47. Сума процесорної та інтерфейсної затримки пакетів фізичного маршрутизатора при обслуговуванні агрегованого потоку

Кінцевим результатом запропонованої імітаційної моделі є порівняння результатів затримки пакетів послуг систем обслуговування інформаційних потоків з динамічною реконфігурацією ресурсів маршрутизатора (організація трьох віртуальних маршрутизаторів) та обробкою пакетів за порядком черги FIFO в одному фізичному маршрутизаторі (рис.3.29).

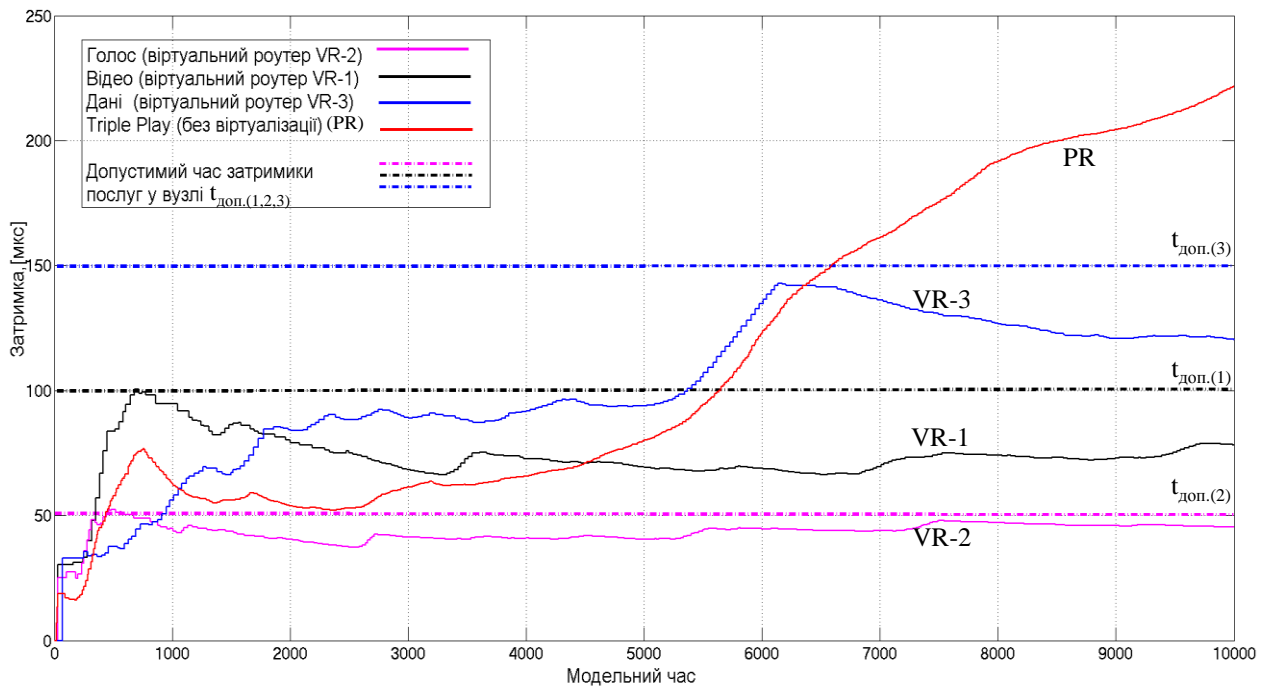


Рис.3.48. Порівняння тривалостей затримок пакетів в маршрутизаторі без віртуалізації та з динамічною віртуалізацією ресурсів мережевого пристрою

Проаналізувавши отримані результати бачимо, що тривалості затримки пакетів у всіх віртуальних вузлах класового призначення не перевищують допустимих значень, шляхом динамічного балансування обчислювальних ресурсів між ними. Тому виходячи з отриманих результатів доведено, що при динамічній віртуалізації мережевого пристрою забезпечується гарантований рівень якості обслуговування всіх переданих потоків в мультисервісній мережі.

### ***3.2.3. Моделювання систем обслуговування вхідних потоків з статичною і динамічною реконфігурацією ресурсів вузла та порівняння з пріоритетною обробкою пакетів***

При порівнянні ефективності системи обслуговування інформаційних потоків з віртуалізацією ресурсів із системою без віртуалізації при використанні алгоритму обслуговування черг FIFO технологія віртуалізації мережевого пристрою дає виграти у гнучкості управлінні ресурсами, тим самим забезпечує гарантований рівень обслуговування мультисервісним потокам.

Тому, наступним етапом даного дослідження буде порівняння технології віртуалізації маршрутизатора із стандартним маршрутизатором сконфігурованим за принципом пріоритетної обробки черг. Для цього в розробленій імітаційній моделі блок *Fifo Queue4* в фізичному маршрутизаторі під номером 4 потрібно поміняти на блок *Priority Queue* при використанні якого пакети обслуговуватимуться за порядком призначених пріоритетів.

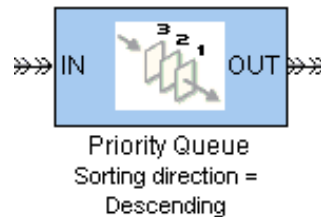


Рис.3.49.Блок пріоритетного обслуговування черг

Для цього у блоках *Time-Based Entity Generator*, *Time-Based Entity Generator1*, *Time-Based Entity Generator2*, які відповідають за генерацію потоків у вікні *Generation event priority* встановити пріоритет потоку відповідно дані-1, відео-2 та голос-3, де більше значення означає вищий пріоритет і обслуговується в першу чергу. Схема імітаційної моделі маршрутизатора з віртуалізацією та фізичним маршрутизатором з пріоритетним обслуговуванням черг показано на рисунку 3.51.

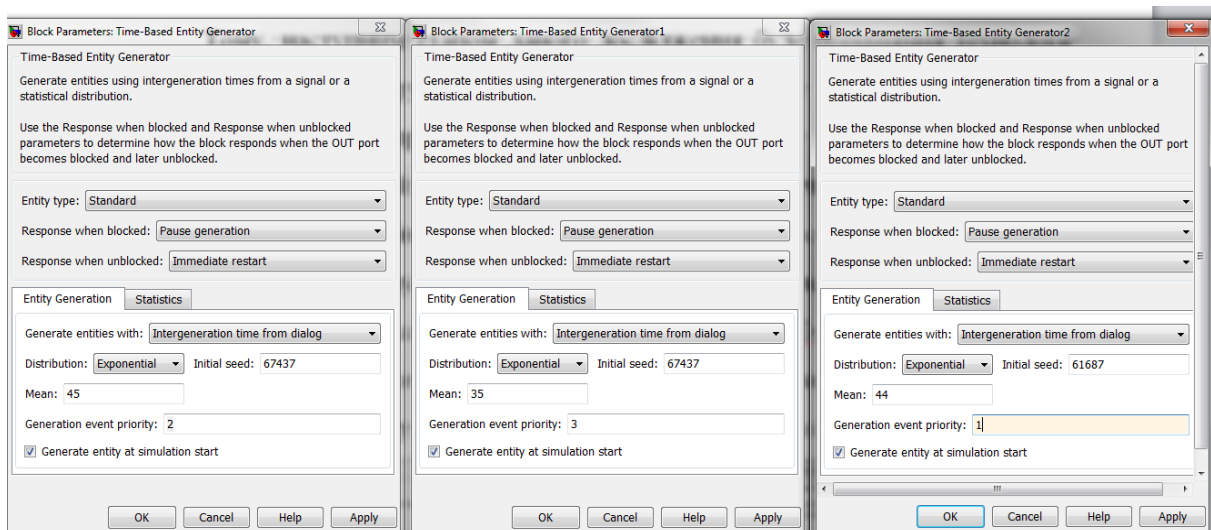


Рис.3.50.Призначення пріоритетів потокам

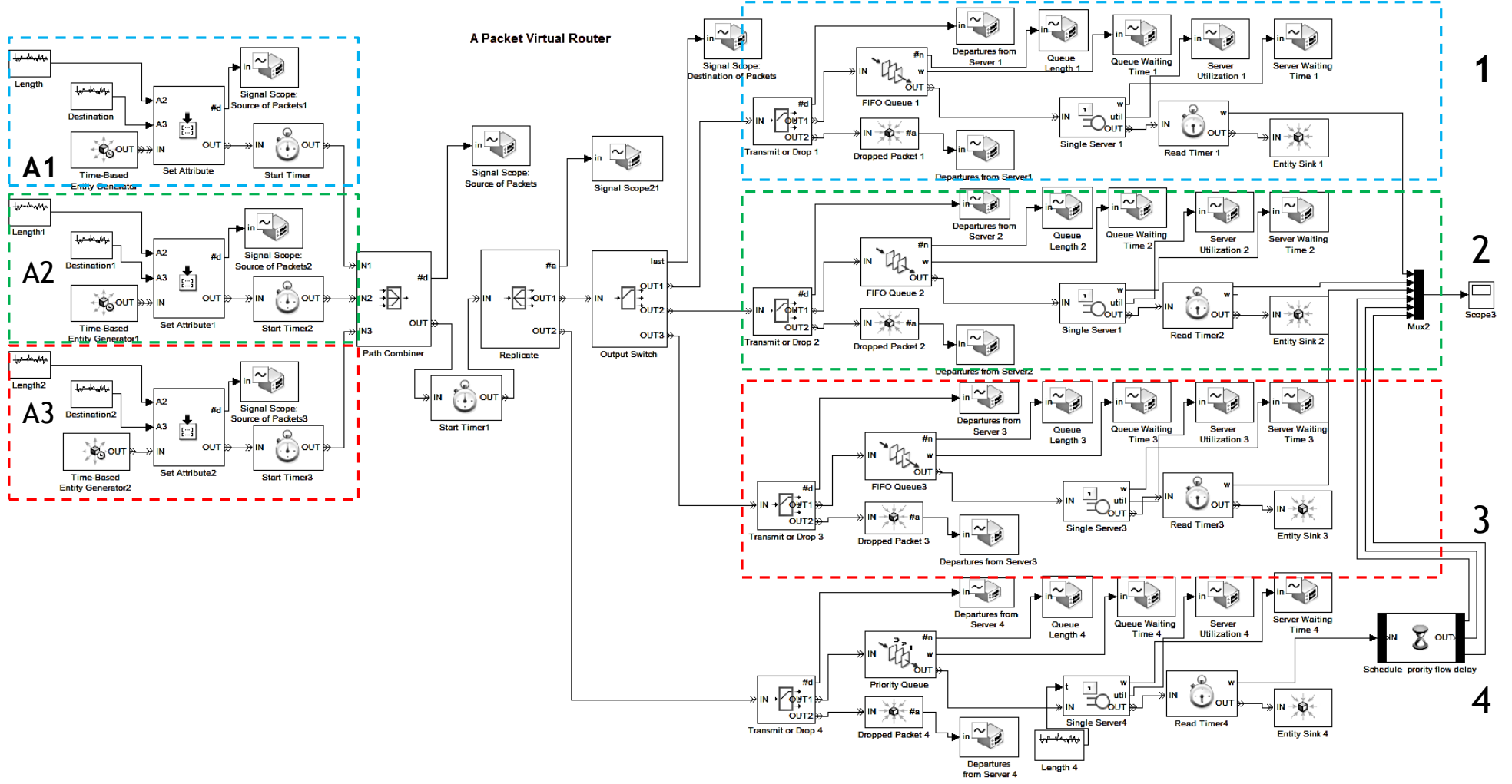


Рис.3.51. Схема моделі пакетного маршрутизатора з віртуалізацією ресурсів (1,2,3) та без віртуалізації з пріоритетною обробкою черги (4)

Для того, щоб розділити загальну затримку пакетів між переданими потоками запропоновано оригінальний блок *Schedule priority flow delay*, шляхом написання програмного коду, який при аналізі пакету зчитує його пріоритет та формує із них відповідний масив значень затримок та направляє на блок Mux2 для візуального графічного відображення затримок кожного потоку окремо.

Кінцевим результатом даної імітаційної моделі є порівняння результатів затримки пакетів послуг систем обслуговування інформаційних потоків з статичною реконфігурацією ресурсів маршрутизатора (організація трьох віртуальних маршрутизаторів) та обробкою пакетів за порядком черги PQ (пріоритетного обслуговування) в одному фізичному маршрутизаторі (рис.3.52).

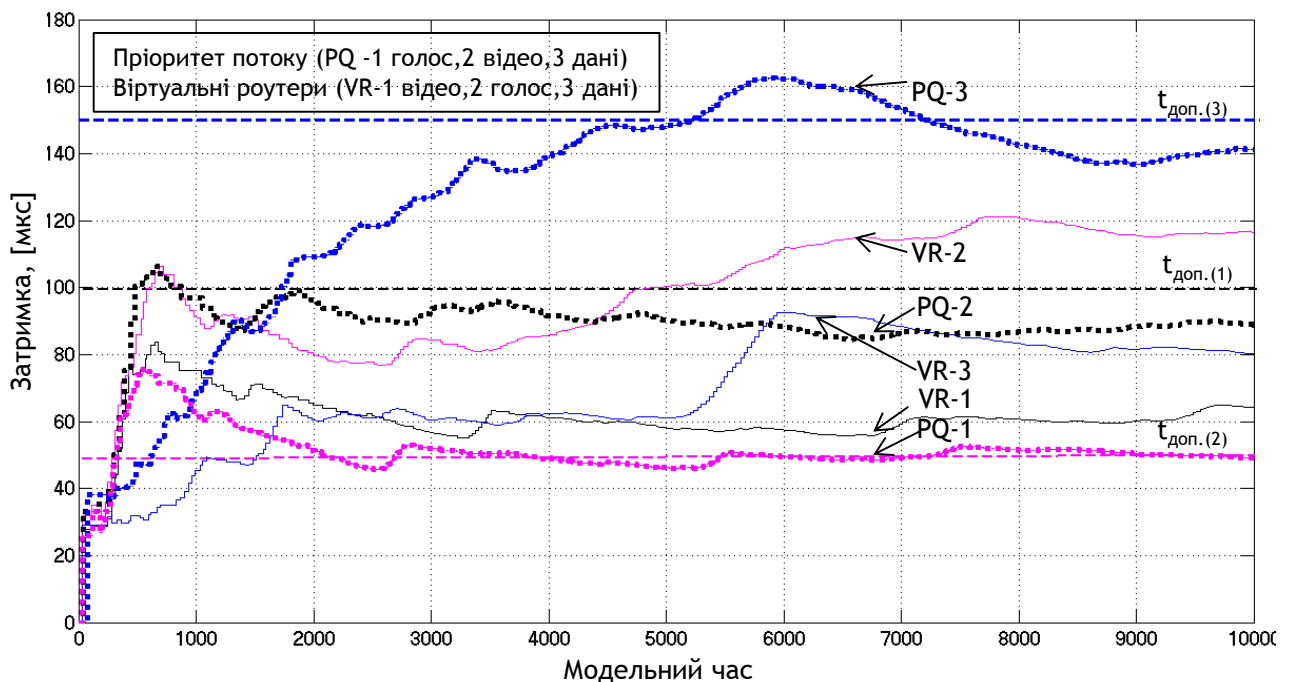


Рис.3.52. Порівняння тривалостей затримок пакетів в маршрутизаторі з пріоритетним обслуговуванням та з статичною віртуалізацією ресурсів мережевого пристрою

Як бачимо при порівнянні з пріоритетним обслуговування пакетів, статична віртуалізація для голосового потоку дає гірший результат по затримці. Оскільки при пріоритетному обслуговуванні пакети голосу мають найвищий

пріоритет і обслуговуються в першу чергу. Проте інші два потоки в деякі моменти модельного часу перевищують допустиму норму затримки і є більшими в порівнянні із затримкою, яку забезпечує статична віртуалізація. Як бачимо жодна із систем обслуговування не здатна гарантувати якість обслуговування потоків.

Наступним кроком дослідження є порівняння результатів затримки пакетів послуг систем обслуговування інформаційних потоків з динамічною реконфігурацією ресурсів маршрутизатора (організація трьох віртуальних маршрутизаторів) та обробкою пакетів за порядком черги PQ в одному фізичному маршрутизаторі (рис.3.53).

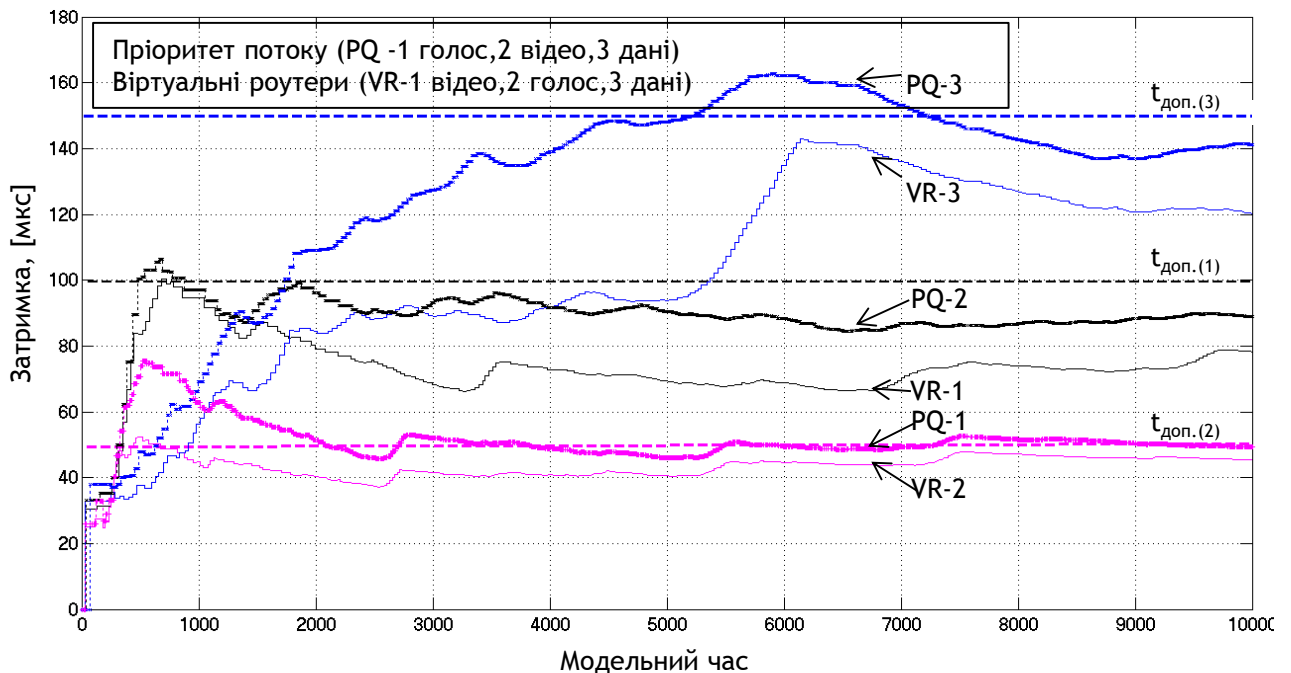


Рис.3.53. Порівняння тривалостей затримок пакетів в маршрутизаторі з пріоритетним обслуговуванням та з динамічною віртуалізацією ресурсів мережевого пристрою

З результатів моделювання бачимо, що система пріоритетного обслуговування інформаційних потоків не здатна забезпечити усім потокам гарантованого рівня QoS за критерієм мінімальної затримки та є менш

ефективною в порівнянні із системою динамічної віртуалізації обчислювальних ресурсів маршрутизатора.

### **3.3. Дослідження впливу методу управління структурними параметри віртуальних маршрутизаторів на якість обслуговування потоків**

В існуючих телекомунікаційних мережах з комутацією пакетів особливого значення набули питання забезпечення якості обслуговування переданих потоків. Під час передавання значних обсягів мультимедійної інформації виникають негативні чинники, які призводять до перевантаження мережевих вузлів, зростання затримок та збільшення їх варіації. Це, в свою чергу, спричиняє зниження якості отриманих користувачем послуг. Найзначніший вплив на передавання даних здійснюють розподільчі вузли, в яких виникають черги на обслуговування, тому важливим завданням є визначення їх структурно - функціональних параметрів, які гарантують забезпечення необхідної якості обслуговування.

Доведено, що шляхом зміни структурних параметрів системи розподілу інформації (довжину черги, швидкість шини, швидкість процесора), є можливість керувати якістю обслуговування. В даній роботі для його вирішення, розроблена імітаційна модель віртуального маршрутизатора, яка дасть змогу проектувальникам вибирати оптимальні параметри мережевого обладнання.

У моделі були враховані такі особливості мережевого пристрою: кожен пакет складається зі сталої службової частини, і процесор обробляв лише її, та змінної корисної частини. У такому разі всі пакети, незалежно від їх довжини, опрацьовувались процесором за однаковий проміжок часу. На противагу цьому, час який затрачається на транспортування пакета по внутрішній шині пристрою прямо пропорційно залежить від розміру пакета. Водночас

припускалось, що тривалість записування і зчитування пакета в буфер є миттєвою.

При організації декількох віртуальних маршрутизаторів на одному фізичному є можливість гнучкого управління їх структурно функціональними параметрами. В попередніх дослідженнях функціонування віртуальних маршрутизаторів, встановлено, що нелінійне зростання розміру буфера прямує до безмежності із наближенням продуктивності до 1, що вказує на неможливість функціонування системи із параметрами обслуговування, які дорівнюють або менші за інтенсивність надходження. В імітаційній моделі реалізовані головні структурно-функціональні віртуальні вузли обслуговувального пристрою. Одним із них є буфер. Враховуючи пропускну здатність вхідного інтерфейсу, а також швидкість процесора та частоту шини, виникали ситуації, в яких тривалість оброблення пакета перевищувала тривалість його зчитування в буфер. У такому разі пакет очікує на обслуговування. В попередніх дослідженнях встановлено, що значний вплив на кінцеву затримку вносить тривалість буферизації пакетів (рис.3.40-3.42). Враховуючи залежності завантаження буфера віртуальних маршрутизаторів потоками (рис.3.36-3.38), для передбачення безвтратної роботи обслуговувального пристрою при динамічній віртуалізації ресурсів, необхідно забезпечити ємності буферів у розмірі більшому за максимальне значення кількості пакетів у ньому. Відповідно для відео це  $Buffer\ Capacity\ 1 \geq 7$ , для голосу це  $Buffer\ Capacity\ 2 \geq 7$  для даних  $Buffer\ Capacity\ 3 \geq 14$ . При не правильній організації ємностей віртуальних буферів, можуть виникнути втрати пакетів, і як наслідок погіршення якості сприйняття послуг чутливих до втрат. Наприклад, максимальна ємність буфера фізичного маршрутизатора розрахована на збереження  $Buffer\ Capacity = 30$  пакетів. Тоді сума виділених ємностей віртуальних буферів для маршрутизаторів не повинна перевищувати 30 пакетів  $\sum_{i=1}^3 buffer.capacity_i \leq 30$ . Припустимо, що ми не знаємо, які



оптимальні розміри буфера повинні бути для віртуальних маршрутизаторів. Тоді за замовчуванням виділяємо для них однакові ємності буферів для збереження пакетів. Для цього у блоках *FIFO Queue 1*, *FIFO Queue 2*, *FIFO Queue 3* та фізичному маршрутизаторі *FIFO Queue 4* імітаційної моделі встановити ємності буферів. В умовах коли ємність буфера є не достатня для збереження пакетів вони відкидаються . Кількість відкинутих пакетів внаслідок перевантаження буфера фіксуються блоками *Dropped Packet1*, *Dropped Packet2*, *Dropped Packet3*, *Dropped Packet4*.

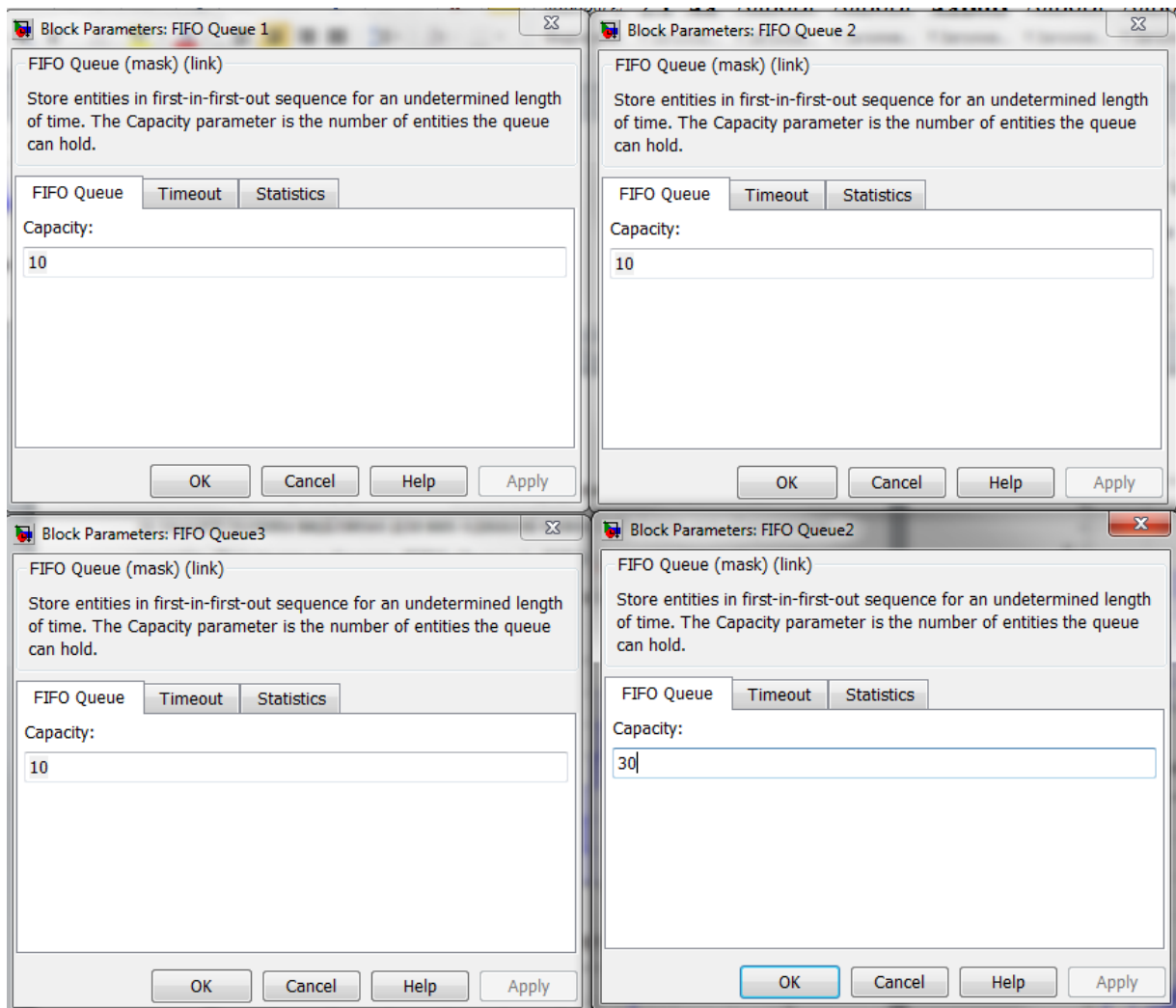


Рис.3.54. Статична конфігурація ємностей буферів віртуальних маршрутизаторів

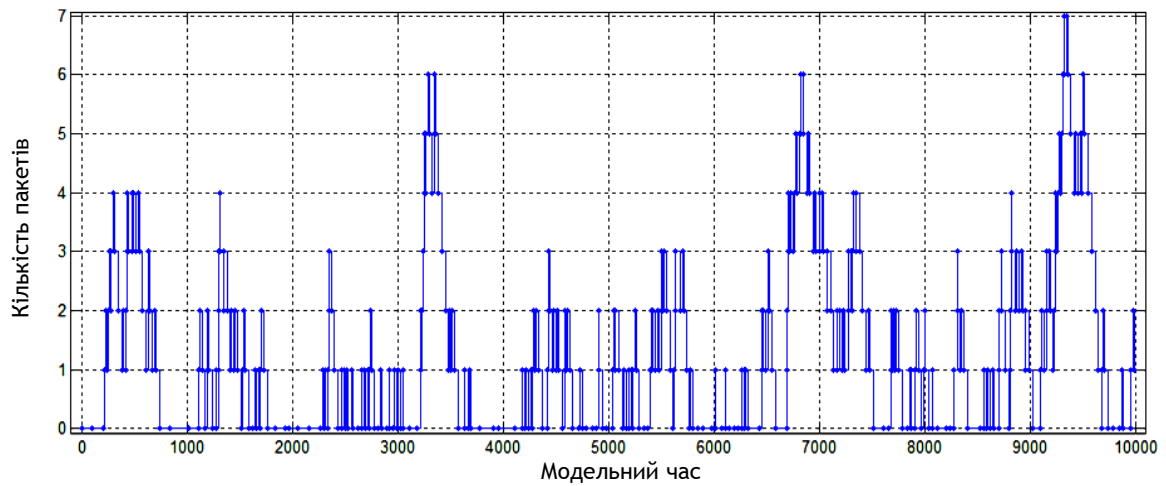


Рис.3.55. Завантаження буфера віртуального маршрутизатора потоками відео

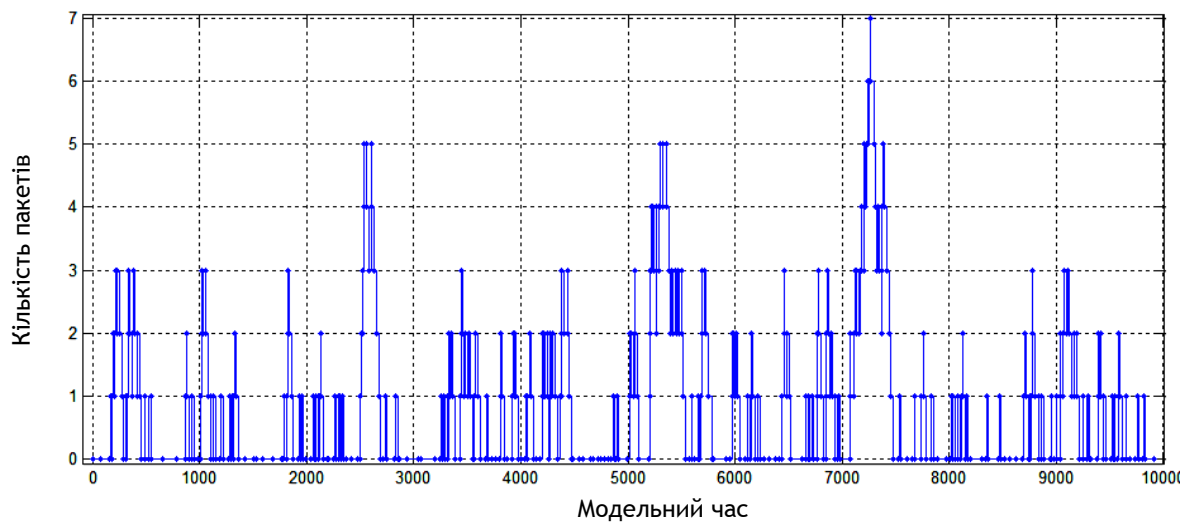


Рис.3.56. Завантаження буфера віртуального маршрутизатора потоками голосу

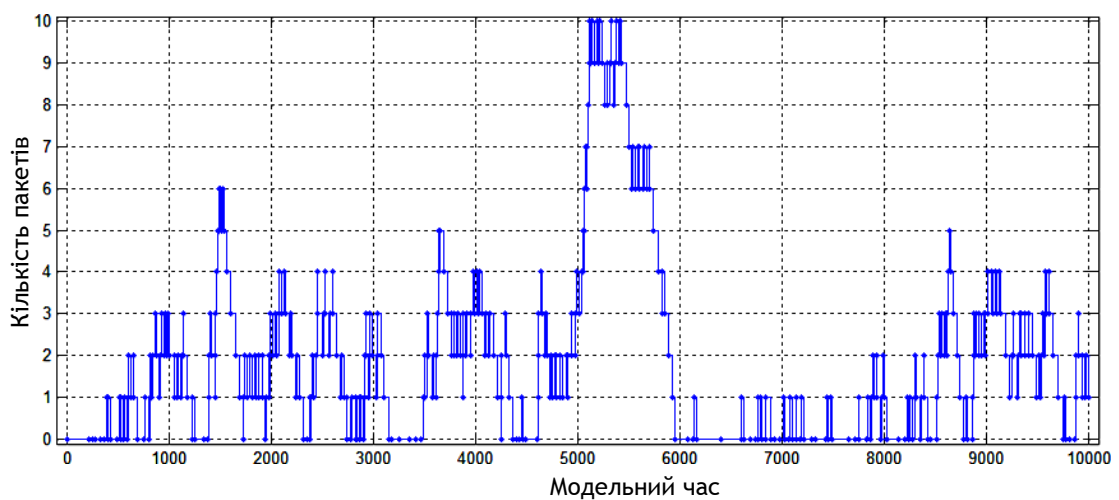


Рис.3.57. Завантаження буфера віртуального маршрутизатора потоками даних

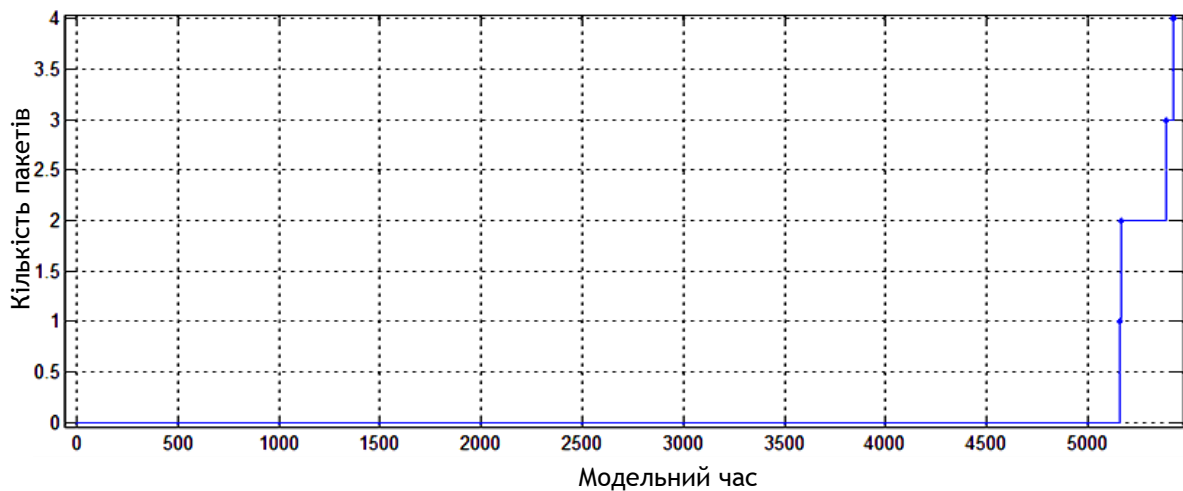


Рис.3.58. Кількість втрачених пакетів потоку даних у буфері віртуального маршрутизатора

Отримавши результати кількості пакетів у буфері протягом імітаційного моделювання, встановлено, що для потоків відео та голосу максимальна кількість пакетів становить 7 (рис.3.55.-3.56). Кількість втрачених пакетів протягом часу спостереження дорівнює 0. Втрати пакетів за рахунок переповнення буфера у віртуальних маршрутизаторах, які обслуговують голос і відео не виникають, тому що за замовчуванням їх ємності буферів розраховані на збереження до 10 пакетів. Проте у віртуальному маршрутизаторі, який відповідає за обслуговування потоків даних максимальна кількість пакетів становить 10. Відповідно з рисунку 3.58 бачимо, що виникають втрати при переповненні буфера віртуального маршрутизатора, які становлять 4 пакети. В такій ситуації при передаванні потоків даних, які є чутливими до втрат за рахунок не достатнього розміру буфера виникають втрати у мережевих пристроях, які призводять до погіршення якості сприйняття послуги кінцевими користувачами мережі. Для уникнення таких ситуацій необхідно динамічно змінювати розміри буферів віртуальних маршрутизаторів при варіації вхідного навантаження менеджером ресурсів. З попереднього дослідження ми бачимо, що є вільний запас буферного ресурсу у віртуальних маршрутизаторів при

обслуговуванні голосового та відео потоку в загальному розмірі 6 пакетів. А для буфера призначеного для збереження потоків даних ресурсу недостатньо. І тому для забезпечення безвтратної роботи обслуговувального пристрою при динамічній віртуалізації ресурсів потокам даних необхідно ємність буфера за замовчуванням поставити не 10, а 14 пакетів. Таким чином, переконфігурувавши ресурси фізичного буфера в залежності від потреб. Отримаємо ємності, зображених на рисунку 3.59.

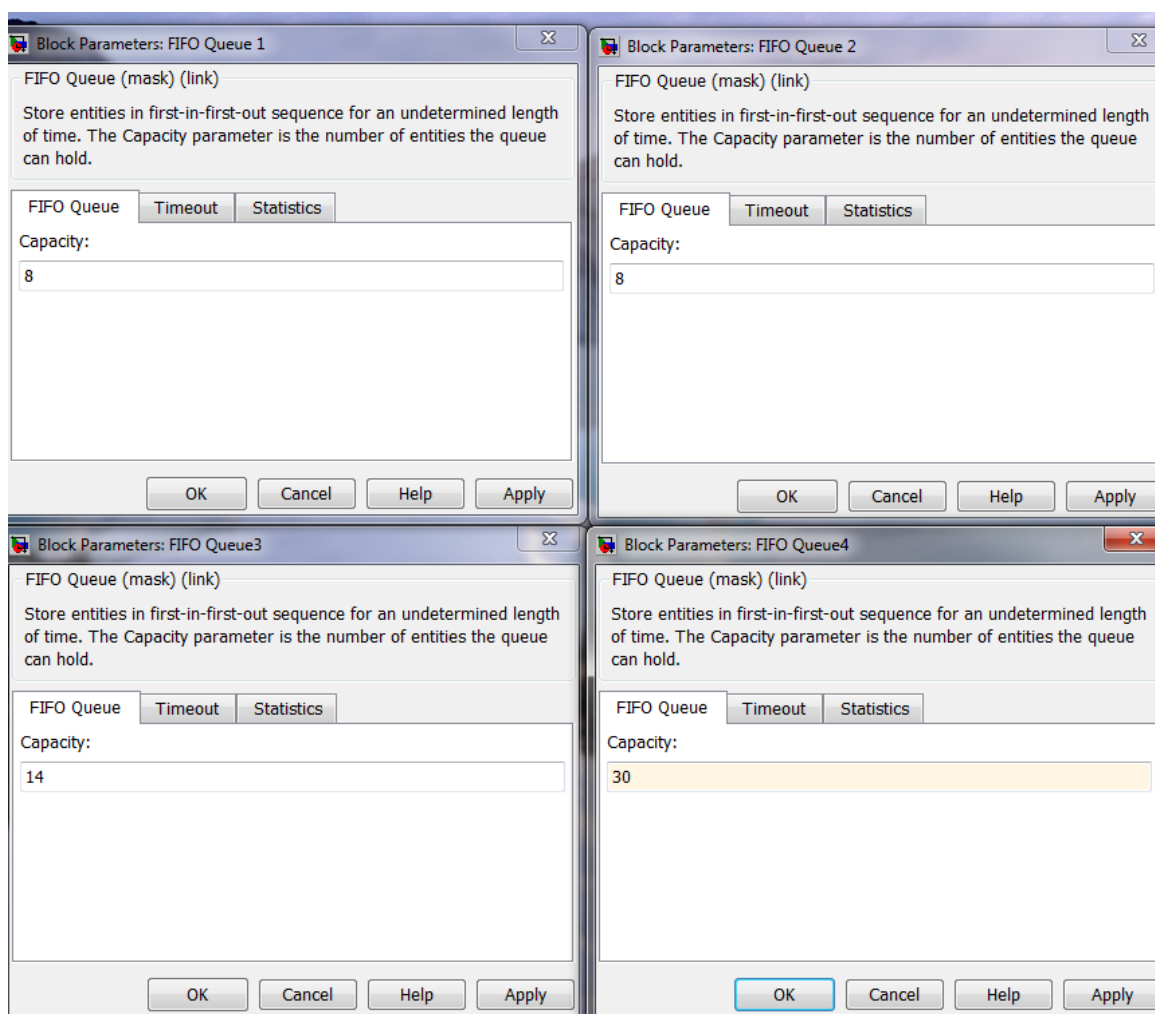


Рис.3. 59. Динамічна переконфігурація ємностей буферів віртуальних маршрутизаторів для забезпечення безвтратного режиму роботи маршрутизатора

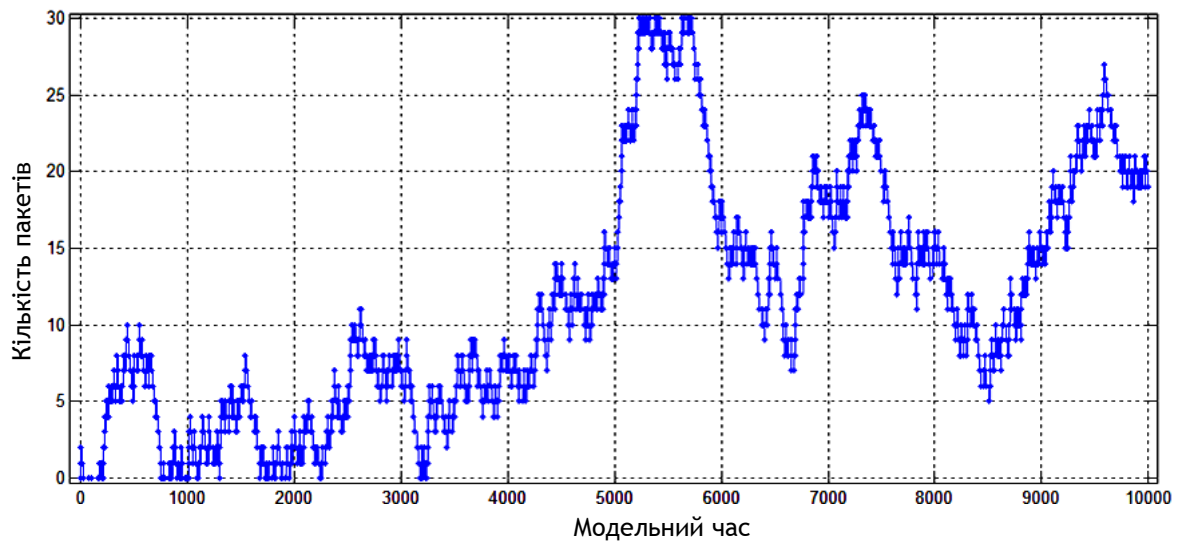


Рис.3.60. Завантаження буфера фізичного маршрутизатора потоками Triple Play

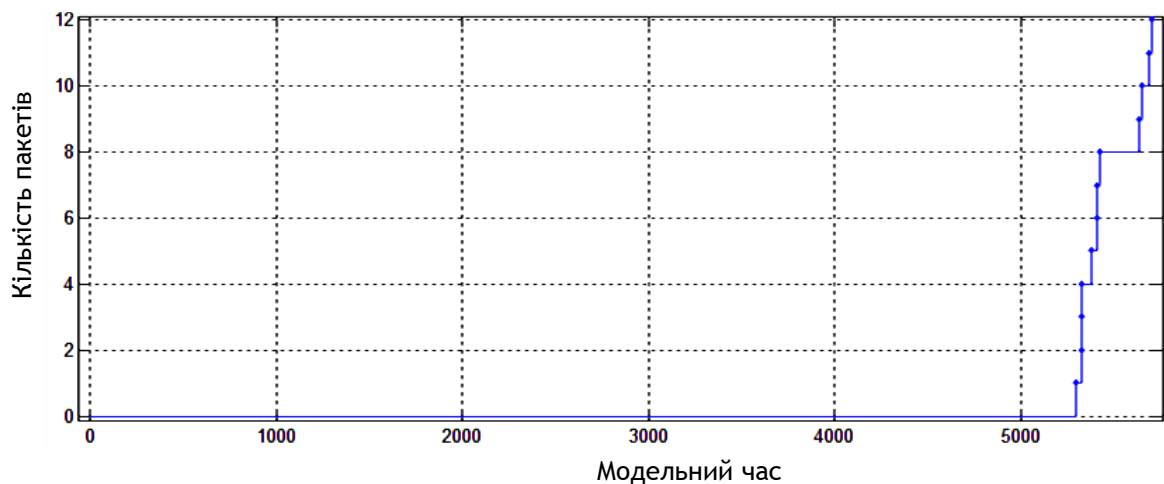


Рис.3.61. Кількість втрачених пакетів Triple Play у буфері фізичного маршрутизатора

Максимальна кількість пакетів у буфері фізичного маршрутизатора становить 30 пакетів. Проте з рисунку 3.61 бачимо кількість відкинутих пакетів становить 12. Це пояснюється тим, що для забезпечення безвартної системи не достаньно виділеної ємності буфера для обслуговування потоків Triple Play. Отже, порівнюючи дві системи обслуговування інформаційних потоків бачимо,

що при віртуалізації мережевого пристрою загальна ємність буферів віртуальних маршрутизаторів є меншою ( $\sum_{i=1}^3 buffer.capacity_i = 28$ ) для забезпечення безвтратного режиму роботи, ніж за стандартним обслуговуванням потоків ( $buffer.capacity_p = 42$ ). Отже, занадто великий розмір мережевого буфера при невеликій пропускну здатності призводить до значних затримок. Але, з іншого боку, занадто малий розмір буфера при високих швидкостях передавання призводить до втрати пакетів. На цьому етапі вирішено задачу стосовно вибору оптимальних відносно мінімальних затримок та втрат пакетів розмірів мережевих буферів віртуальних маршрутизаторів.

В роботі досліджено, що найбільш ефективною системою обслуговування інформаційних потоків забезпечується динамічною віртуалізацією обчислювальних ресурсів мережевого пристрою при організації віртуальних маршрутизаторів. Проте, не виключно, що під час передавання значних обсягів мультимедійної інформації може виникнути ситуація, коли відбудеться перевантаження віртуальних вузлів, що в свою чергу може погіршити параметри QoS. Змоделювати дану ситуацію можна шляхом збільшення інтенсивності поступлення пакетів певного потоку, який обслуговує віртуальний маршрутизатор. При динамічній віртуалізації ресурсів фізичного мережевого пристрою всі обчислювальні ресурси будуть виділенні на віртуальний маршрутизатор, який обслуговує потік з високою інтенсивністю вхідних пакетів. Відповідно іншим потокам не буде забезпечено необхідного рівня QoS. Для уникнення такої ситуації пропонується вимушено відкидати пакети за рахунок зменшення розміру буфера потокам, які не чутливі до втрат проте чутливі до затримки. Таким чином, ми досягнемо необхідного рівня якості надання сервісу за критерієм мінімальної затримки, забезпечуючи пакетам допустиму межу кількості відкинутих пакетів, яка не приводить до погіршення якості сприйняття послуги кінцевими користувачами при високій інтенсивності передавання даних. В ситуації коли на віртуальні

маршрутизатори висока інтенсивність поступлення пакетів на двох віртуальних пристроях, які призначенні для потоків чутливих до втрат та потоків не чутливих до втрат. То зменшивши розмір буфера віртуального маршрутизатора призначеного для обслуговування потоків не чутливих до втрат (сервіс відео) при втраті декількох пакетів якість сприйняття послуги для користувача буде не помітною [119]. А відповідно його частку буферного ресурсу виділити для маршрутизатора призначеного для потоків чутливих до втрат та не чутливих до затримок (сервіс даних-почта), у яких спостерігаються втрати пакетів за рахунок переповнення буфера (обмеженого розміру буфера). Таким чином збільшивши для даного потоку буфер віртуального маршрутизатора при високому навантаженні пакетів досягається покращення параметру QoS ймовірності відкидання пакетів. Для цього проведено дослідження такої ситуації шляхом використання розробленої імітаційної моделі. Спочатку віртуальний маршрутизатор, який відповідає за обслуговування відео потоків при високій інтенсивності вхідних пакетів забезпечує безвтратне передавання, оскільки ємність буфера є достатньою і не переповнюється. Ємність такого буфера встановлена розміром, який дає змогу буферизувати 8 пакетів. Відповідно при моделюванні на рисунку 3.62 бачимо що кількість пакетів, які перебувають у буфері не перевищують 8 пакетів. При такій ситуації не відбувається жодних втрат. Проте аналізуючи результати кінцевої затримки у вузлі (рис.3.63) бачимо, що для відео потоку не гарантується кінцева затримка, оскільки перевищує свій допустимий поріг у розмірі 100 мкс, починаючи із 6000 модельного часу. Відповідно використовуючи запропонований метод управління структурними параметрами вузла, а саме буфером можна гарантувати необхідний рівень якості обслуговування за критерієм мінімальної затримки. Для цього потрібно зменшити ємність буфера на 2 пакети. Таким чином на рисунку 3.63 відображено завантаження кількості пакетів протягом моделювання і видно, що максимальне значення становить 6 пакетів. Пакети

які буферизувались при максимально заповненому буфері відкидалися. Кількість відкинутих пакетів продемонстровано на рисунку 3.64. Оскільки втрата кількох пакетів не вплине на якість сприйняття відео послуги реального часу для користувача, то застосувавши вимушене відкидання пакетів у межах допустимої ймовірності відкидання пакетів згідно рекомендацій IT-UT, дасть змогу покращити часові параметри QoS. Сам відео файл складався із 350 пакетів, шляхом застосування вимушеного відкидання пакетів досягнуто втрати 4 пакетів. Відповідно втрати пакетів становитиме 1.14 %, що не перевищує допустимої межі для даного сервісу. А кінцева затримка зменшилась до необхідної межі для забезпечення гарантованого рівня якості обслуговування за критерієм мінімальної допустимої затримки (рис.3.65).

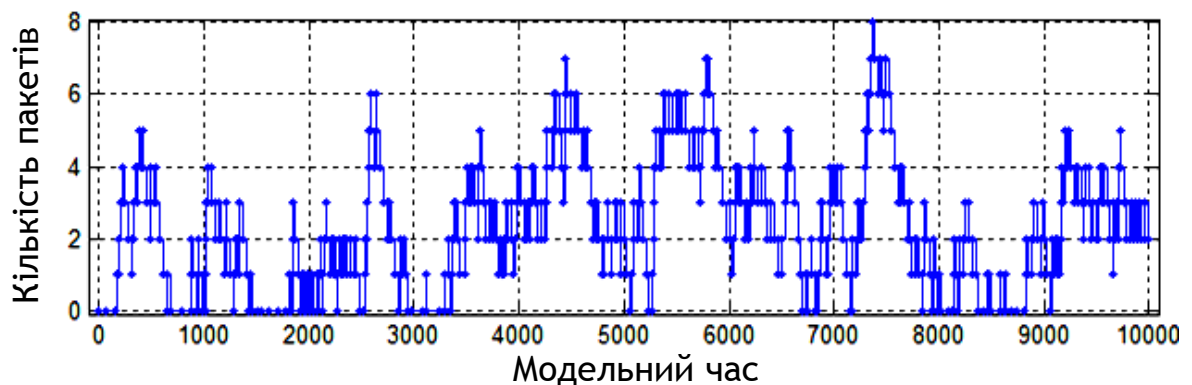


Рис.3.62. Завантаження буфера віртуального маршрутизатора потоками відео  
система без втрат

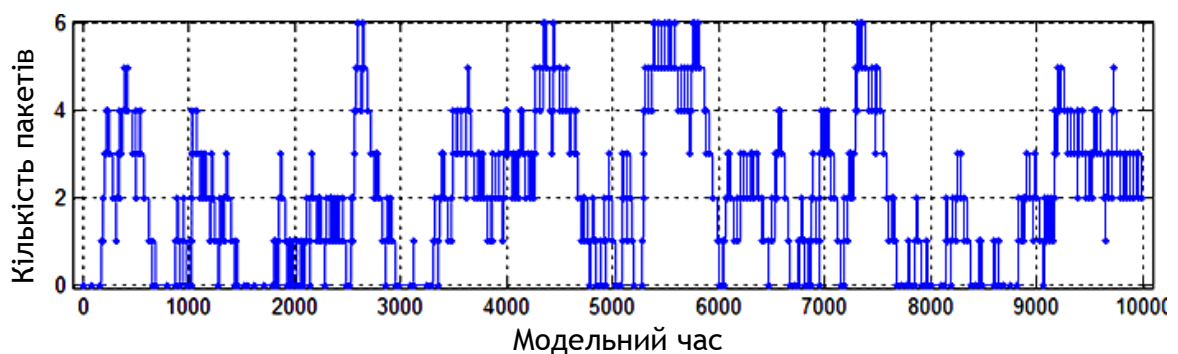


Рис.3.63. Завантаження буфера віртуального маршрутизатора потоками відео  
система з втратами



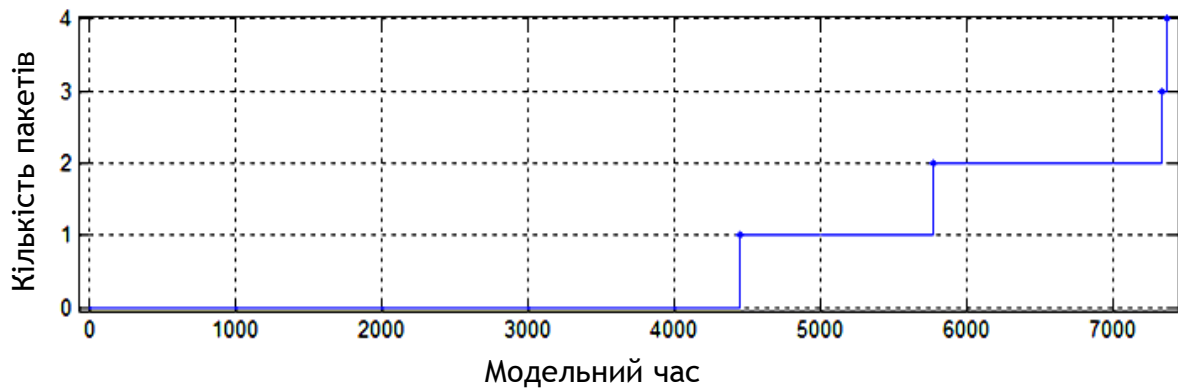


Рис.3.64. Кількість втрачених пакетів відео потоку у буфері віртуального маршрутизатора

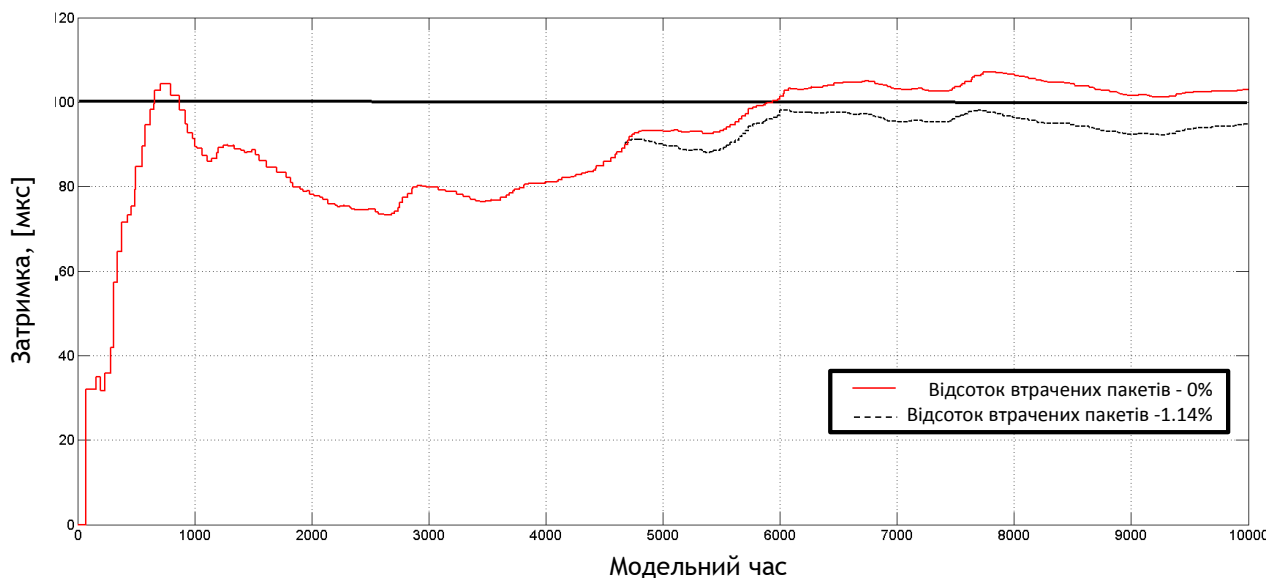


Рис.3.65. Порівняння тривалостей затримок пакетів відеопотоку віртуального маршрутизатора при вимушеному відкиданні пакетів

На віртуальному маршрутизаторі, який призначений для обслуговування потоку даних в умовах високої інтенсивності поступлення пакетів відбувається відкидання пакетів, оскільки виділена ємність буфера у розмірі 6 пакетів не дає змогу зберігати пакети, які надходять у чергу. Під потоком даних розуміється сервіс почти, який є чутливим до втрат, але не чутливим до затримок. Кількість відкинутих пакетів сягає 3 із 247 переданих пакетів, які складають дане повідомлення почти (рис.3.66). А це становить

1.21% загального повідомлення і є не припустим для забезпечення гарантованого рівня QoS за критерієм ймовірності втрат пакетів для сервісу пошти.

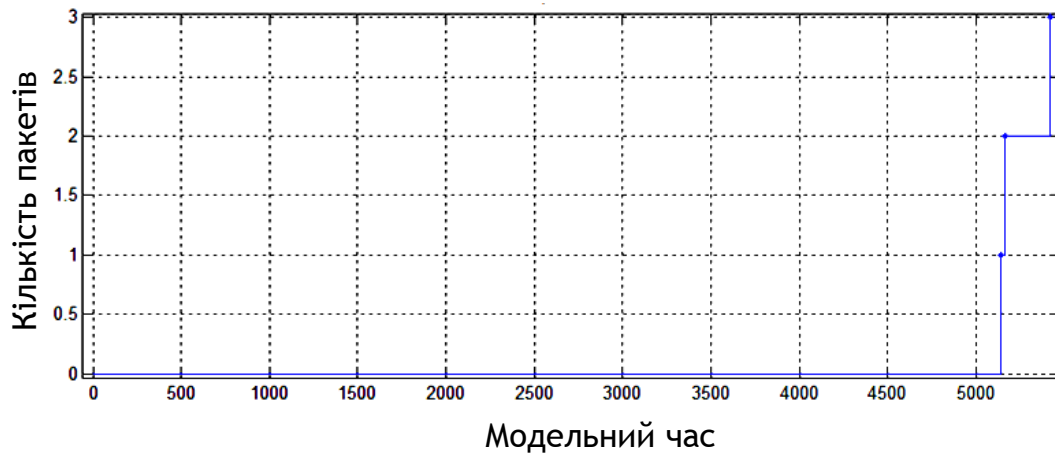


Рис.3.66. Кількість втрачених пакетів потоку даних у буфері віртуального маршрутизатора

Тому зменшивши розмір буфера на 2 пакети для відео потоку при вимушеному відкданні пакетів, даний вивільничей ресурс надаємо для сервісу пошти. Тобто, у віртуальному маршрутизаторі, який призначений для потоку даних збільшуємо ємність буфера на 2 пакети, внаслідок чого отримуємо ємність буфера у розмірі 8 пакетів. Після чого пристрій даного віртуального маршрутизатора працює у режимі без втрат та гарантує необхідний рівень QoS за критерієм втрат пакетів.

### 3.4. Висновки до 3-го розділу

1. З метою дослідження гарантованого рівня якості обслуговування абонентів мультисервісних телекомунікаційних мереж розроблено імітаційну модель пакетного маршрутизатора з віртуалізацією ресурсів. Модель дасть змогу проектувальникам вибрати оптимальні параметри мережевого обладнання для організації віртуальних маршрутизаторів, яка на відміну від існуючого принципу обслуговування забезпечить необхідну якість надання сервісів кінцевим користувачам.

2. Проведено порівняння системи обслуговування інформаційних потоків з статичною віртуалізацією обчислювальних ресурсів маршрутизатора із системою, яка функціонує в існуючих стандартних маршрутизаторах з алгоритмом обслуговування черг FIFO. Встановлено, область ефективності функціонування віртуальних маршрутизаторів з статичним виділенням ресурсів за критерієм мінімальної затримки необхідної для забезпечення гарантованого рівня якості обслуговування.

3. Оскільки, використання технології статичної віртуалізації мережевого пристрою не здатна повністю забезпечити гарантованого рівня QoS усім присутнім потокам в мережі за критерієм мінімальної затримки, тому запропоновано модель динамічної реконфігурації ресурсів мережевого пристрою для організації віртуальних маршрутизаторів, яка дає змогу гнучкіше управляти ресурсами в певні моменти часу в залежності від вхідного навантаження. Досліджено, що при динамічній віртуалізації мережевого пристрою забезпечується гарантований рівень якості обслуговування всіх переданих потоків в мультисервісній мережі.

4. Проведено дослідження та порівняння результатів затримки пакетів послуг систем обслуговування інформаційних потоків з статичною та динамічною реконфігурацією ресурсів маршрутизатора (організація трьох віртуальних маршрутизаторів) із системою пріоритетного обслуговування в одному фізичному маршрутизаторі. З результатів моделювання бачимо, що система пріоритетного обслуговування інформаційних потоків не здатна забезпечити усім потокам гарантованого рівня QoS за критерієм мінімальної затримки та є менш ефективною в порівнянні із системою динамічної віртуалізації обчислювальних ресурсів маршрутизатора.

5. У роботі проведено імітаційне моделювання та дослідження впливу методу управління структурними параметрами маршрутизатора з віртуалізацією ресурсів на якість обслуговування інформаційних потоків. За

отриманими результатами сформовано рекомендації щодо вибору необхідних структурно-функціональних параметрів такої системи, а також проведено дослідження залежності параметрів якості сервісу від зміни параметрів системи обслуговування і інтенсивності вхідного потоку. Встановлено, що зі зростанням коефіцієнта використання мережевого вузла розмір буфера зростає за експонентою, а за високих значень цього коефіцієнта зростає лінійно. Розроблено модель, яка дає змогу по заданих затримці та втратах вибрати оптимальні параметри віртуальних систем обслуговування. Також, можна розв'язувати і обернену задачу. Такий підхід можна використати на етапі проектування, а також для підвищення ефективності функціонування мережі .

## РОЗДІЛ 4.

### ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ ПРИСТРОЇВ МЕРЕЖНОГО РІВНЯ

В даному розділі описано технічні аспекти впровадження віртуальних маршрутизаторів в мультисервісній інфраструктурі. Розглянуто структурну декомпозицію топології мультисервісної мережі на віртуальні моно-сервісні та їх переваги у функціонуванні. Проведено опис розгортання віртуальних маршрутизаторів на фізичному відповідно до гнучкого розподілу віртуального часу доступу до процесора. Розроблено програмну модель маршрутизатора з набором сучасних механізмів та алгоритмів обслуговування інформаційних потоків. На основі програмної моделі маршрутизатора розширено набір функціональних можливостей пристрою: додано режим розгортання віртуальних вузлів з можливістю гнучкого управління структурними параметрами. Створено UML-діаграму побудови імітаційної моделі програмного маршрутизатора з віртуалізацією. Проведено дослідження якості обслуговування потокового трафіку на основі розробленої моделі програмного маршрутизатора з можливістю розгортання віртуальних обслуговуючих пристроїв класового призначення. Порівняно часові показники якості обслуговування IPTV потоку при використанні технології віртуалізації мережевого пристрою з існуючим алгоритмом справедливого обслуговування.

Наведені у розділі результати опубліковано у працях [106-108, 115, 118].

#### **4.1. Віртуалізація мережевого пристрою на основі системи віртуального часу**

Сучасні досягнення в галузі обладнання магістральних IP-мереж, особливо технологія віртуальної маршрутизації магістральних мереж, готують ґрунт для радикальних змін у сфері надання різного роду послуг через мережу Internet.

Віртуальні маршрутизатори відкривають шлях новим службам Internet, які будуть ізольовані від трафіку інших сервісів мережі і забезпечать контроль над продуктивністю, адмініструванням адрес і маршрутів Internet, засобами управління і мережевою безпекою.

Віртуальні магістральні маршрутизатори формуються в результаті логічного розбиття одного звичайного маршрутизатора. Кожен з таких віртуальних пристроїв працює зі своїм примірником комплекту протоколів маршрутизації, а також власними виділеними портами вводу/виводу, буферної пам'яті, адресним простором, таблицею маршрутів і програмами управління мережею.

Завдяки гнучкій конфігурації і простому розгортання віртуальних маршрутизаторів забезпечуються значна економія на операційних витратах. Як і інші віртуальні додатки, ці маршрутизатори працюють на віртуальній машині, встановленій на стандартному сервері x86. Ресурси на маршрутизаторах можуть виділятися і нарощуватися динамічно відповідно до зростання вимог щодо продуктивності.

Служби, що використовують віртуальні магістральні маршрутизатори, дають змогу клієнтові, без особливих витрат, встановити контроль над приватною магістральною мережею і забезпечити її безпеку, а також організувати із мультисервісної мережі віртуальні моно-сервісні мережі (рис.4.1). При такій організації мультисервісних мереж спрощується задача визначення моделі вхідного трафіку, які без декомпозиції використовували складні властивості самоподібності.

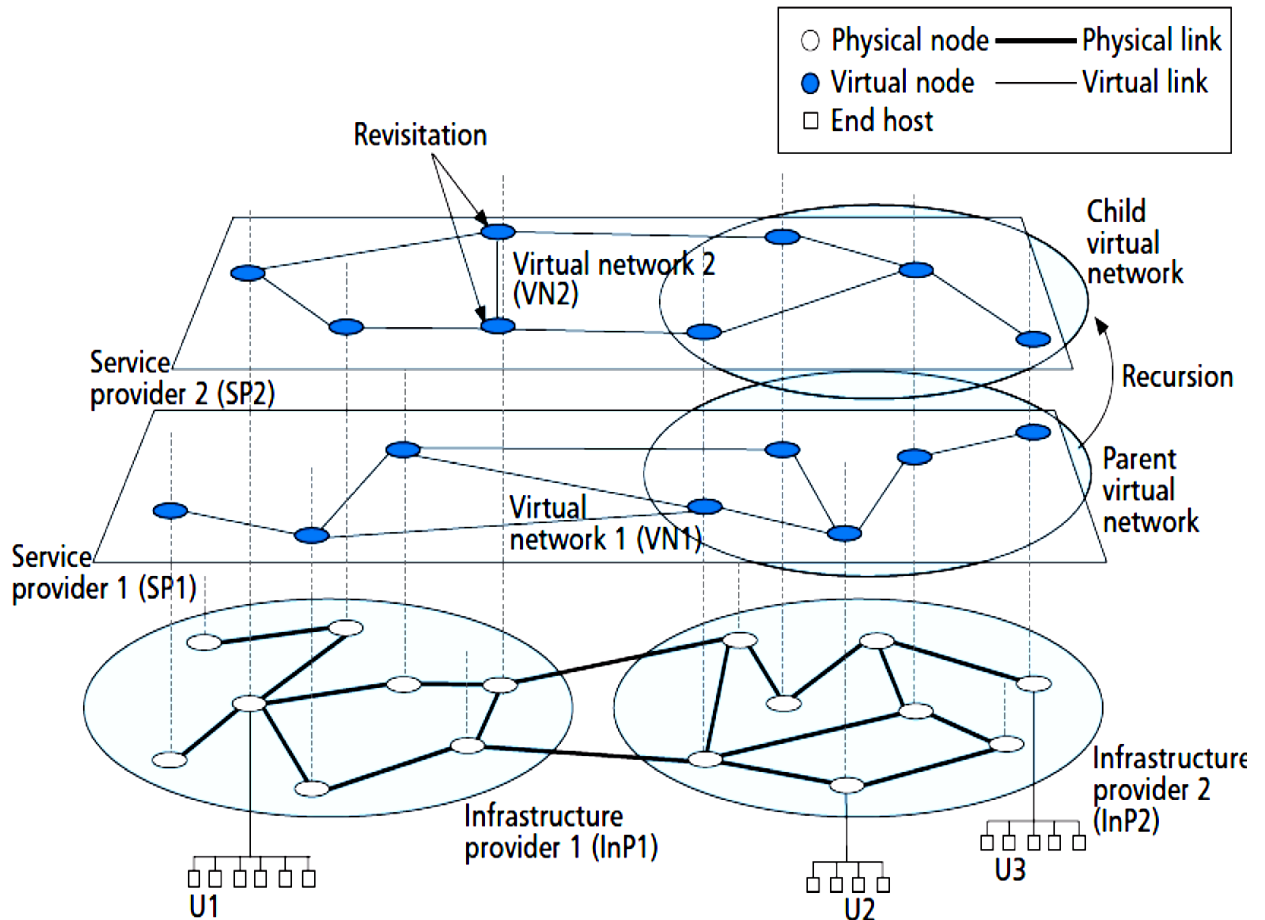


Рис.4.1. Декомпозиція фізичної топології мультисервісної мережі на віртуальні моносервісні

Програмне забезпечення, що управляє віртуальною маршрутизацією, має модульну структуру, використовується кілька примірників ПЗ (по числу віртуальних маршрутизаторів), які виконуються в операційній системі, наприклад Unix, Linux, розподіляючи обробку по процесам. Процеси кожного віртуального маршрутизатора ізольовані і захищені від інших процесів; для цього залучаються додаткові ресурси для управління процесами і захисту пам'яті, що належать операційній системі. Так досягається високий рівень безпеки: який би програмний модуль не дав збій, він не зможе зашкодити дані на іншому віртуальному маршрутизаторі.

Технологія віртуальної маршрутизації дає змогу на кожному віртуальному маршрутизаторі запустити свій екземпляр програм підтримки протоколів маршрутизації (наприклад, Open Shortest Path First, Border Gateway Protocol, Intermediate System to Intermediate System) і програмних засобів управління мережами (скажімо, SNMP). Таким чином, користувач може займатися моніторингом і адмініструванням будь-якого віртуального маршрутизатора незалежно від інших.

Використання окремих екземплярів ПЗ підтримки протоколів означає, що для кожного віртуального маршрутизатора створюється повністю ізольований домен IP-адрес, який можна налаштовувати незалежним чином, не побоюючись будь-яких конфліктів. За допомогою функцій управління можна контролювати конфігурацію і процес роботи кожного віртуального маршрутизатора як окремого, самостійного об'єкта. Модель безпеки, орієнтована на користувача, також гарантує, що всі функції мережевого управління та інформація, що відноситься до конкретного віртуального маршрутизатора, будуть доступні лише власникам певних повноважень доступу.

Канал пересилання пакетів кожного віртуального маршрутизатора можуть бути ізольовані від інших каналів, так що адміністратори можуть регулювати продуктивність кожного віртуального маршрутизатора окремо, незалежно від інших. Якщо через якийсь віртуальний маршрутизатор в системі пройде трафік більший, ніж зазвичай то це ніяк не позначиться на роботі інших маршрутизаторів. У підсумку всім кінцевим користувачам даної служби гарантується єдиний рівень обслуговування. Можлива і організація спільного каналу для передавання потоків через віртуальні маршрутизатори, в такому випадку відбувається управління процесорним часом обслуговування потоків. Тоді є можливість гнучко управляти обчислювальними ресурсами фізичного маршрутизатора. На сьогоднішній час відбувається інтенсивний розвиток



телекомунікаційного обладнання. Сучасне апаратне обладнання мають потужні обчислювальні ресурси з використанням багатоядерних процесорів. Відповідно, є змога для кожного віртуального маршрутизатора виділяти окреме фізичні ядра. А також робити багатofункціональні мережеві пристрої із розгортанням на них віртуальних маршрутизаторів та фаєрволів.

Планування виконання завдань (англ. Scheduling) є однією з ключових концепцій багатозадачності в багатопроцесорних системах, як в операційних системах загального призначення, так і в операційних системах реального часу. Планування полягає в призначенні пріоритетів процесам в черзі на обслуговування. Утиліта, що виконує це завдання, називається планувальником (англ. Scheduler).

Найважливішою метою планування завдань є максимальне завантаження доступних ресурсів. Для забезпечення загальної продуктивності системи планувальник має опиратися на:

- Використання процесора(-ів) — давати завдання процесору, якщо це можливо.
- Пропускна здатність — кількість процесів, що виконуються за одиницю часу.
- Час на завдання — кількість часу, для повного виконання певного процесу.
- Очікування — кількість часу, який процес очікує в черзі.
- Час відповіді — час, який проходить від подання запиту до першої відповіді на запит.
- Справедливість — рівність процесорного часу для кожного процесу.

У роботі пропонується розглядати варіант віртуалізації мережевого пристрою шляхом встановлення програмного маршрутизатора на сервер з одним фізичним ядром. Таким чином, дослідити принцип функціонування

віртуальних маршрутизаторів можна використовувати управління процесорним часом для кожного процесу. Для цього необхідно визначити який ресурс процесора використовується процесами операційної системи Linux-Ubuntu 14.04. Визначено, що загальна кількість системних процесів становить 166, які використовують процесор в межах на 6-7% (рис.4.2). Тому при розгортанні віртуальних маршрутизаторів, для оброблення потоків голосу, відео і дані буде виділено приблизно 90% CPU процесора. У нашому випадку крім 166 системних процесів з'явиться, ще один процес, який міститиме у собі декілька потоків. У кожному потоці виконується окремий віртуальний маршрутизатор призначений для обслуговування різних типів трафіку.

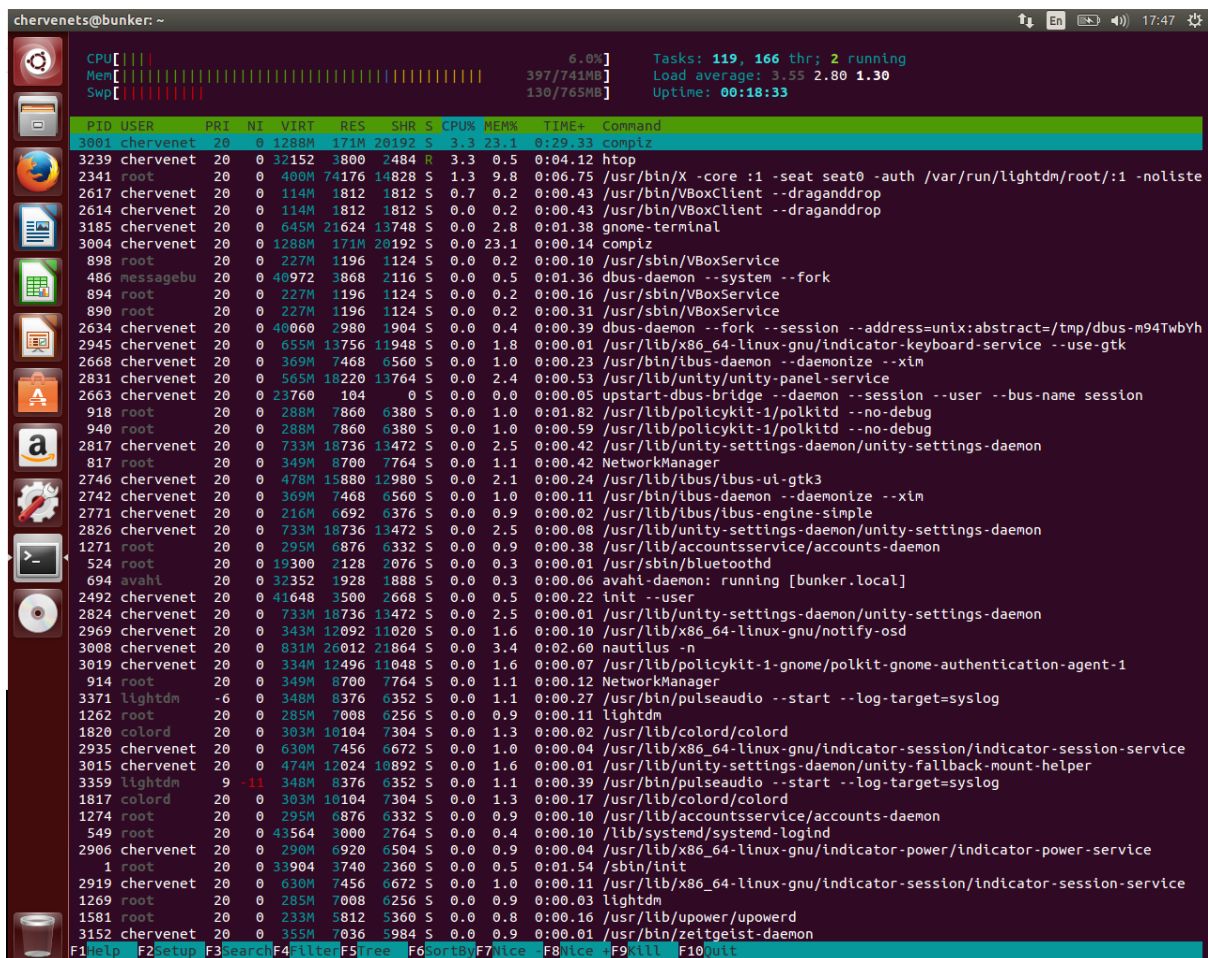


Рис.4.2. Оцінка завантаженості процесора системними процесами

Використання віртуальних маршрутизаторів дозволяє динамічно і з високою точністю задовольняти потреби сервісів в ресурсах смуги пропускання і одночасно надаючи користувачу максимальний контроль над виділеною відповідному сервісу пропускною здатністю; все це дозволяє прогнозувати появу безлічі різноманітних, гнучко конфігурованих IP-служб, які можуть кардинально змінити підходи провайдерів і клієнтів до сфери послуг, що надаються на умовах оплати певної частини смуги пропускання.

Нове покоління віртуальних маршрутизаторів характеризуються певними вдосконаленнями, які оптимізують їх управління та роботу мереж.

1. Пряма підтримка віртуалізації в рамках операційної системи маршрутизатора. Це спрощує управління віртуальними пристроями і дозволяє контролювати процес розподілу маршрутних протоколів між окремими віртуальними пристроями або роботу одного протоколу на всі існуючі віртуальні пристрої. Це збільшує обсяг трафіку, проте дозволяє скоротити операційні витрати.

2. Чітке розгалуження процесу побудови та оновлення таблиць маршрутизації і перенаправлення. На сьогоднішній день існує тенденція хостингу таблиць маршрутизації на окремому пристрої, що дає змогу розширювати їх без зменшення кількості портів для магістральних карт, а також здійснювати централізований процесінг декількох маршрутизаторів.

3. Чіткий розподіл магістральних та інших ресурсів між віртуальними маршрутизаторами/мережами. Для створення чіткої межі між віртуальними мережами важливим є розділити максимально можливий режим роботи (best-effort service) і преміум режим (premium service). Це необхідно для дотримання принципів мережевого нейтралітету.

4. Розширення використання віртуалізації для інших пристроїв. Багато мереж використовують технології Ethernet та IP для мереж доступу і

магістральної мережі. Єдиний топологічний протокол (topology protocol) може використовуватися для безлічі віртуальних пристроїв.

5. Система управління версіями ПО для маршрутизаторів. Якщо у декількох віртуальних маршрутизаторів різні вимоги до програмного забезпечення, вони можуть бути несумісні на одному і тому ж пристрої. Тому необхідно створити єдину версію ПО для віртуальних маршрутизаторів.

#### **4.2. Розробка програмного маршрутизатора з модульною структурою**

Аналіз ефективності функціонування мережі передавання даних та оптимізації конфігурованих параметрів маршрутизатора на сьогоднішній час є актуальним завданням.

Нижче представлена розроблена імітаційна модель програмного маршрутизатора з можливістю організації декількох віртуальних мережевих пристроїв, яка дає змогу оцінити трафік створюваний службовими повідомленнями, час перебування пакета в вузлі, кількість пакетів у буфері, ймовірність втрат пакетів, джитер, адекватність таблиць маршрутизації в вузлах, встановити оптимальні структурно-функціональні параметри вузла та параметри протоколу маршрутизації [107].

У процесі розробки моделі маршрутизатора спочатку будується модульна структура програми у вигляді дерева. Потім по черзі програмуються модулі програми, починаючи з модулів самого нижнього рівня (листи дерева модульної структури програми), у такому порядку, щоб для кожного програмуваного модуля вже запрограмовані всі модулі, до яких він може звертатися. Після того, як усі модулі програми запрограмовані, проводиться почергове тестування і налагодження окремого модуля в такому ж (висхідному) порядку, у якому велося їхнє програмування. Такий порядок розробки програми на перший погляд здається цілком природним: кожен

модуль при програмуванні виражається через уже запрограмовані безпосередньо підлегли модулі, а при тестуванні використовує вже налагоджені модулі.

Для опису структури такої системи використано діаграму класів (рис.4.3). Це один із основних способів опису, оскільки UML в першу чергу об'єктно-орієнтована мова, і класи є основним (якщо не єдиним) "будівельним матеріалом".

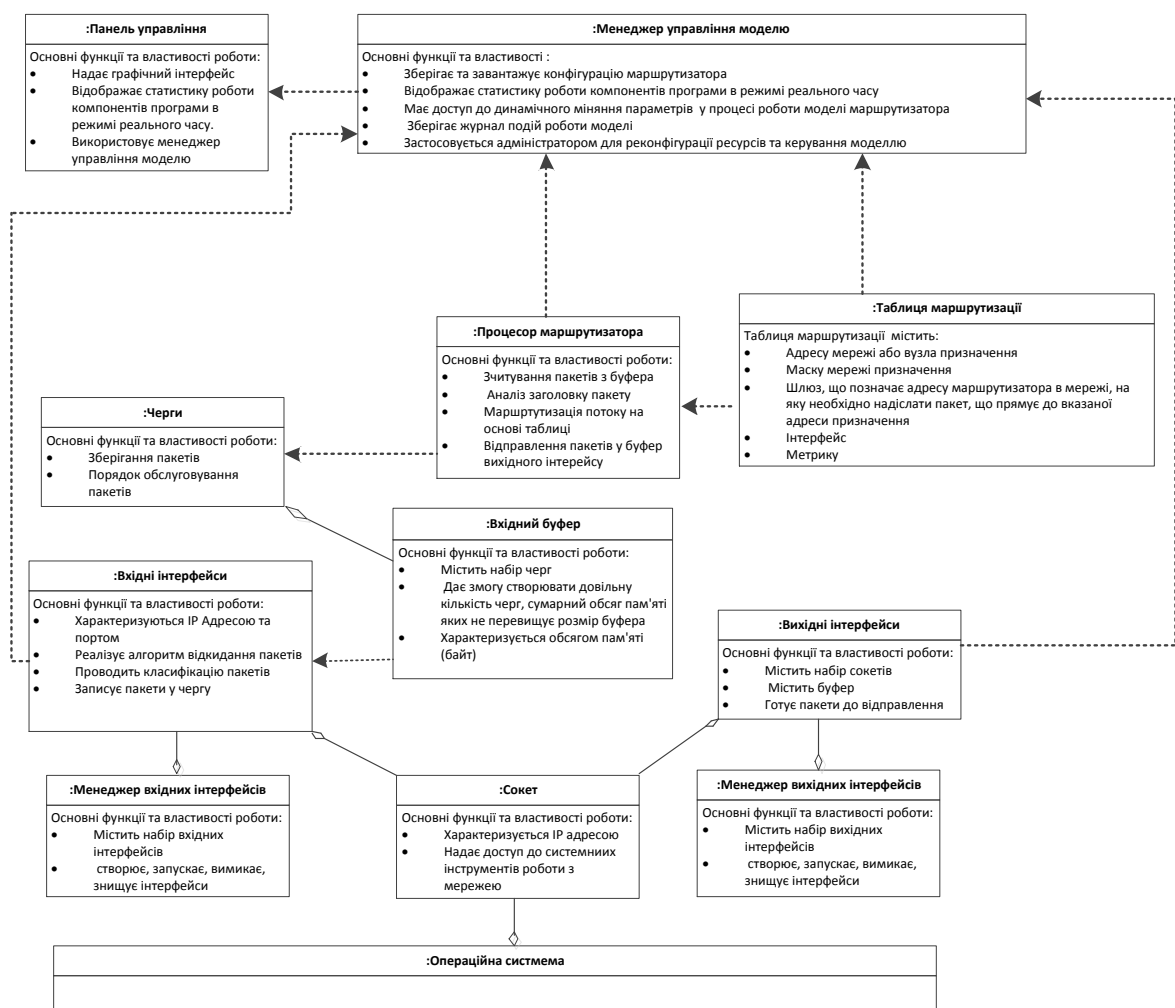


Рис.4.3. UML-діаграма імітаційної моделі програмного маршрутизатора

Програмна модель реалізована на мові C++ і має такі особливості:

- Кожен компонент моделі реалізований у вигляді окремого додатку і має свій IP-адрес і порт, що дає змогу підбирати і пов'язувати компоненти в залежності від конкретних умов;

- Імітаційна модель маршрутизатора може бути максимально наближена до конкретної моделі виробника;

- Розподіл компонентів моделі мережі передавання даних можливо як на одному, так і на не декількох комп'ютерах (серверах) з метою максимального наближення до реальних умов і моделювання мереж з необмеженим числом вузлів, не обмежуючись ресурсами одного комп'ютера.

Модель маршрутизатора представлена набором черг і обслуговуючих пристроїв (рис. 4.4) і відображає процес передавання пакетів, що реалізується в такий спосіб [107]:

1. На порти вхідних інтерфейсів поступає агрегований мультисервісний трафік.
2. Пакети потоків надходять у вхідну чергу
3. Процесор маршрутизатора на основі класифікатора, з урахуванням дисципліни обслуговування черг, вибирає пакет і аналізує його заголовок ToS, DSCP;
4. Процесор, який реалізує протокол маршрутизації, визначає напрямок для передавання повідомлення, і підтримує актуальність таблиць маршрутизації шляхом обміну службовими пакетами з іншими вузлами (при побудові мережі з декількох програмних маршрутизаторів);
5. Після обробки заголовка пакета і вибору порта вихідного інтерфейсу, пакет потрапляє в чергу очікування вихідного каналу.
6. Наступним кроком є передавання пакетів на інший мережевий пристрій визначений протоколом маршрутизації.

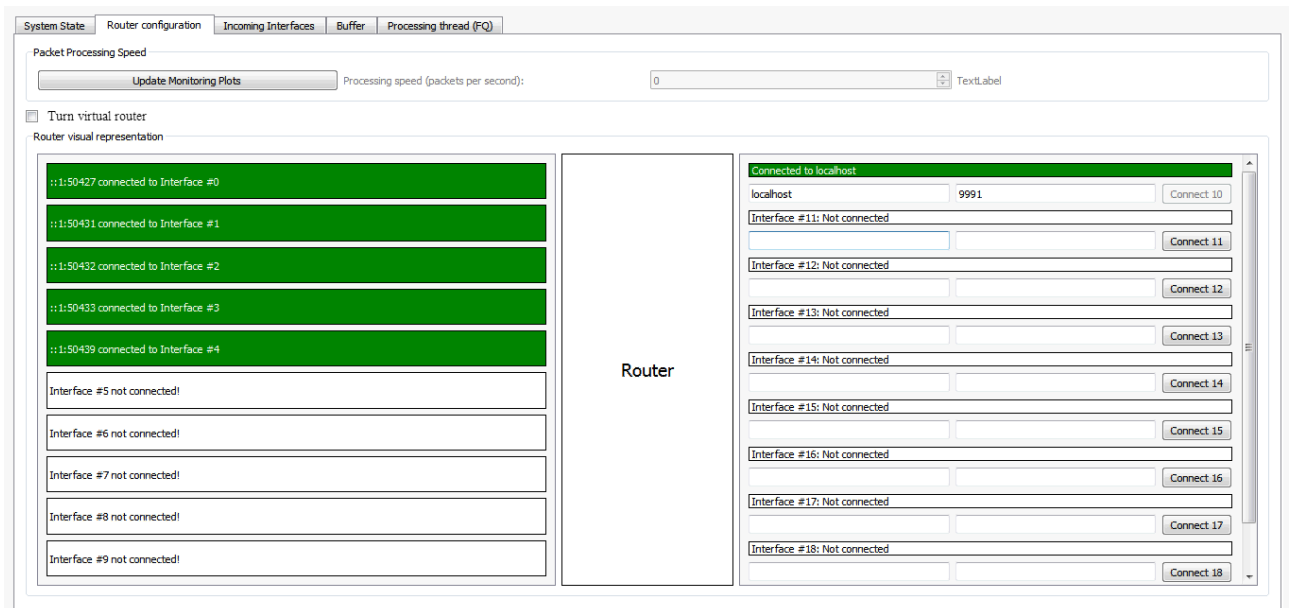


Рис.4.4 . Модель маршрутизатора з модульною структурою

Вихідними даними для розробленої імітаційної моделі є наступні характеристики мережі передавання даних:

#### 7. Мережеві:

- Кількість вузлів;
- Зв'язку між вузлами, що задаються матрицею інцендентності.

#### 8. Вузлові:

- Кількість і тип каналів зв'язку;
- Обсяг буферної пам'яті;
- Кількість і продуктивність обробних пристроїв;
- Підтримувані протоколи маршрутизації.

#### 9. Канальні:

- Максимальна пропускна здатність каналів зв'язку;
- Вартість доставки пакета по каналу зв'язку.

Джерела навантаження, задавалися інтенсивностями надходження пакетів. Інтенсивність вхідного потоку пакетів можна розглядати як суму трьох типів потоків, а саме:

- потоку пакетів від локальних мереж, підключених до даного маршрутизатора;
- потоку, створюваного пакетами від інших вузлів мережі;
- потоку, створюваного службовими пакетами протоколу маршрутизації, що використовуються для поновлення маршрутної інформації в вузлах.

Практична реалізація джерела навантаження являє собою генератор IP-пакетів, адресованих конкретному вузлу, визначеного розміру із заданою інтенсивністю. У моделі каналу зв'язку основним параметром є пропускна спроможність.

#### **4.3. Практична реалізація технології віртуалізації програмного маршрутизатора**

У роботі розроблено модель програмного маршрутизатора з віртуалізацією ресурсів. UML-діаграма імітаційної моделі такого програмного маршрутизатора з віртуалізацією ресурсів зображено на рисунку 4.5. Для розгортання віртуальних маршрутизаторів в програмній моделі використано компонент менеджера управління ресурсами віртуальних маршрутизаторів. Основні функції, якого полягають у динамічному розподілі часового ресурсу доступу до ресурсів процесора, взаємності від моніторингу поточних параметрів якості обслуговування. Чим більший час використання процесорного ресурсу віртуального маршрутизатора тим маршрутизатор є продуктивнішим.

Наступним кроком є реалізація роботи маршрутизатора з віртуалізацією. Для цього на сервері з операційною системою Linux встановлено програмний маршрутизатор, який працює в стандартному режимі обслуговування пакетів з





Після чого на фізичному маршрутизаторі розгортається 3 віртуальні маршрутизатора, які призначені для обслуговування свого типу трафіку. Розподіл обчислювальних ресурсів міняється залежності від потреб, щодо забезпечення гарантованого рівня QoS. На порти вхідних інтерфейсів надходять мультисервісні потоки. Пакети вхідних потоків поступають на аналізатор заголовків, який визначає, який віртуальний маршрутизатор буде приймачем. Після класифікації пакетів на різні віртуальні маршрутизатори, в режимі реального часу роботи відбувається конфігурація структурно функціональних параметрів вузла (буфер, CPU, RAM) з метою забезпечення необхідного рівня якості обслуговування інформаційних потоків. Буфер є важливим елементом управління QoS, який приймає рішення в які моменти потрібно виконувати відкидання пакетів при його переповненні.

Після зчитування процесором заголовків IP пакетів здійснюється маршрутизація потоків на порти для передавання пакетів, а також відбувається обмін сигналізаційними повідомленнями між віртуальними маршрутизаторами встановлених на шляху передавання з кінця в кінець для узгодження таблиць маршрутизації.

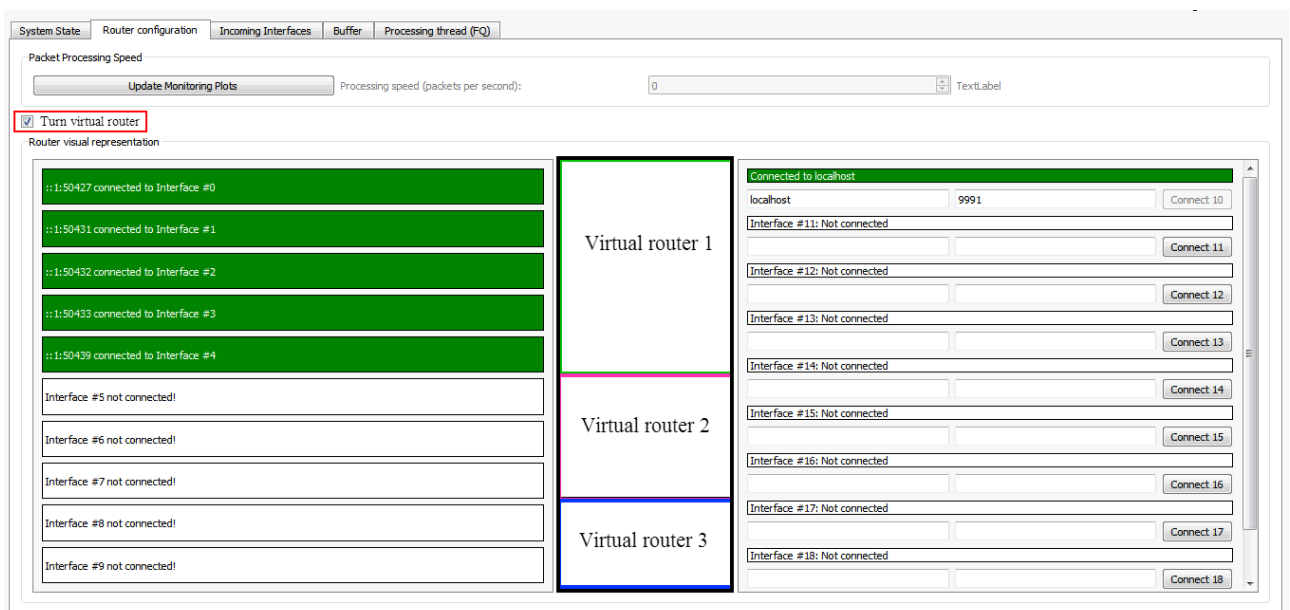


Рис.4.6 . Модель віртуальних маршрутизаторів

#### **4.4. Забезпечення гарантовано рівня якості обслуговування потокового трафіку у віртуальній мультисервісній інфраструктурі**

На основі розробленої моделі програмного маршрутизатора з можливістю розгортання віртуальних обслуговуючих пристроїв класового призначення, проведено дослідження якості обслуговування потокового трафіку. Сервісом потокового трафіку є послуга IPTV. Дослідження проводилось у два етапи.

Першим етапом є оцінка OoS параметрів при використанні справедливого алгоритму обробки черг заснованого на потоках. Для варіанту FWFQ на базі потоків в маршрутизаторі створюється стільки черг, скільки потоків існує в трафіку. Під потоком в даному випадку розуміються пакети з певними значеннями IP-адрес відправника і одержувача та/або портів TCP/UDP відправника і одержувача (типу протоколів транспортного рівня), а також однаковими значеннями поля ToS або DSCP. Інакше кажучи, потік - це послідовність пакетів від однієї програми з певними параметрами якості обслуговування, заданими в поле ToS. Кожному потоку відповідає окрема вихідна черга, для якої в періоди перевантажень механізм FQ виділяє рівні частки пропускної спроможності порту. Тому іноді алгоритм FWFQ називають FQ (Fair Queuing) - справедливе обслуговування.

Другим етапом є оцінка QoS параметрів сервісу IPTV при використанні запропонованої технології віртуальних маршрутизаторів в режимі реального часу функціонування. Отже, запустивши програмний маршрутизатор на сервері, необхідно згенерувати вхідне навантаження на вузол. Для цього використано генератор трафіку, характеристики яких наближаються до характеристик реальних потоків даних. Генератор трафіку побудований за принципом використання технології сокетів. Дані, які потрібно передати

пакуються у пакети. Коли дані посилаються від джерела вони просуваються від прикладного рівня вниз через всі інші рівні. З рівня відображення вони передаються на сеансовий рівень, що відповідає за синхронізацію сеансу з хостом-адресатом. Далі дані передаються на транспортний рівень, що відповідає за їх транспортування від хоста до хоста. Але перед передачею на мережевий рівень, до пакету, що формується, додається інформація про транспортування. Ця інформація, в свою чергу, поповнюється інформацією про маршрут на мережевому рівні і складає пакет. Далі пакет передається на каналний рівень, формуються у вигляді кадрів, що містять необхідні адреси, для передачі на каналному рівні. На фізичному рівні організовується пересилання даних у вигляді одиниць та нулів. В результаті, коли потік одиниць та нулів досягне адресату, дані будуть підняті вверх по рівням моделі. Такий процес називається деінкапсуляцією. Також, генератор дає змогу формувати трафік з довільними параметрами, на основі динамічного змішування потоків з різними статистичними характеристиками та вимогами до якості обслуговування .

На кожен із задіяних, чотирьох вхідних інтерфейсів, генерується мультисервісний потік. Після чого ці потоки агрегуються на вихідному інтерфейсі під номером 11. Результати інтенсивностей поступлення пакетів на вхідні інтерфейси програмного маршрутизатора зображено на рисунку .4.7-4.10.

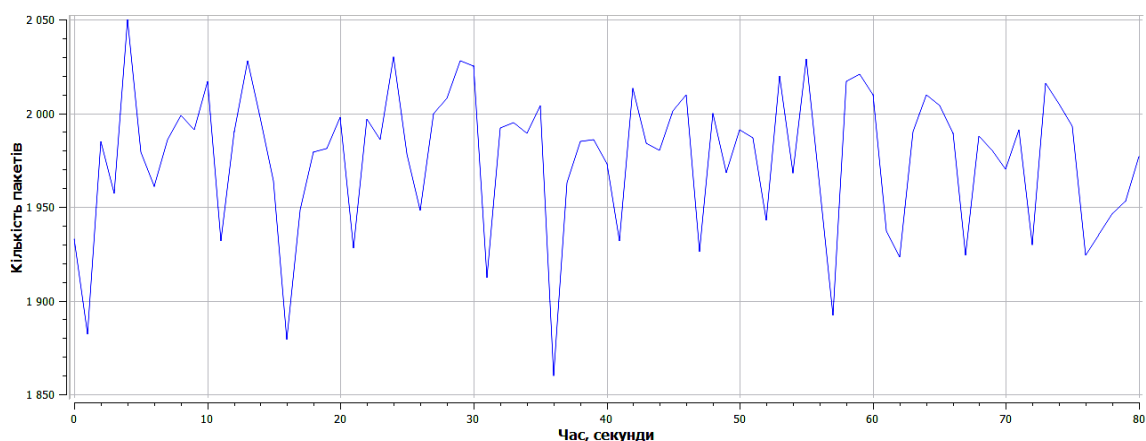


Рис.4.7 . Інтенсивність поступлення пакетів на інтерфейс №0

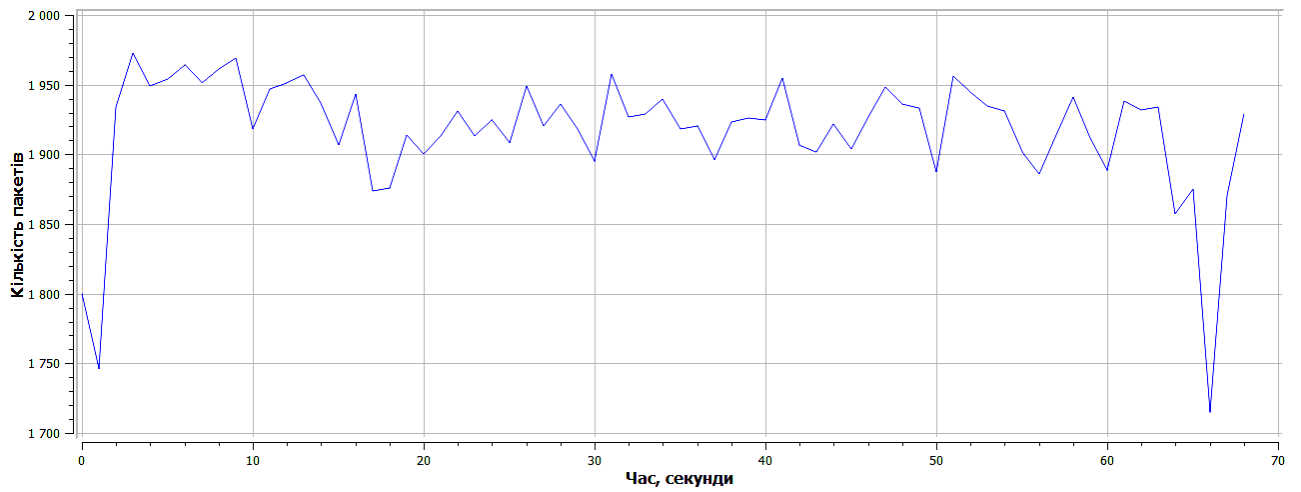


Рис.4.8 . Інтенсивність поступлення пакетів на інтерфейс №1

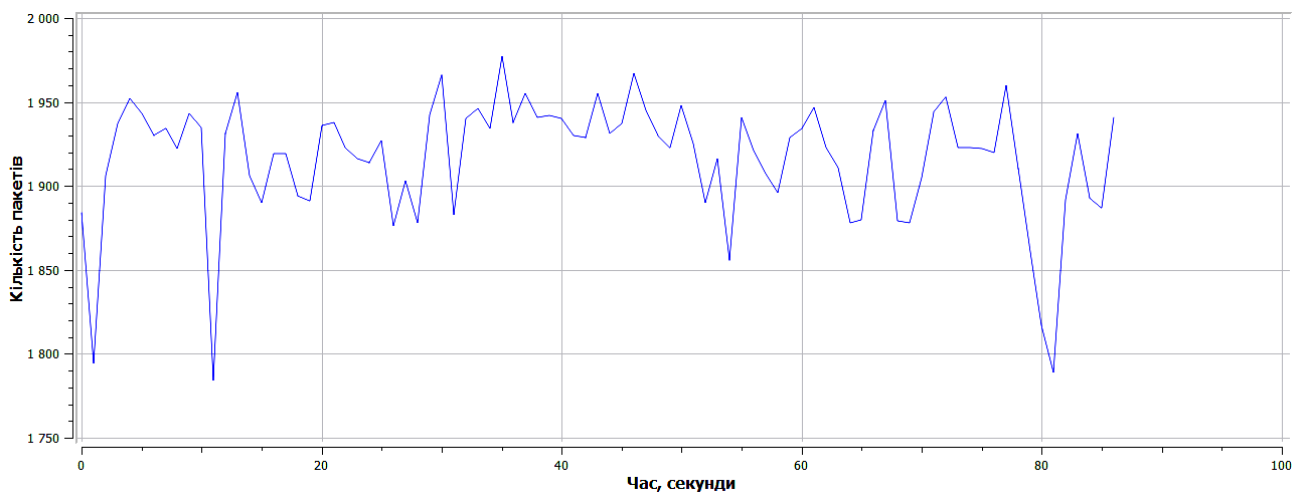


Рис.4.9 . Інтенсивність поступлення пакетів на інтерфейс №2

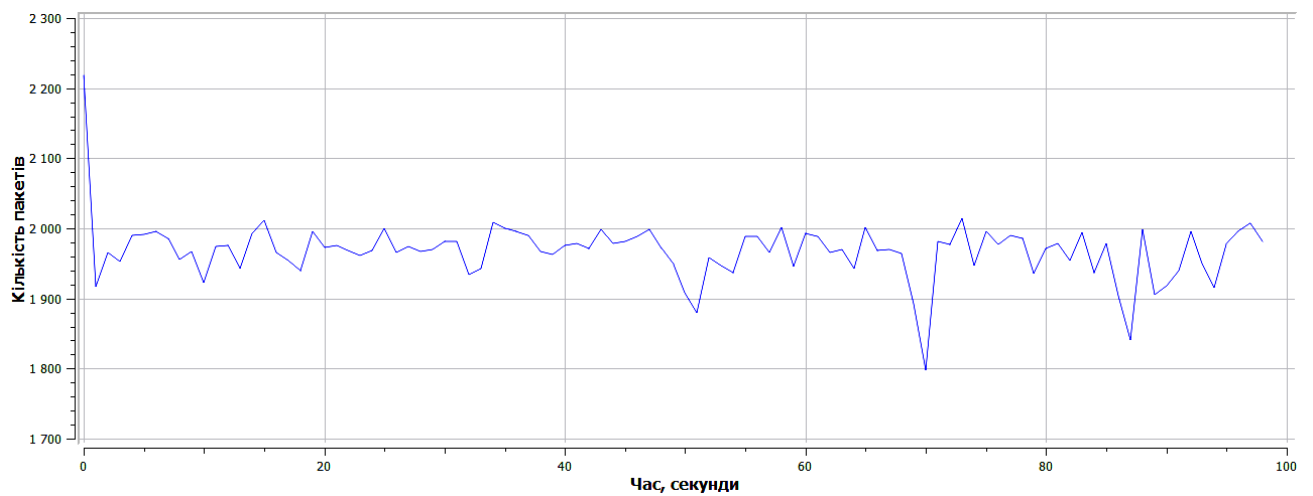


Рис.4.10 . Інтенсивність поступлення пакетів на інтерфейс №3

На вихідному інтерфейсі №0 утворюєть агрегований мультисервісний потік з коефіцієнтом завантаження пристрою зображеного на рисунку 4.11



Рис.4.11 . Коефіцієнт завантаження маршрутизатора на рівні агрегації потоків

Для дослідження якості обслуговування потокового трафіку IPTV програмним маршрутизатором на вхідний інтерфейс під номером №4 генеруються пакети потоку (рис.4.12) . Після чого пакети IPTV надходять на вихідний інтерфейс під номером №0, який уже задіяний під обслуговування агрегованого трафіку з портів № 0, 1, 2, 3.

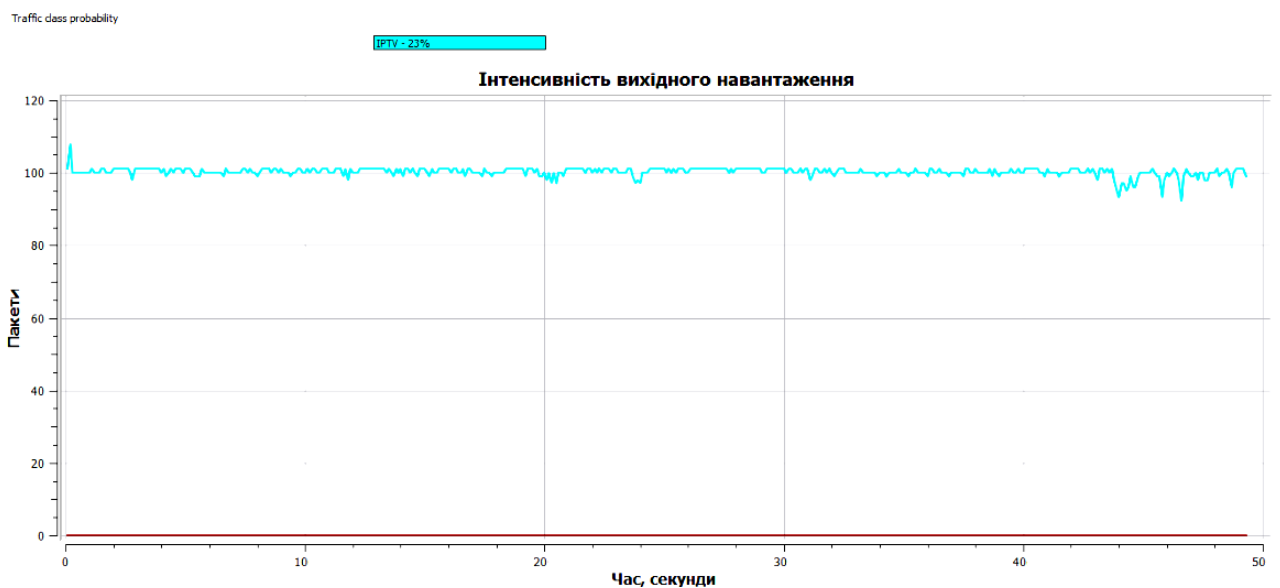


Рис.4.12.Інтенсивність надходження пакетів досліджуваного IPTV сервісу

У багатьох мережевих пристроях механізм FQ є одним з основних для підтримки якості обслуговування, в тому числі і в разі різних протоколів, що використовують методи сигналізації для координованої поведінки всіх пристроїв мережі. Тому, програмний маршрутизатор використовує алгоритм

FQ для оцінки параметрів якості обслуговування потоку IPTV з кінця в кінець в режимі реального часу. При використанні FQ, тривалість затримки пакетів IPTV з порядковим номером від 1 до 1800 та 3081 до 3500 перевищують встановлений необхідний рівень гарантованого обслуговування за критерієм затримки (червона штрих пунктирна лінія) згідно рекомендацій IT-UT (рис.4.13). Чорною кривою відображено поточні затримки пакетів протягом реального часу спостереження та відповідно синьою кривою зображено середнє значення затримки пакетів IPTV потоку. Затримка пакетів з порядковим номером від 1801-3080 утворюється при використанні технології динамічної віртуалізації обчислювальних ресурсів маршрутизатора, який на відміну від попередньої конфігурації маршрутизатора дає змогу гнучкіше управляти ресурсами. Таким, чином для потового трафіку, а саме потоку IPTV виділяється окремий віртуальний маршрутизатор, який забезпечує необхідний рівень якості обслуговування пакетів за критерієм затримки. Аналогічно на рисунку 4.14 показано джитер потоку з кінця в кінець. На відміну від існуючого режиму роботи маршрутизатора модель віртуалізації мережевого пристрою, враховуючи рівень якості обслуговування для кожного класу трафіку, забезпечує мінімізацію джитеру пакетів. В обох випадках втрата пакетів на вузлі не спостерігалась. На рисунку 4.15 показано розподіл тривалостей затримки пакетів IPTV, який є адекватним розподілу тривалості обслуговування пакетів в маршрутизаторах мультисервісної мережі при передаванні реальних потоків даних в режимі реального часу спостереження [108,115].

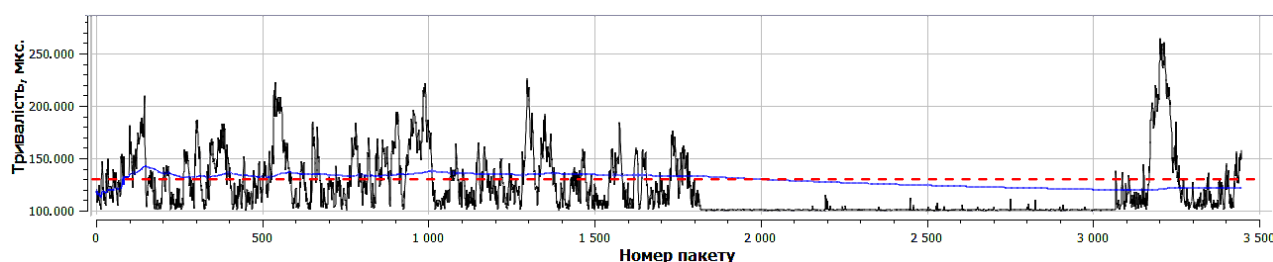


Рис. 4.13. Затримка з кінця в кінець при передаванні IPTV трафіку через агрегуючий маршрутизатор

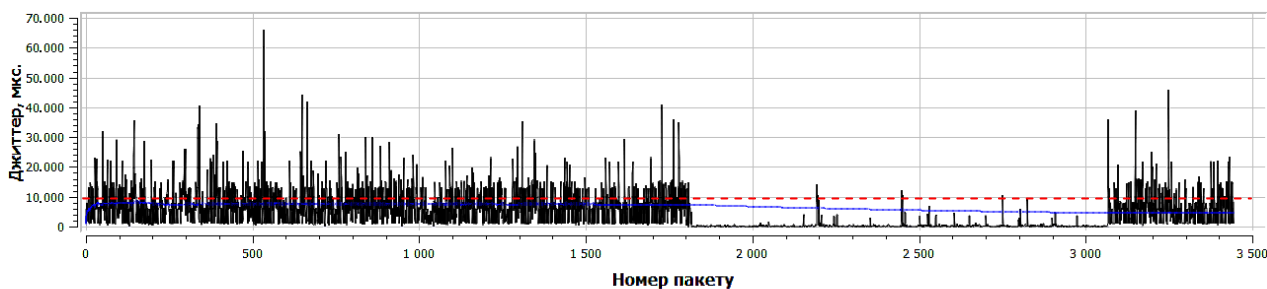


Рис. 4.14. Джиттер при передаванні IPTV трафіку через агрегуючий маршрутизатор

Необхідність в черзі виникає в періоди тимчасових перевантажень, коли мережевий пристрій не встигає передавати пакети на вихідний інтерфейс. Якщо причиною перевантаження є процесорний блок мережевого пристрою, то необроблені пакети тимчасово поміщаються до вхідної черги. У разі, коли причина перевантаження полягає в обмеженій швидкості вихідного інтерфейсу (а вона не може перевищувати швидкість підтримуваного протоколу), то пакети тимчасово зберігаються у вихідній черзі.

Оцінка можливої довжини черг в мережевих пристроях дала б змогу визначити параметри якості обслуговування при відомих характеристиках трафіку. Однак зміна черг є імовірнісний процес, на який впливає безліч факторів, особливо при складних алгоритмах обробки черг відповідно до заданих пріоритетів або шляхом зваженого обслуговування різних потоків. Аналізом черг займається спеціальна область прикладної математики - теорія масового обслуговування (queuing theory), проте отримати з її допомогою кількісні оцінки можна тільки для дуже простих ситуацій, які не відповідають реальним умовам роботи мережевих пристроїв. Тому служба QoS використовує для підтримки гарантованого рівня якості обслуговування досить складну модель, вирішуючи завдання комплексно [118]. Розроблена модель програмного маршрутизатора дає змогу оцінити завантаженість буферів протягом реального часу спостереження. На рисунку 4.15 показано завантаженість буфера черги, у яку поміщаються пакети IPTV при



використанні справедливого алгоритму обслуговування черг FQ. З результатів бачимо, що максимальна кількість пакетів у буфері становить 23, а затримка буферизації в порівнянні з затримкою у віртуальному маршрутизаторі (рис.4.16) при максимальній кількості пакетів 6 є значно більшою.

В процесі розгортання віртуальних маршрутизаторів параметри якості обслуговування інших потоків погіршуються у допустимих межах для гарантування заданого рівня якості обслуговування в порівнянні із алгоритмом FQ.

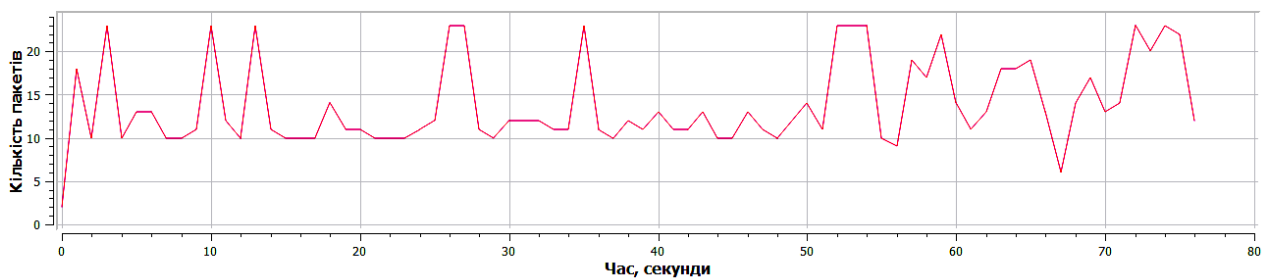


Рис. 4.15. Завантаження буфера черги з потоками IPTV при використанні алгоритму FQ

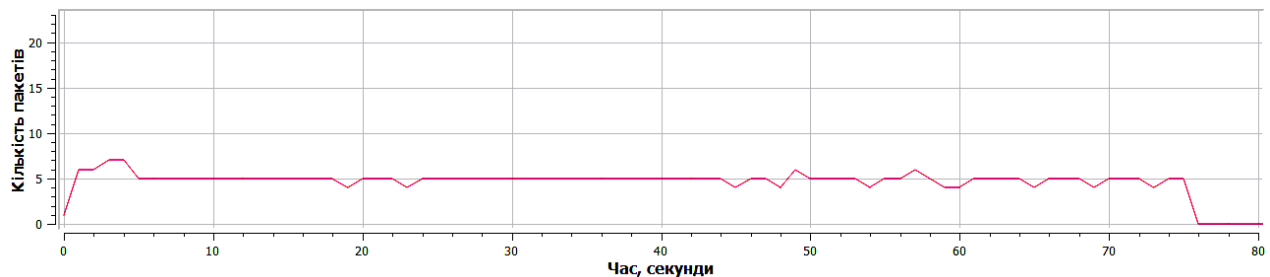


Рис. 4.16. Завантаження буфера віртуального маршрутизатора потоками IPTV

Таким чином, технологія динамічної віртуалізації мережевого пристрою забезпечує можливість вибору мінімального обсягу мережевих ресурсів для гарантування заданого рівня якості обслуговування та дає можливість на 25-30% підвищити якість обслуговування потокового відео трафіку реального часу за критерієм затримки та джитеру .

#### 4.5. Висновки до 4-го розділу

1. Проведено обґрунтування доцільності використання віртуальних маршрутизаторів. При такому рішенні оператори дають змогу клієнтові без особливих витрат встановити контроль над приватною магістральною мережею і забезпечити її безпеку, а також організувати із мультисервісної мережі віртуальні моно-сервісні мережі з певним набором механізмів забезпечення якості обслуговування. При такій структурній організації мультисервісних мереж спрощується задача визначення моделі вхідного трафіку, оскільки дає змогу розглядати будь-яку досліджувану систему як складну, що складається з окремих взаємопов'язаних віртуальних підсистем, які, в свою чергу, також можуть бути розділеними на частини. Програмне забезпечення, що управляє віртуальними маршрутизаторами, має модульну структуру; використовується кілька примірників ПЗ (по числу віртуальних маршрутизаторів), які виконуються в операційній системі, наприклад Unix, Linux, які забезпечують розподіл ресурсів для обробки по процесам. Процеси кожного віртуального маршрутизатора ізольовані і захищені від інших процесів.

2. Розроблено програмну модель маршрутизатора з можливістю розгортання віртуальних обслуговуючих пристроїв. В основі програмного маршрутизатора лежить технологія сокетів, які є програмними об'єктами операційної системи та складаються з IP адреси пристрою та TCP порту. Використовуючи API операційної системи, програмний маршрутизатор отримує сформований об'єкт сокету та використовує його для комунікації з іншими програмними маршрутизаторами, які встановлені на інших фізичних машинах у локальній мережі. Імітаційна модель маршрутизатора може бути максимально наближена до конкретної моделі виробника. Розподіл компонентів моделі мережі передавання даних можливо як на одному, так і на декількох серверах з метою максимального наближення до реальних умов і

моделювання мультисервісних мереж з необмеженим числом вузлів, не обмежуючись ресурсами одного фізичного пристрою.

3. На основі розробленої програмної моделі маршрутизатора, проведено дослідження якості обслуговування потокового відео реального часу. Оскільки у багатьох сучасних маршрутизаторах алгоритм обслуговування черг FQ є одним з найефективнішим для підтримки якості обслуговування, то в роботі проведено порівняння часових параметрів QoS при використанні технології динамічної віртуалізації мережевого пристрою із алгоритму FQ. Аналізуючи отримані результати, доведено, що при розгортанні віртуальних маршрутизаторів класового призначення технологія динамічної віртуалізації мережевого пристрою забезпечує можливість вибору мінімального обсягу обчислювальних ресурсів маршрутизатора для гарантування заданого рівня якості обслуговування та дає змогу на 25-30% знизити тривалість затримки та джитер IPTV потоку.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

Сукупність наукових положень, сформульованих та обґрунтованих в дисертаційній роботі, становить розв'язання наукового завдання покращення параметрів якості обслуговування потокового трафіку в мультисервісних мережах за рахунок удосконалення методу адаптивного управління структурними параметрами вузла та розроблення моделей віртуалізації мережевого пристрою.

Основні результати роботи полягають у наступному:

1. На основі аналізу досліджень за тематикою дисертації визначено основні методи розв'язання окремих задач забезпечення якості обслуговування. Встановлено, що існуючі алгоритми обслуговування черг і механізми розподілу каналних ресурсів не надають гарантій, щодо якості обслуговування потокового трафіку. Основним напрямком розширення можливостей обраних методів є забезпечення якості обслуговування мультимедійного трафіку на основі віртуалізації структури мережних вузлів із врахуванням пріоритетності потоків та вимог щодо якості їх передавання.

2. Розроблено модель віртуального маршрутизатора зі статичною та динамічною реконфігурацією ресурсів, яка дає змогу створювати віртуальні пристрої з оптимальними параметрами (довжина черги, дисципліна керування переповненням черги, кількість обслуговуючих пристроїв, режим роботи обслуговуючих пристроїв) для забезпечення необхідного рівня QoS в процесі надання послуг. Використання віртуальних мережних пристроїв в існуючій мережній інфраструктурі дало змогу ефективно розподіляти наявні мережні ресурси в умовах високої завантаженості мережі з великою кількістю видів послуг, а також забезпечити необхідну якість сприйняття відповідних послуг кінцевим користувачем, зокрема послуг потокового мультимедіа, як найбільш поширеного та ресурсоємного трафіку.

3. Запропоновано математичну модель мережевого пристрою з віртуальними маршрутизаторами. За допомогою даного математичного представлення можна визначити основні параметри системи віртуальних черг, що базуються на алгоритмі FIFO з метою проведення аналізу ефективності використання мережних ресурсів, а також визначення параметрів якості обслуговування потоків трафіку сервісів, що надаються, для заданої інтенсивності надходження пакетів на вхідний інтерфейс мережного елемента.

4. Сформовано залежність між структурно-функціональними параметрами та параметрами якості обслуговування. Забезпечено узгоджене розв'язання завдань планування та управління обчислювальними ресурсами за рахунок введення динамічної віртуалізації маршрутизаторів для гарантованого оброблення певних класів трафіку. Динаміка забезпечується шляхом адаптивного перерозподілу мережевого ресурсу за умов зростання або спадання обсягів трафіку.

5. З метою дослідження гарантованого рівня якості обслуговування абонентів мультисервісних телекомунікаційних мереж розроблено імітаційну модель пакетного маршрутизатора з віртуалізацією ресурсів. Проведено дослідження та порівняння затримок пакетів послуг для систем обслуговування інформаційних потоків зі статичною та динамічною реконфігурацією ресурсів маршрутизатора (організація трьох віртуальних маршрутизаторів) із системою пріоритетного обслуговування. За результатами моделювання доведено, що система пріоритетного обслуговування інформаційних потоків не здатна забезпечити усім потокам гарантований рівень QoS, на відміну від системи з динамічною віртуалізацією обчислювальних ресурсів маршрутизатора. На основі імітаційного моделювання встановлено, що метод управління структурними параметри віртуальних маршрутизаторів, дає змогу при одних і тих самих обсягах ресурсів мережевого пристрою, зменшити тривалість

затримки пакетів послуг реального часу на 18,8%, а для потоків чутливих до втрат зменшити ймовірність втрат пакетів до 10 разів.

6. Розроблено програмну модель маршрутизатора з набором сучасних механізмів та алгоритмів обслуговування інформаційних потоків. На основі програмної моделі маршрутизатора розширено набір функціональних можливостей пристрою, зокрема режимом розгортання віртуальних вузлів з можливістю гнучкого управління структурними параметрами.

7. На основі розробленої програмної моделі маршрутизатора проведено дослідження та порівняння якості обслуговування потокового відео реального часу за використання технології динамічної віртуалізації мережевого пристрою та алгоритму справедливого обслуговування черг FQ. Аналізуючи отримані результати доведено, що за умов розгортання віртуальних маршрутизаторів класового призначення, технологія динамічної віртуалізації мережевого пристрою забезпечує можливість призначення мінімального обсягу обчислювальних ресурсів маршрутизатора для гарантування заданого рівня якості обслуговування та дає змогу на 25-30% знизити показники затримки та джитера IPTV потоку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Яновский Г.Г. Качество обслуживания в сетях IP// Вестник связи – 2008. – №1.
2. Кучерявый Е.А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет. – СПб.: Наука и Техника, 2004. – 336: ил.
3. МСЭ-Т Recommendation Y.1541. Network Performance Objectives for IP-Based Services//May 2002.
4. МСЭ-Т Recommendation Y.1540. IP Packet Transfer and Availability Performance Parameters//December 2002.
5. Vegesna S. IP Quality of Service./ Srinivas Vegesna. – Cisco Press. – 2001. – 368 p
6. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979. – 425 с.
7. Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения. – СПб.: BHV. – 2005. – 288 с.
8. Cisco Systems Quality of Service // handbook
9. Cisco Systems. DiffServ – The Scalable End-to-End QoS Model / Cisco Systems // Cisco IOS Technologies.
- 10.S. Shenker and J. Wroclawski. General Characterization Parameters for Integrated Service Network Elements (IETF RFC 2215). Internet Engineering Task Force, September 1997.
- 11.R. Braden, D. Clark, and S. Shenker. Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview (IETF RFC 1633). Internet Engineering Task Force, June 1994.
- 12.R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, and S. Jamin, "Resource ReSer-  
vation Protocol (RSVP)-Version 1", Functional Specification, Request for  
Comments: 2205, September 1997.

13. Guo Hai, Jia Bo, "Soho Network Modelling and Simulation using Opnet," Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol. 48, No. 3(Feb. 2013), pp. 1855-1860
14. S. Black, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang and W. Weiss, "Architecture for Differentiated Services", RFC2475, December 1998.
15. K. Nichols, V. Jacobson and L. Zhang, "A two-bit differentiated services architecture for the Internet", Network Working Group, RFC 2638, July 1999.
16. Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers; RFC-2474, December 1998 [Электронный ресурс]/К. Nichols./ - Режим доступу до статті: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2474.txt>
17. S. Akhtar, E. Ahmed, A. kumar Saha, K. S. Arefin, "Performance Analysis of Integrated Service over Differentiated Service for Next Generation Internet", Journal of Computer and Information Technology, vol. 1, pp. 95-101, 2010.
18. T. Ahmed, R. Boutaba and A. Mehaoua, "A Measurement-Based Approach for Dynamic QoS Adaptation in DiffServ Networks", Science Direct, Computer Communications, Volume 28, Issue 18, November 2005, pp. 2020-2033.
19. Герцій О. А., Гребінь Р. О. Методи забезпечення якості зв'язку мультисервісних мереж. // Збірник наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 20. – К.: ДЕТУТ, 2012. – с.191-196
20. S. Shioda, K. Mase, "Performance Comparison between IntServ-Based and DiffServ-Based Networks", In Global Telecommunications Conference, IEEE, vol.1, pp 1-6, 2005.
21. Є. М. Чернихівський, В. В. Червенець, О. Б. Білик. Визначення часових параметрів обслуговування потокового трафіку з пріоритетними класами // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2011. – № 705 : Радіоелектроніка та телекомунікації. – С. 167-170.



- 22.ETSI, “Human Factors (HF); Quality of Experience (QoE) requirements for real-time communication services,” European Telecommunications Standards Institute, TR 102 643, Jan. 2010.
23. M. N. Zapater and G. Bressan, “A Proposed Approach for Quality of Experience Assurance of IPTV,” in First International Conference on the Digital Society. ICDS '07., 2007.
- 24.A. Takahashi, D. Hands, and V. Barriac, “Standardization activities in the ITU for a QoE assessment of IPTV,” *Communications Magazine, IEEE*, vol. 46, no. 2, pp. 78–84, february 2008.
- 25.K. Seshadrinathan, R. Soundararajan, A. Bovik, and L. Cormack, “Study of Subjective and Objective Quality Assessment of Video,” *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 19, no. 6, pp.1427–1441, june 2010.
- 26.P. Romaniak, “Hybrid Solution for Quality of Experience Assessment of Video Streams Integrating Network Provider and User Approaches — Introduction to Research,” Ph.D. dissertation, AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland, 2009.
- 27.T. A. Okamoto J., Watanabe K., “Media-layer Objective Video Quality Assessment Technology for Video Communication Services,” International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector, Technical Review J.144 (04/2009), April 2009.
- 28.B. Wang, X. Wen, S. Yong, and Z. Wei, “A New Approach Measuring Users’ QoE in the IPTV,” in *Circuits, Communications and Systems, 2009. PACCS '09. Pacific-Asia Conference on*, 2009, pp. 453–456.
- 29.A. Bhat, I. Richardson, and S. Kannangara, “A new perceptual quality metric for compressed video,” in *Acoustics, Speech and Signal Processing, 2009. ICASSP 2009. IEEE International Conference on*, 2009, pp. 933–936.
- 30.Recommendation ITU-T G.1050. Network model for evaluating multimedia transmission performance over Internet Protocol: - 11/2007.

- 31.Рекомендация ITU-R BT.1683. Методы измерения объективного воспринятого качества изображений в вещательном телевидении стандартной четкости в присутствии изображения эталонного качества. - 2004.
- 32.C. J. Branden Lambrecht Perceptual Quality Measure using a Spatio- Temporal Model of the Human Visual System / C. J. Branden Lambrecht and O. Verscheure // Proc. SPIE. - March, 1996. - Vol. 2668. - PP. 450-461. [cited by 96].
- 33.Рекомендация ITU-R BT.500-13. Методика субъективной оценки качества телевизионных изображений. - 01/2012.
- 34.Understanding PQR, DMOS, and PSNR Measurements [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [www.tektronix.com](http://www.tektronix.com).
- 35.Мухайло Климаш, Иван Демидов, Микола Бешлей, Ольга Шпур. Features of the cloud services implementation in the national network segment of ukraine // Information and Telecommunication Sciences, 2016.-PP. 31-38
- 36.Дробот О.А., Беленков А.Г., Чепелюк С.А. Управление сетевыми ресурсами в мультисервисных телекоммуникационных сетях//Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: Материалы X Международного молодежного форума (10-12 апреля 2006 г.).–Харьков: Харьковский национальный университет радиоэлектроники,2006.С.18.
- 37.Лемешко А.В., Симоненко Д.В., Дробот О.А. Анализ многопутевых решений задач QoS маршрутизации // Информационные технологии: наука, техника, технологии, образование, здоровье: Материалы XIV Международной научно-практической конференции (18-19 мая 2006 г.). – Харьков: Харьковский политехнический институт, 2006. – С. 64.
- 38.Дробот О.А., Чепелюк С.А., Тугай А.В. Модель управління мережними ресурсами з врахуванням QoS-вимог // Світ інформації та телекомунікацій-2006: Матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції студентства та молоді (26-27 травня 2006 р.). - Київ: Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, 2006. – С. 78.

39. Klymash M., Stryhaluk B., Demydov I., Beshley M., Seliuchenko M. "A Novel Approach of Optimum Multi-criteria Vertical Handoff Algorithm for Heterogeneous Wireless Networks" International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 5, Issue 5, November 2014 p. 41-52
40. Герцій О. А., Гребінь Р. О. Методи забезпечення якості зв'язку мультисервісних мереж. // Збірник наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 20. – К.: ДЕТУТ, 2012. – с.191-196
- 41.. Климаш М. М. Модель надання сервісів на основі методу адаптації логічної структури cloud-системи / М. М. Климаш, Б. М. Стрихалюк, О. М. Шпур, М. І. Бешлей // Наукові записки УНДІЗ. – 2014. – №5(33) – С. 27-36
42. Klymash M. The model of prioritization of service for efficient usage of resource multiservice network. / M. Klymash, M. Beshley, V. Koval // Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science Proceedings of the XI th International Conference TCSET'2012 (Lviv – Slavske, February 21–24), 2012. - P. 320-321
43. Климаш М.М. Модель системи управління ресурсами мультисервісних мереж в умовах самоподібності трафіку / М.М. Климаш, О.А. Лаврів, М. І. Бешлей // Радіоелектроніка та телекомунікації [зб. наук. пр.] / відп. ред. Б.А.Мандзій. – Л. : Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", – 2012. - № 737. - С. 168-175.
44. Cisco Systems. DiffServ – The Scalable End-to-End QoS Model / Cisco Systems // Cisco IOS Technologies.
45. Симонина О. А. Автореферат диссертации на тему «Модели расчета показателей QoS в сетях следующего поколения». – СПб: ГУТ, 2005. – 17 с.
46. Климаш М. М., Лаврів О. А., Бешлей М. І. Система гнучкого управління мережними ресурсами на основі методу визначення пріоритетів послуг. – 2012.

- 47.Каун Ю.В. Буферна пам'ять комутаторів / Ю.В. Каун // Міжвузівський збірник "Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво". – Луцьк. ЛНТУ. - 2011. - №5. -с. 108-113.
- 48.Мухайло Klymash, Maryan Kyryk, Nazar Pleskanka, Volodymyr Yanyshyn Data Buffering Multilevel Model at a Multiservice Traffic Service Node // Smart Computing Review. Korea – Vol. 4. No. 4. August 31, 2014, p. 294-306.
- 49.Климаш М.М. Дослідження побудови технологічних ресурсів у конвергентній мережі на базі мобільного оператора для надання послуги Triple Play / М.М. Климаш, О.В. Корецький, М.І. Бешлей, В.Б. Янишин.// Радіоелектроніка та телекомунікації [зб. наук. пр.] / відп. ред. Б.А.Мандзій. – Л. : Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", – 2011. - № 705. - С. 176-183
- 50.Заявка а 2014 13995 Україна, МПК H04L 12/861. Спосіб буферизації мультисервісного трафіку у вузлах обслуговування / Н. М. Плесканка, М. М. Климаш, М. І. Кирик, Б. М. Стрихалюк. – № 177127; заявл. 26.12.2014
- 51.Дробот О.А. Комплексная модель обеспечения гарантированного качества обслуживания с реализацией динамических стратегий распределения сетевых ресурсов / Дробот О.А. // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2007. № 148. С.43-54.
- 52.М. Beshley. Research and Development the Methods of Quality of Service Provision in Mobile Cloud Systems. / М. Beshley , Т. Maksymyuk , В. Stryhaluk, М. Klymash. // The 2014 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (IEEE BlackSeaCom 2014), Odessa, Ukraine – Chisinau, Moldova, May 27-30, 2014. – Chisinau:TUM, 2014. - pp. 160-164.
- 53.Скулиш М. А. Удосконалення алгоритму керування інформаційними потоками у вузлах телекомунікаційних мереж / М. А. Скулиш //Вісник Харківського національного університету №863, 2009. –с. 237-245.
- 54.Т. Velmurugan, Н. Chandra, and S. Balaji, "Comparison of queuing disciplines for differentiated services using OPNET," IEEE International Conference on

Advances in Recent Technologies in Communication and Computing, 2009, pp. 744-746.

55.Агеев Д.В. Распределение информационных потоков в мультисервисных телекоммуникационных системах согласно критерию максимума прибыли оператора связи / Д.В. Агеев, Хайдара Абдалла // Науково-технічна конференція «Світ інформації та телекомунікацій - 2010»: Збірник тез. – К.: ДУИКТ, 2010. – С. 72

56.Д.В. Агеев. Методика определения параметров потоков на разных участках мультисервисной телекоммуникационной сети с учетом эффекта самоподобия / Д.В. Агеев,А.А. Игнатенко А.Н. Копылев // Проблемы телекоммуникаций.- 2011.-№3(5).-С.18-37.

57.Киреева Н. В . Частный случай исследования параметров трафика сети для определения законов распределения времени передачи пакетов / Киреева Н. В., Чупахина Л. Р. //Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований Выпуск № 5-3 / 2015.-с. 395-398

58.Seliuchenko M. Development of monitoring system for end-to-end packet delay measurement in Software-Defined Networks / M.Seliuchenko, M.Beshley, O.Panchenko, M.Klymash // Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science. Proceedings of the International Conference TCSET'2016 (Lviv-Slavske, Ukraine, February 23–26, 2016). – Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2016. – P.667-670.

59.Beshley M. Investigation the modified priority queuing method based on virtualized network testbed / M.Beshley, V.Romanchuk, M.Seliuchenko, A.Masiuk // Proceedings of The XIIIth International Conference “The experience of designing and application of CAD Systems in microelectronics” CADSM'2015 (Lviv-Poljana, Ukraine, February 24-27, 2015). – Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2015. – P.1-4.

60.Klymash M. System for increasing quality of service of multimedia data in convergent networks // M.Klymash, V.Stryhaluk, M.Beshley, M.Seliuchenko / Международная научно-практическая конференция "Проблемы инфокоммуникаций. Наука и технологии" (PIC S&T-2014) 5-го Международного радиоэлектронного форума "Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития" МРФ-2014: Сборник научных трудов: материалы форума в 4-х томах (Харьков, 14-17 октября 2014 г.). – Харьков, 2014. – Т.2. – С.96-102.

61.Бешлей М.І. Оцінка адекватності функціонування програмного маршрутизатора у процесі обслуговування мультимедійного трафіку // М.І. Бешлей, О.М. Селюченко, О.А. Лаврів, А.Р. Масюк, Г.В. Холявка// Вісник Національного університету «Львівська політехніка» №818. Радіоелектроніка та телекомунікації. – Львів. - 2015.- С.162 – 173

62.Ложковський А.Г. Дослідження впливу параметрів навантаження на характеристики якості обслуговування: дис. канд. техн. наук: спец. 05.12.02 "Телекомунікаційні системи та мережі. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2003. – 20 с.

63.Лемешко А.В. Адаптивное ограничение интенсивности трафика на приграничных узлах мультисервисной сети связи / Лемешко А.В. Васюта К.С., Добрышкин Ю.Н. // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2007. – Вып. 151. – С. 5–10.

64.Beshley M. SOA quality management subsystem on the basis of load balancing method using fuzzy sets / M. Beshley, M. Klymash, V.Strykhalyuk, O. Shpur, V. Bugil, I. Kagalo // International Journal of Computer Science and Software Engineering (IJCSSE). – 2015 - Volume 4 - Issue 1 – P.10-21

65.Агеев Д.В. Расчет объема требуемых сетевых ресурсов мультисервисной телекоммуникационной сети / Д.В. Агеев, Д.В. Евлаш // 12-й міжнародний

молодіжний форум «Радіоелектроніка і молодь в ХХІ ст.» Зб. матеріалів ХНУРЕ. – Харків: ХНУРЕ, 2008. – С. 118.

66.Klymash M. The researching and modeling of structures of mobile networks for providing of multiservice radio access. / M. Klymash, R. Savchuk, P. Pozdnyakov M. Beshley // Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science Proceedings of the XI th International Conference TCSET'2012 (Lviv – Slavske, February 21–24), 2012. - P. 281-282

67.Бешлей М. Методика пріоритезації послуг у мультисервісних телекомунікаційних мережах для ефективного перерозподілу їх ресурсів. – 2011.

68.Лемешко А.В. Адаптивное ограничение интенсивности трафика на приграничных узлах мультисервисной сети связи / Лемешко А.В. Васюта К.С., Добрышкин Ю.Н. // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2007. – Вып. 151. – С. 5–10.

69.Линец Г. И. Определение объема буферной памяти узлов коммутации при передаче самоподобной нагрузки / Линец Г. И // ИКТ. Т. 5, № 3, 2007. – С. 90-94.

70.Лемешко А.В. Динамическая модель балансировки буферных и канальных ресурсов транспортной сети телекоммуникационной системы [Электронный ресурс] / А.В. Лемешко, Д.В. Симоненко // Проблемы телекоммуникацій. – 2010. – № 2 (2). – С. 42 – 49. – Режим доступа к журн.: [http://pt.journal.kh.ua/2010/2/2/102\\_lemeshko\\_dynamic.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2010/2/2/102_lemeshko_dynamic.pdf).

71.Э.В. Афонцев. О выборе размера буфера маршрутизатора компьютерной сети, нагруженного интенсивным трафиком реального времени / Э.В. Афонцев, М.К. Гребенкин, С.В. Поршнева // Известия Томского политехнического университета. 2008. Т. 313. № 5. С. 106 – 109.

72. Sizing and Management of Router Buffers / [Kung H.T.] // Second Annual Sprint Applied Research Partners Advanced Networking (SPARTAN) Symposium. – 1998. – V. 1. – № 9. – P. 34–37.
73. Wischik D. Buffer Size for Core Routers / Wischik D., McKeown N. // Computer Communication Review. – 2005. – V. 3. – № 35. – P. 75–78.
74. Климаш М. М. Оптимізація багат шарової структури транспортної мережі на основі технологій IP/MPLS/DWDM за допомогою методу діакоптики / М. М. Климаш, М. В. Кайдан, М. І. Бешлей, А. В. Редька // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. - 2015. - № 3. - С. 32-42. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nzundiz\\_2015\\_3\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nzundiz_2015_3_6).
75. A. Erramilli, O. Narayan, and W. Willinger, “Experimental queuing analysis with long-range dependent packet traffic,” IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 4, no. 2, pp. 209–223, Apr. 1996.
76. On the relationship between file sizes, transport protocols, and self-similar network traffic / [Park K., Kim G., Crovella M.] // Proceedings of the Fourth International Conference on Network Protocols (ICNP'96) . .1996. . P.171-180.
77. Стрихалюк Б.М. Дослідження статистичних параметрів та характеристик інформаційних потоків в гетерогенних мережах / Б.М.Стрихалюк, І.В.Демидов, В.І. Романчук, М.І. Бешлей // Наукові записки УНДІЗ. – 2014. – №6(34) – С. 82-78.
78. Петров, В.В. Структура телетрафіка и алгоритм обеспечения качества обслуживания при влиянии эффекта самоподобия [Текст] : дис. ... канд. тех. наук: 05.12.13: защищена 10.02.05: утв. 15.07.05 / В.В. Петров. – М., 2004. – 199 с.
79. Бешлей М. І. Підвищення якості обслуговування пріоритетного трафіку реального часу у вузлах мультисервісної мережі. – 2015.
80. Иванов, В.В. Статистическая модель информационного трафика : автореф. дис. . канд. физ.-мат. наук : 05.13.18 [Текст] / В.В Иванов ; Объединенный институт ядерных исследований.– Дубна, 2009. – 30 с.



81. Tsybakov, B.S. Self-Similar Processes in Communications Networks [Text] / B.S. Tsybakov, N.D. Georganas // Information Theory, 1998. – vol.44. – no.5. – pp.1713-1725.
82. Мельник А.О. Порівняльний аналіз типів пам'яті комп'ютера / А.О. Мельник, Д.Х. АльРаващдех // Вісник Національного університету "Львівська політехніка: комп'ютерні системи та мережі. - Львів : Львівська політехніка, 2007. -№ 603.-с.81-86.
83. Верхола Б. Дисципліни обслуговування черг на мережевому рівні OSI / Б. Верхола. //Комп'ютерні технології друкарства. Львів. -2010. №24.-с. 134-140
84. A.G. P. Rahbar, and O. Yang, "LGRR: a new packet scheduling algorithm for differentiated services packet-switched networks," Sarhan M. Musa et al Int. Journal of Engineering Research and Applications www.ijera.com ISSN : 2248-9622, Vol. 3, Issue 6, Nov-Dec 2013, pp.1587-1591 www.ijera.com 1591 | P a g e Computer Communications, Vol. 32, Issue 2, pp. 357-367, 2009.
85. W. Mardini, and M. M. Abu-Alfoul, "Modified WRR scheduling algorithm for WiMAX networks," Network Protocols and Algorithms, vol. 3, n0. 2, pp. 24-53, 2011.
86. Klymash. M.M. Model of Network Resources Management on the Basis of Services Priorities Association / M. Klymash, M. Beshley, O. Lavriv // Proceedings of XIIth International conference "The experience of designing and application of CAD Systems in microelectronics" CADSM'2013. (24-27 February, Lviv-Poljana, Ukraine ), 2013.- P. 146-148.
87. Климаш М.М. Модель оптимізації багатошарових структур телекомунікаційних мереж за допомогою лінійного програмування методом діакоптики. / М.М. Климаш, М.В. Кайдан, М.І Бешлей, А.В. Редька // Комп'ютерні технології друкарства – Л.: УАД. - 2014. - №32. - С.59-68
88. Кравцова Н.А. Модель оценки качества обслуживания в мультисервисных сетях передачи данных, позволяющая описать агрегированный поток

информации, потери и задержки / Н. А. Кравцова // Известия ОрелГТУ. – 2007. – №4-3/272(550). С. 74-78.

89.Алиев Р.Т. Методы управления трафиком в мультисервисных сетях / Р. Т. Алиев // Научно-технический вестник СПбГИТМО (ТУ). – 2002. – Выпуск 6. – С. 10–13.

90.Короненко А.М. Метод ефективного динамічного розподілення каналів між голосовими викликами та даними / А. М. Короненко // Electronics and Communications. – 2014. – № 4(81). – С. 83-89.

91.Климаш М.М. Підвищення якості обслуговування в конвергентних мобільних системах на основі платформи UMA-A [Електронний ресурс] /. М.М Климаш, М.І. Бешлей, О.А. Лаврів, Б.М. Стрихалюк, Г.В.Холявка // .Проблеми телекомунікацій. – 2014 – №1(13) – С. 3 - 19.

92.Бешлей М.І. Модель системи динамічного управління пропускною здатністю каналу інтегрованої WI-FI/GSM мережі / М. І.Бешлей, В.П.Ткачук, Б.А. Бугиль, О.А. Лаврів // Радіоелектроніка та телекомунікації [зб. наук. пр.] / відп. ред. Б.А. Мандзій. – Л. : Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", – 2014.- № 796. - С. 83-96.

93.Andriy Masiuk, Mykola Beshley, Orest Lavriv, Yuriy Deschynskiy, " Common radio resource management model for heterogeneous cellular networks", 2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET) (Lviv – Slavske, February 23–26), 2016. - P. 661-663

94.Klymash M. Mobility management and vertical handover decision in an always best connected heterogeneous network / M.Klymash, M.Seliuchenko, M.Beshley, M.Brych // Proceedings of The XIIIth International Conference “The experience of designing and application of CAD Systems in microelectronics” CADSM’2015 (Lviv-Poljana, Ukraine, February 24-27, 2015). – Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2015. – P.103-105.

95. Klymash M. Increasing wavelengths utilization efficiency in OTNoDWDM network based on local resource distribution method / M.Klymash, M.Seliuchenko, M.Beshley, S.Redchuk // Second IEEE International Scientific-Practical Conference “Problems of Infocommunications. Science and Technology” (PICS&T’2015): Conference proceedings (Kharkiv, Ukraine, October 13-15, 2015). – Kh: KHNURE, 2015. – P.157-160.
96. Лемешко О.В. Управління чергами на вузлах активної мережі / Лемешко А.В., Симоненко А.В. // Радіотехніка: Радиотехника: Всеукр. міжвед. науч.-техн. сб. – 2007. – Вип. 151. – С. 92–97.
97. Clark, D., Fang, W., Explicit Allocation of Best Effort Packet Delivery Service, Internet draft, Sept. 1997, pp. 27-32.
98. T. Velmurugan, H. Chandra, and S. Balaji, “Comparison of queuing disciplines for differentiated services using OPNET,” IEEE International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing, pp. 744-746, 2009.
99. Dekeris, B., Narbutaite, L., Adomkus, T., Analysis of the Differentiated Services rates scheduling disciplines // Electronic and electrotechnics.-Kaunas: Technology, No. 6 (55), 2004, pp. 34-39.
100. Semeria, C., Supporting differentiated service classes: queue scheduling disciplines // Juniper networks, 2001, pp. 11-14.
101. Mitko Gospodinov, “The affects of different queuing disciplines over FTP, Video and VoIP Performance”, in International Conference On Computer Systems and Technologies - CompSysTech, 2004, pp. 1 – 19
102. J. Mao, W.M Moh, and B. Wei, PQWRR scheduling algorithm in supporting of DiffServ, Communications, 2001. ICC 2001. IEEE International Conference on , vol.3, no., pp.679-684 vol.3, 2001

103. Yanfeng Zhang, Cuirong Wang and Yuan Gao, A Virtualized Network Architecture for Improving QoS // I.J. Information Engineering and Electronic Business, 2009, 1, 17-24
104. Strykhalyuk B., Implementation of wireless heterogeneous network based on LTE core virtualization for military communication systems / B.Strykhalyuk, I.Kahalo, M.Brych, M.Beshley, M.Seliuchenko // Системи озброєння і військова техніка: наук. журнал - Х: Харк. ун-т Повітр. Сил ім. Івана Кожедуба. - 2014. – №4(40) - С. 125-132
105. Ложковский А.Г. Теория массового обслуживания в телекоммуникациях: учебник / А.Г. Ложковский. – Одесса: ОНАС им. А. С. Попова, 2012. – 112 с.
106. Beshley M. Increasing the efficiency of real-time content delivery by improving the technology of priority assignment and processing of IP traffic / M. Beshley, M. Seliuchenko, O. Lavriv, V. Chervenets, H. Kholiavka, M. Klymash // Smart Computing Review, - 2015.- Vol.5,- No.2. – P.76-88
107. Бешлей М.І. Розвиток методів передавання даних реального часу шляхом вдосконалення процесів пріоритезації потоків у маршрутизаторах / М.І. Бешлей, В.В. Червенець, І.В. Демидов, В.І. Романчук, О.М. Панченко// Системи обробки інформації: наук. журнал - Х: Харк. ун-т Повітр. Сил ім. Івана Кожедуба. - 2016. –№5(142) - С. 114-123.
108. Романчук В. І. Аналіз структури мережевого трафіку та мережевих аномалій на прикладі сегмента локальної мережі кампусу Національного університету “Львівська політехніка”/ В. І. Романчук, С. В. Алексєєв, В. В. Червенець, Р. С. Колодій // Радіоелектроніка та телекомунікації [зб. наук. пр.] / відп. ред. Б.А. Мандзій. – Л. : Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", – 2014. - № 796. – С. 157–163.
109. Бугиль Б.А. Методи оптимізації фізичної та логічної структур телекомунікаційних мереж / О.А. Лаврів, Б.А. Бугиль, В.В. Червенець, М. І. Бешлей // Радіоелектроніка та телекомунікації [зб. наук. пр.] / відп. ред.

Б.А. Мандзій. – Л. : Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", – 2013. – № 766. – С. 76 – 81.

110. Кирик М. І. Дослідження буферизації мультимедійного трафіку в мережах передачі даних / М. І. Кирик, Т. В. Андрухів, В. В. Червенець, Н. М. Плесканка // Радіоелектроніка та телекомунікації [зб. наук. пр.] / відп. ред. Б.А. Мандзій. – Л. : Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", – 2012. – № 738. – С. 100 –106.

111. Чернихівський Є. М. Визначення часових параметрів обслуговування потокового трафіку з пріоритетними класами / Є. М. Чернихівський, В. В. Червенець, О. Б. Білик. // Радіоелектроніка та телекомунікації [зб. наук. пр.] / відп. ред. Б.А. Мандзій. – Л. : Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", – 2011. – № 705. – С. 167–170.

112. Чернихівський Є.М. Оцінка і управління якістю сприйняття послуги (QoE) в телекомунікаційних мережах / Є.М. Чернихівський, М.І. Кирик, В.І. Романчук, В.В. Червенець // Радіоелектроніка та телекомунікації [зб. наук. пр.] / відп. ред. Б.А. Мандзій. – Л. : Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", – 2010. – № 680. – С. 132–135.

113. Тимченко О.В. Механізми забезпечення якості передачі відеотрафіку в мультисервісних мережах / О.В. Тимченко, М.І. Кирик, В.В. Червенець. // Збірник наукових праць НАНУ Інститут проблем моделювання в енергетиці “Моделювання та інформаційні технології”. – 2009. – № 54. – С. 247–251.

114. Chervenets V. QoS/QoE Correlation Modified Model for QoE Evaluation on Video Service / V. Chervenets, V. Romanchuk, H. Beshley, A.Khudyu // Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science Proceedings of the XIII th International Conference TCSET’2016 (Lviv – Slavske) 2016.– P. 664-666.

115. Romanchuk V. Research of Multimedia Streaming Transmission in Multiservice Networks / V. Romanchuk, V. Chervenets, A.Polishuk // Modern

problems of radio engineering, telecommunications and computer science Proceedings of the XI th International Conference TCSET'2012 (Lviv – Slavske, February 21–24), 2012. - P. 394

116. Червенець В. В. Модель віртуального маршрутизатора з статичною та динамічною реконфігурацією ресурсів / М. І Бешлей, В. В. Червенець, В. І. Романчук, А. В. Поліщук // X Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» ПТ-2016: збірник матеріалів конференції (19-22 квітня 2016р., м. Київ, Україна), 2016 - К.: НТТУ «КПІ»– С. 140-142

117. Романчук В. Дослідження імовірнісних властивостей трафіку корпоративної мультисервісної мережі / В. Романчук, В. Червенець. // Комп'ютерні науки та інженерія, матеріали V Міжнародної конференції молодих вчених CSE-2011 – Львів – 2011. – С. 220–221

118. Романчук В. Реалізація QoS для мультимедійного трафіку в корпоративній мережі / В.І. Романчук, В.В. Червенець. // Матеріали НМК “Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій – 2011”. – Львів – 2011. – С. 17 – 20.

119. Чернихівський Є.М. Дослідження механізмів (QoE) в телекомунікаційних мережах / Є.М. Чернихівський, В.В. Червенець, А.В. Поліщук // Матеріали НМК “Сучасні проблеми телекомунікацій – 2010”. – Львів – 2010. – С. 63 – 66.

120. Polishuk A. Research Methods to Provide Services in NGN / A.Polishuk, E. Chernykhivsky, V. Chervenets, V. Romanchuk // Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science Proceedings of the X th International Conference TCSET'2010. Lviv – 2010, p.238.

121. Тимченко О.В. Аналіз методів передачі трафіку реального часу в телекомунікаційних мережах /О.В. Тимченко, М.І. Кирик, В.В. Червенець // Матеріали НМК “Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій”. – Львів – 2009. –С. 51-53.

## Додаток А. Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

"ЗАТВЕРДЖУЮ"  
Директор  
ТзОВ "Телекомунікаційна компанія"



Пентак І.М.  
"21" квітня 2016 р.

### АКТ

про використання результатів кандидатської дисертаційної роботи  
Червенеця Володимира Володимировича на тему  
**" Підвищення якості передачі потокового трафіку в мультисервісних  
мережах "**

Даний акт складений про те, що у ТзОВ "Телекомунікаційна компанія"  
використані результати кандидатської дисертаційної роботи Червенеця В.В.  
" Підвищення якості передачі потокового трафіку в мультисервісних мережах  
"А саме:

- підтверджено, що з використанням запропонованого методу управління структурними параметрами віртуальних маршрутизаторів в умовах високого навантаження дає змогу при одних і тих самих обсягах ресурсів мережевого пристрою покращити якість обслуговування для потоків реального часу за середньою затримкою на 18,8%, а для потоків чутливих до втрат та нечутливих до затримок зменшити ймовірність втрат пакетів до 10 разів.
- запропонована технологія динамічної віртуалізації мережевого пристрою забезпечує можливість вибору мінімального обсягу мережевих ресурсів для гарантування заданого рівня якості обслуговування та дає можливість на 25-30% покращити часові параметрів якості обслуговування потокового трафіку в режимі реального часу.

Результати експериментальних досліджень, виконаних на виробничих потужностях ТзОВ "Телекомунікаційна компанія" відповідають результатам досліджень, що представлені у дисертаційній роботі, похибка не перевищує 2%.

Головний інженер

І.М.Рубаха



"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Директор

ТзОВ ВТФ "Контех"

Смольницький Є.С.

"21" квітня 2016 р.


**АКТ**

про використання результатів кандидатської дисертаційної роботи

Червенеця Володимира Володимировича на тему

**" Підвищення якості передачі потокового трафіку в мультисервісних мережах "**

Даний акт складений про те, що у ТзОВ ВТФ "Контех" використані результати кандидатської дисертаційної роботи Червенеця В.В." Підвищення якості передачі потокового трафіку в мультисервісних мережах "А саме:

- розроблено модель віртуального маршрутизатора зі статичною та динамічною реконфігурацією ресурсів, яка дає змогу створювати віртуальні пристрої з оптимальними параметрами (довжина черги, дисципліна керування переповненням черги, кількість обслуговуючих пристроїв, режим роботи обслуговуючих пристроїв) для забезпечення необхідного рівня QoS в процесі надання послуг.
- запропоновано метод управління структурними параметри віртуальних маршрутизаторів, дає змогу при одних і тих самих обсягах ресурсів мережевого пристрою, зменшити тривалість затримки пакетів послуг реального часу на 18,8%, а для потоків чутливих до втрат зменшити ймовірність втрат пакетів до 10 разів.

Результати експериментальних досліджень, виконаних на виробничих потужностях ТзОВ ВТФ "Контех" відповідають результатам досліджень, що представлені у дисертаційній роботі, похибка не перевищує 2%.

Директор



Є.С. Смольницький



**"ЗАТВЕРДЖУЮ"**Директор  
ПП "Цифрові технології"

Танчак З.В.

20 " 04 201 6 р.

**АКТ**

про використання результатів кандидатської дисертаційної роботи  
Червенеця Володимира Володимировича на тему  
**" Підвищення якості передачі потокового трафіку в мультисервісних  
мережах "**  
у навчальному процесі кафедри телекомунікацій

Даний акт складений про те, що у ПП "Цифрові технології" для підвищення якості обслуговування абонентів у процесі надання інформаційних потоків використані результати дисертаційної роботи Червенеця В.В. " Підвищення якості передачі потокового трафіку в мультисервісних мережах ", представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а саме:

- запропоновано структурно-функціональну модель мережевого пристрою з динамічною віртуалізацією, яка забезпечує можливість призначення мінімального обсягу мережевих ресурсів для гарантування заданого рівня якості обслуговування та дає можливість на 25-30% підвищити якість обслуговування потокового відео трафіку реального часу за критеріями затримки та джитеру;
- розроблено метод управління структурними параметри віртуальних маршрутизаторів, який дає змогу при одних і тих самих обсягах ресурсів мережевого пристрою, зменшити тривалість затримки пакетів послуг реального часу на 18,8%, а для потоків чутливих до втрат зменшити ймовірність втрат пакетів до 10 разів.

Внаслідок перевірки використаних моделей та методів на мережному обладнанні у ПП "Цифрові технології" встановлено, що результати знаходяться в межах п'ятивідсоткового середньоквадратичного відхилення від поданих у дисертаційній роботі.

Провідний інженер

Дрофяк А.М.



"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Проректор з науково-педагогічної роботи  
НУ "Львівська політехніка"

доц. Давидчак О.Р.

21 " 04 2016 р.

**АКТ**

про використання результатів кандидатської дисертаційної роботи  
Червенець Володимира Володимировича на тему  
**" Підвищення якості передачі потокового трафіку в мультисервісних  
мережах "**  
у навчальному процесі кафедри телекомунікацій

Даний акт складений комісією у складі:

- д.т.н., проф. Убізький С.Б., голова методичної ради Інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки;
  - к.т.н., доц. Озірковський Л.Д., декан базової вищої освіти Інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки;
  - д.т.н., проф. Климаш М.М., завідувач кафедри телекомунікацій
- про те, що в навчальному процесі кафедри телекомунікацій використано результати кандидатської дисертаційної роботи Червенець В.В. " Підвищення якості передачі потокового трафіку в мультисервісних мережах ", а саме:

- розроблена програмна модель маршрутизатора, яка має модульну структуру та можливість автоматичного розгортання віртуальних вузлів із наданням необхідних ресурсів та з проведенням контролю за характеристиками продуктивності використана в навчальному процесі, в лекційних курсах і лабораторній роботі "Дослідження роботи програмного розподіленого маршрутизатора, з дисципліни «Розподілені сервісні системи та Cloud-технології» для студентів спеціальності 8.05090301 «Інформаційні мережі зв'язку»
- запропонована структурно-функціональна модель мережевого пристрою з динамічною віртуалізацією обчислювальних ресурсів, яка дає змогу описати процес віртуалізації маршрутизаторів із взаємною оптимізацією заданого рівня параметрів якості обслуговування для визначених типів сервісу використана в навчальному процесі, в лекційних курсах і лабораторних роботах, з дисципліни «Маршрутизація та розподіл потоків у телекомунікаційних мережах» для студентів напряму 6.050903 «Телекомунікації»

Члени комісії:

Убізький С.Б.  
Озірковський Л.Д.  
Климаш М.М.

## Додаток Б. Лістинг програми роботи мережевого пристрою з віртуалізацією ресурсів

```

#include "fifoservicethread.h"
using namespace std ;

virtualRouterFIFOServiceThread::virtualRouterFIFOServiceThread (QObject *parent) :
    QThread(parent)
{
    qRegisterMetaType<MyDelaysArray>("MyDelaysArray");
    packet_processing_speed = 10;
    current_queue = packets_processed = packets_dropped = bits_processed = 0;
    packets_extracted_from_buffer = 0;
    active = false;
}

void virtualRouterFIFOServiceThread::run()
{
    output_interfaces_manager = new OutputPortManager();

    connect (output_interfaces_manager, SIGNAL (outputInterfaceStateNotification (int, bool)), out_
interfaces_GUImanager, SLOT (outputInterfaceStateNotification (int, bool)));

    connect (out_interfaces_GUImanager, SIGNAL (connectInterface (int, QString, int)), output_interf
aces_manager, SLOT (addVirtualPort (int, QString, int)));

    connect (this, SIGNAL (updatePacketProcessingSpeed (int)), gui_plots_manager, SLOT (updatePacket
ProcessingSpeed (int)));

    connect (this, SIGNAL (updatePacketProcessingDelay (MyDelaysArray)), gui_plots_manager, SLOT (up
datePacketProcessingDelay (MyDelaysArray)));

    connect (this, SIGNAL (updateCriticalPacketProcessingDelay (MyDelaysArray)), gui_plots_manager
, SLOT (updateCriticalPacketProcessingDelay (MyDelaysArray)));

    connect (this, SIGNAL (updateRouterUtilization (int)), gui_plots_manager, SLOT (updateRouterUtil
ization (int)));

    connect (this, SIGNAL (updateBuffersPlots (MyDelaysArray)), gui_buffers_manager, SLOT (updateBuf
ferPlot (MyDelaysArray)));

    initializeArraysAndTimers();
    int delay = 0;
    while (active)
    {
        //qDebug() << "FIFO Thread started!";
        /* for(int i=0; i<7; i++)
        {
            if(boost_Ibuffer->queues_length[i]<0)
                boost_Ibuffer->queues_length[i] = 0;
        }*/
        while (boost_Ibuffer->get (TOS_CRITICAL)>0)
        {
            IP_Packet ip;
            if(boost_Ibuffer->pullPacket (TOS_CRITICAL, ip))
            {
                delay = 0;
                //aggregated_delay_on_interval.append(delay);
                packets_extracted_from_buffer++;
                ip.header_crc=0xABCD;
                ip.ver_ihl=70;
                ip.options+=delay;
                qDebug() << "Forwarding packet!";
                if(output_interfaces_manager->forwardIPPacket (ip))
                    packets_processed++;
                else
                    packets_dropped++;
                qDebug() << "=====DONE!";
                //qDebug() << "FIFO-elapsed: " << ip.timer->nsecsElapsed();
            }
        }
    }
}

```

```

        //delete ip.timer;
        ip.freeMemory();
        qDebug() << "MEMPRY FREED!";
    }
    if(boost_Ibuffer->get(TOS_VOIP)>BUFFER_VOIP_SIZE){current_queue=0;
break;}
        if(boost_Ibuffer-
>get(TOS_VIDEOCONF)>BUFFER_VIDEOCONF_SIZE){current_queue=1; break;}
        if(boost_Ibuffer->get(TOS_IPTV)>BUFFER_IPTV_SIZE){current_queue=2;
break;}
        if(boost_Ibuffer->get(TOS_HTTP)>BUFFER_HTTP_SIZE){current_queue=3;
break;}
        if(boost_Ibuffer-
>get(TOS_INTERACTIVE)>BUFFER_INTERACTIVE_SIZE){current_queue=4; break;}
        if(boost_Ibuffer->get(TOS_VOD)>BUFFER_VOD_SIZE){current_queue=5; break;}
        if(boost_Ibuffer->get(TOS_CLOUD)>BUFFER_CLOUD_SIZE){current_queue=6;
break;}
    }
    qDebug() << "Strting to read packet!";
    IP_Packet ip;
    qDebug() << "Finished to read packet!";
    if(boost_Ibuffer->pullPacket(current_queue,ip))
    {
        qDebug() << "Analyzing packet!";
        //delay = (int)ip.timer->nsecsElapsed()/1000;
        //delay = (int)ip.timer->nsecsElapsed()/1000;
        delay = 0;
        //aggregated_delay_on_interval.append(delay);
        packets_extracted_from_buffer++;
        ip.header_crc=0xABCD;
        ip.ver_ihl=70;
        ip.options+=delay;
        qDebug() << "Forwarding packet!";
        if(output_interfaces_manager->forwardIPPacket(ip))
            packets_processed++;
        else
            packets_dropped++;
        qDebug() << "=====DONE!";
        //qDebug() << "FIFO-elapsed: " << ip.timer->nsecsElapsed();
        //delete ip.timer;
        ip.freeMemory();
        qDebug() << "MEMPRY FREED!";
        //qDebug() << "=====Delay: " << delay;
        // qDebug() << "TOS: " << ip.ToS;
        //if(PROCESSING_DELAY!=0)
        //msleep(PROCESSING_DELAY);
        //usleep(1);
        //qDebug() << "packet passed: " << tim.nsecsElapsed();
        //for(int i=0; i<10000; i++)
        //{}*/
        //msleep(1000);
        for(double i=0; i<processing_delay; i++)
            for(double j=0; j<1; j++){
    }

    //else
    //if(PROCESSING_DELAY!=0)
    //msleep(PROCESSING_DELAY);
    //msleep(0);
    //qDebug() << "Impossible to add to buffer: " << boost_Ibuffer-
>queues_length[current_queue];
    checkTimer();
    //qDebug() << "FIFO Thread started!" << current_queue;
    current_queue++;
    if (current_queue>6) current_queue=0;
    //qDebug() << " passed: " << tim.nsecsElapsed();

    }

    //===== connecting output socket=====
}
void virtualRouterFIFOServiceThread::interfaceDown()

```

```

{
    active = false;
}

void virtualRouterFIFOServiceThread::updateMonitoringInterface()
{
    /* emit updatePacketProcessingDelay(aggregated_delay_on_interval);
    emit updateRouterUtilization(packets_processed_per_second_array);
    for(int i=0; i<7; i++)
        emit updateBuffersPlots(i,buffers_lenght_array[i]);
    emit updateBuffersPlots(7,buffers_lenght_array[7]);
    */
}

void virtualRouterFIFOServiceThread::checkTimer()
{
    if(et_update_gui.hasExpired(1000))
    {
        QCoreApplication::processEvents();
        //=====ACTIVE MONITORING =====
        /* emit updatePacketProcessingSpeed(packets_processed);
        packets_processed = 0;
        emit updatePacketProcessingDelay(aggregated_delay_on_interval);
        aggregated_delay_on_interval.clear();
        MyDelaysArray buffers_lenght;
        for(int i=0; i<7; i++)
            buffers_lenght.append(boost_Ibuffer->queues_length[i]);
        buffers_lenght.append(boost_Ibuffer->special_queue_length);
        emit updateGUIBuffer(buffers_lenght); */

        //=====PASSIVE MONITORING =====
        //packets_processed_per_second_array.append(packets_extracted_from_buffer);
        //packets_extracted_from_buffer = 0;

        buffers_lenght_array.clear();
        for(int i=0; i<8; i++)
        {
            buffers_lenght_array.append(boost_Ibuffer->get(i));
        }
        //=====

        emit updatePacketProcessingDelay(aggregated_delay_on_interval);
        aggregated_delay_on_interval.clear();
        emit updateCriticalPacketProcessingDelay(critical_packets_delay);
        critical_packets_delay.clear();
        if(packets_extracted_from_buffer!=0)
        {
            emit updateRouterUtilization(packets_extracted_from_buffer);
            packets_extracted_from_buffer = 0;
        }
        emit updateBuffersPlots(buffers_lenght_array);

        et_update_gui.restart();
    }
}

void virtualRouterFIFOServiceThread::initializeArraysAndTimers()
{
    et_update_gui.start();
    aggregated_delay_on_interval.clear();
    critical_packets_delay.clear();
    packets_processed_per_second_array.clear();
    buffers_lenght_array.clear();
}

```