

## РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПРОГРАМНО-КЕРОВАНОГО МАРШРУТИЗАТОРА З АДАПТИВНИМ ВИБОРОМ АЛГОРИТМІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЧЕРГ

Романчук В. І., Климаш М. М., Бешлей М. І., Панченко О. М., Поліщук А. В.

*Об'єктом дослідження є процеси управління ресурсами черг у мережевих пристроях телекомунікаційних мереж.*

*Одним з найбільш проблемних місць є неефективне управління чергами в мережевих пристроях, що призводить до погіршення якості обслуговування. В їх основі покладені переважно децентралізовані алгоритми управління ресурсами, що реалізуються на окремих вузлах мережі. Другим важливим недоліком є реалізація статичної ручної стратегії розподілу каналних ресурсів, процес управління яких не завжди адекватний профілю вхідного трафіку. Крім того, в процесі управління не координуються рішення, отримані на окремих мережевих вузлах в конкретні моменти часу.*

*Для усунення зазначених недоліків пропонується використати удосконалений метод обслуговування черг у мережевих пристроях, одне з ключових відмінностей пропонованого підходу полягає в тому, що ведеться контроль за часом перебування в чергах пакетів. І в умовах перевищення допустимого часу очікування пакет передається на чергу із нижчим пріоритетом та першочерговим обслуговуванням. Це дає можливість підвищити ефективність розподілу мережевих ресурсів за критерієм якості обслуговування.*

*Для реалізації даного підходу розроблено модель програмно-керованого маршрутизатора, яка на відміну від відомих, має модульну структуру та дає змогу в режимі реального часу відтворювати роботу телекомунікаційної мережі будь-якої конфігурації. Прототип маршрутизатора передбачається використати для адаптивного обслуговування навантаження магістрального рівня. У порівнянні з аналогічними системами, створеними на основі обладнання CISCO, заявлена модель забезпечує конкурентні переваги за гарантованою якістю обслуговування визначених потоків реального часу з одночасним зменшенням вартості та складності їх налаштування. За умов достатньої продуктивності апаратного забезпечення прототипу маршрутизатора, заявлена модель реалізується розробленим програмним забезпеченням. Це забезпечує вигоди за оперативністю доставки відповідних потоків реального часу, а саме зниження затримок при їх опрацюванні сягає 40 %, зниження джитеру – 35 %.*

**Ключові слова:** *мультисервісна мережа, якість обслуговування, розподіл ресурсів, модель програмно-керованого маршрутизатора.*

### 1. Вступ

Сучасні телекомунікаційні мережі (ТКМ) орієнтовані на надання абонентам широкого спектру послуг, кожна з яких при передаванні характеризується різнотипними вимогами щодо мережевих ресурсів. Невпинне зростання потоків інформації приводить до модернізації телекомунікаційних мереж як в частині обладнання вузлів мережі, так і щодо постійного розширення пропускних здатностей каналів передавання для зростаючого обсягу потокового трафіку та забезпечення якості його передавання. Збільшення обсягів трафіку реального часу (голос, відео)

створює ряд проблем та вимагає застосування нових методів ресурсної оптимізації, протоколів управління і, відповідно, заміни обладнання.

Саме тому вивчення структури й особливостей трафіку в одному з її локальних сегментів може стати основою для розроблення підходів і збіжності алгоритмів автоматизації, алгоритмів безпеки й ефективного функціонування новітніх прототипів програмованих мультисервісних мереж з високим рівнем доступу. Такі механізми повинні базуватись на удосконалених методах розподілу ресурсів, що мають високу масштабованість, швидкодію, гнучкість, захищеність, низьку операційну складність та ресурсоємність. Одним із методів забезпечення якості обслуговування різних видів трафіку є використання системи обслуговування з пріоритетами. При цьому система обслуговування на основі фіксованих пріоритетів має істотний недолік. Дана система не в змозі забезпечити необхідний рівень QoS низькопріоритетним потокам.

Тому актуальним є дослідження забезпеченні якості надання послуг реального часу шляхом підвищення ефективності пріоритезації класів обслуговування в процесі управління чергами. А також розробки нових методів, алгоритмів і моделей управління інформаційними потоками у програмно-керованих вузлах мультисервісної телекомунікаційної мережі.

## **2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит**

*Об'єктом дослідження* є процеси управління ресурсами черг у мережевих пристроях телекомунікаційних мереж.

При виборі транспортної телекомунікаційної технології і конкретних мережевих протоколів, зокрема, на яких ґрунтується NGN, важливим є врахування їх можливостей щодо підтримки та забезпечення якості обслуговування (Quality of Service, QoS). З огляду на особливу затребуваність наскрізного (end-to-end) QoS на перше місце в архітектурі управління трафіком виходять рішення саме мережевого рівня еталонної моделі взаємодії відкритих систем. Серед процесів мережевого рівня важливу роль відіграють завдання управління чергами, тому що саме неефективне управління чергами в мережевих пристроях призводить до неконтрольованого зростання затримок і рівня втрат пакетів. Як показав проведений аналіз, в сучасному мережевому обладнанні реалізовано безліч механізмів керування чергами як з точки зору їх формування та обслуговування (FIFO, PQ, CQ, WFQ, CB WFQ), так і запобігання перевантаженню (RED, WRED, ECN, SPD). Їх основною особливістю і ключовим недоліком є переважання ручних налаштувань в ході конфігурації обладнання. Це не дає змогу оперативно реагувати на зміну стану завантаженості маршрутизатора та мережі в цілому, а також на варіацію характеристик трафіку.

## **3. Мета та задачі дослідження**

*Метою роботи* є розроблення функціональної моделі програмно-керованого маршрутизатора для адаптивного вибору алгоритму обслуговування черг під час виникнення флуктуацій користувацького навантаження.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Розробити програмно-апаратну платформу мультисервісної корпоративної мережі з адаптивним конфігуруванням ресурсів.
2. Дослідити ефективність запропонованих рішень та розробити рекомендації щодо практичного використання отриманих в роботі результатів в сучасних і перспективних телекомунікаційних мережах.

#### 4. Дослідження існуючих рішень проблеми

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 [1]. Підвищення якості обслуговування інформаційних потоків також частково досягають шляхом вдосконалення апаратної складової – використанням буферної сортувальної пам'яті чи сортувальних мереж [2]. Програмний шлях покращення показників QoS полягає в використанні комбінацій базових дисциплін обслуговування черг на мережевому рівні [3] та поліпшенні алгоритму керування інформаційними потоками на базі WRR (Weighted Round Robin – зважений механізм кругового обслуговування) у вузлах телекомунікаційних мереж. У той самий час, інтенсивність трафіку реального часу може бути високою, що призведе до переповнення черги для високопріоритетних пакетів, що призведе до їх відкидання. При цьому значна частина пам'яті вхідного буферу може залишатися практично не задіяною. Як результат – неефективне використання ресурсу маршрутизатора та низька якість обслуговування [4].

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. Це може бути неприйнятним при обробленні потоків реального часу [5].

В роботі [6] 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 [7] 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 дослідженні [8] запропоновано механізм пріоритетизації трафіка і подальшої його обробки в вузлах мережі. Критерієм оптимізації є зменшення затримки пакета в буфері пристрою.

Деякі автори пропонують вирішити другу проблему за допомогою динамічної зміни розміру черг індивідуально для кожного класу трафіку. Такий метод може допомогти, але має серйозний недолік, який полягає в механізмі розподілу пам'яті [9]. Перерозподіл пам'яті черг може виявитися довготривалим з урахуванням кількості черг та динамічності інтенсивності навантаження. Більше того, у процесі перерозподілу пам'яті, інші процеси, наприклад, пакетів, будуть змушені зачекати до поки не завершиться процес перерозподілу пам'яті [10].

Таким чином, результати аналізу дозволяють зробити висновок про те, що для одночасного забезпечення різних вимог до параметрів QoS мультисервісних послуг в системі зв'язку необхідно впроваджувати нові алгоритми керування трафіком. Ці

алгоритми, в свою чергу, повинні враховувати особливості різних видів послуг і забезпечувати ефективне використання ресурсів мережі. Потрібні гнучкі рішення в мережних пристроях, які ґрунтуються на оцінюванні і прогнозуванні стану ресурсів, обсягі навантаження та полягають у правильному їх балансуванні.

## 5. Методи досліджень

На даний момент існує велика кількість засобів для моделювання мережних процесів, які дозволяють тестувати запропоновані алгоритми та оцінювати ефективність конкретного рішення. Проте серйозним недоліком більшості з таких засобів є те, що вони використовують статистичні методи та аналітичні залежності для розрахунку стану системи в певний момент часу. Таким чином, година роботи реальної мережі може моделюватися протягом десятків секунд, що не є ефективним, коли моделювання виконується у реальному часі, наприклад, моделювання алгоритмів роботи з пам'яттю мережевого пристрою, формування та обслуговування черг пакетів у маршрутизаторі.

Саме тому у роботі розроблено модель програмно-керованого маршрутизатора, яка працює в режимі автоматичного вибору алгоритмів обслуговування черг для забезпечення гарантованої якості.

Найтипівішим елементом в структурі є потік пакетів. Тож, найпершим виділено об'єкт «Потік». Він являє з себе *багатовимірний масив*, де в стовпці перше значення є деяким *унікальним ключем* (відлік часу для пакетів). А інші значення – *набір параметрів, що характеризують конкретний елемент* (тип пакету, пріоритет, адреса одержувача, необхідна мінімальна та бажана пропускна спроможність, допустимі вимоги до QoS та ін.). Також в цьому об'єкті реалізовано ще ряд методів: визначення параметра Херста, визначення пачечності потоку, визначення його статистичних характеристик та ін.

Для кожного випадку потік потрібно задавати згідно своїх правил, наприклад, для мультисервісних послуг – послідовність пакетів, розподілений за певним законом, що описуються реальними властивостями та їх пріоритет за певний проміжок часу. Тому необхідно створити об'єкт – «Генератор початкового потоку». Він повинен зчитувати необхідний потік із заданого джерела, або сам його генерувати за наданими принципами.

Так само у всіх структурах є «Робочий елемент». Це власне програмно-керований мережевий пристрій (маршрутизатор, комутатор), який обробляє пакети згідно принципів апаратної архітектури та включає у себе елементи, що вносять у систему поняття обмеженості ресурсів: смуга пропускної спроможності каналу в IP мережі. Цей об'єкт дуже специфічний для кожної задачі. Але його можна описати в глобальному масштабі через такі параметри:

- *робочий ресурс* (потужність процесора фізичної (віртуалізованої машини), максимально можлива пропускна спроможність);
- *стан* (усталені робочі параметри);
- *зміна стану* (нове завдання, поломка);
- *ступінь завантаження* (процесора, буферного ресурсу, каналу зв'язку та ін.).

Так як завжди є група «робочих елементів», що працюють спільно, то необхідно створити інтегруючий об'єкт – «Система», яка завжди буде описувати роботу елементів у сукупності. Його параметрами будуть: *масив «робочих елементів», стан системи, зміна стану системи, загальносистемні та середні показники завантаження*. Останній основний об'єкт – «Розподільник» – об'єкт, який здійснює

через «потоки» взаємодію між об'єктами «генератор початкового потоку» та «система», вирішуючи при цьому поставлену задачу розподілу потоків. Його параметрами є цілий ряд об'єктів, що вирішують різні типові задачі. Перелічимо їх нижче. Найважливішим об'єктом-параметром є об'єкт «Керування», який вирішує задачу розподілу вхідного (вихідного) потоку пакетів в «Розподільник» між вихідними (вхідними) потоками. Для оцінки адекватності запропонованих наукових рішень виділяється черговий об'єкт-параметр «Оптимізація».

В даному випадку програмно-керований маршрутизатор з перспективою на майбутнє має можливість накопичувати інформацію минулих рішень, початкових даних й уточнювати прийняті рішення, виходячи з цього обсягу інформації. За дану функцію відповідає об'єкт-параметр – «Пам'ять». Можливості застосування прогностичного контролю диктують появу об'єкта-параметра «Прогноз». Всі ці об'єкти описують загальні принципи взаємодії моделі з задачами прогнозу, оптимізації та ін. А реальні методи прогнозу, оптимізації та ін. задаються в успадкованих об'єктах, що дозволяє легко змінювати вживаний метод, не змінюючи структуру всієї моделі.

Дана програмна модель мережевого пристрою була реалізована програмними засобами динамічної об'єктно-орієнтованої мови програмування C++. Загальний вигляд програмної моделі представлений нижче за допомогою UML-діаграми – рис. 1.

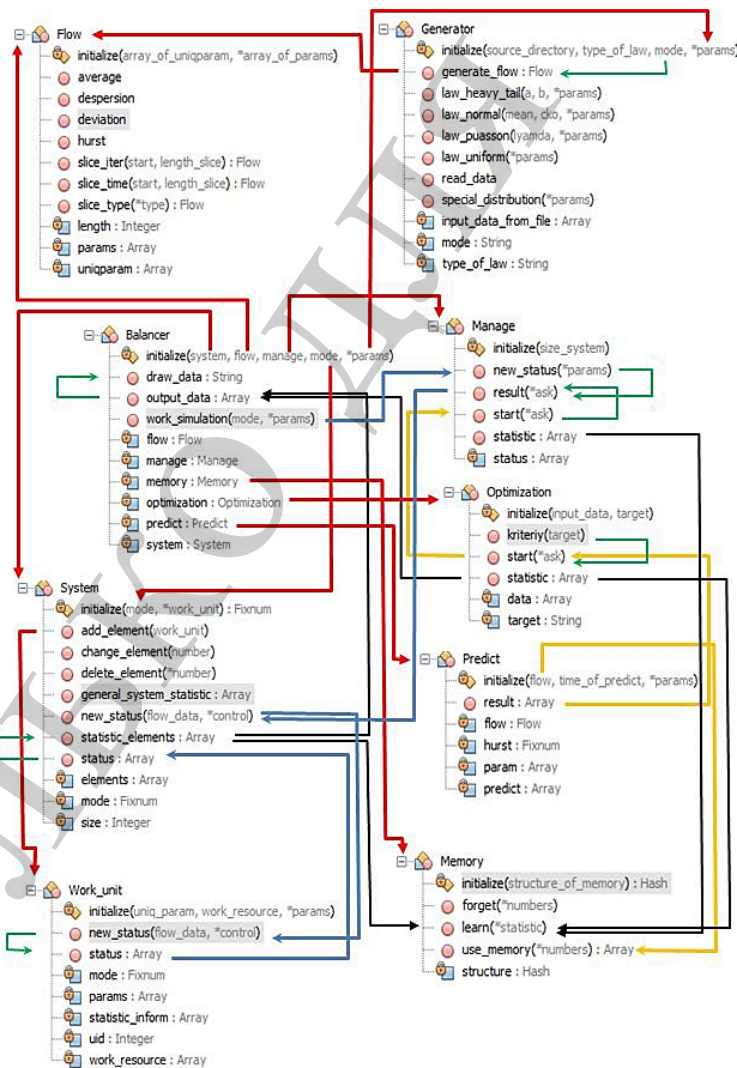


Рис. 1. UML-діаграма програмної моделі віртуальної тестової платформи мережі нового покоління

Слід відзначити, що кольори стрілок не несуть додаткової інформації, а лише полегшують сприйняття. Для оцінки ефективності запропонованих рішень у роботі створено віртуальну тестову платформу з використанням інструменту QtCreator (версія 5.2). Перевагою цього інструменту є те, що створені на її основі програми можуть бути скомпільовані для роботи на будь-якій операційній системі, наприклад, Windows, Linux або Mac.

Основою для розробки віртуалізованих мережевих компонентів є мережеві API, які надаються програмістам у формі сокетів. Сокет – це об'єкт, який поєднує IP-адресу кінцевого пристрою та TCP порт програмного процесу на операційній системі кінцевого пристрою. Дані передаються між сокетами у потоковому режимі по мірі їх надходження на передавач. У розробленій платформі сокет відповідає фізичному порту справжнього мережевого вузла. Таким чином, забезпечується абстракція від каналного рівня і вся увага зосереджується на обробці даних на рівні мережевому рівня. Щоб повністю абстрагуватися від каналного рівня, створено віртуальний IP-пакет, з яким можуть працювати вузли тестової платформи. Мережевий стек, задіяний у розробленій тестовій платформі відображено на рис. 2.



**Рис. 2.** Мережевий стек розробленої тестової платформи мережі нового покоління

На основі розробленої тестової платформи розроблено програмну модель IP-маршрутизатора (далі VNR-віртуалізований мережевий маршрутизатор) та генератор мережевого трафіку.

Центральним елементом в архітектурі VNR є буфер без блокування, реалізований на основі бібліотеки Boost версії 1.53. Для кожного класу трафіку у буфері створюється окрема черга з заданою довжиною. Пакети потрапляють в буфер через сокети. Сокет відповідає порту фізичного маршрутизатора. Кожен сокет

обробляється в окремому потоці, який читає інформацію по мірі її надходження і створює віртуальний IP-пакет (рис. 3).

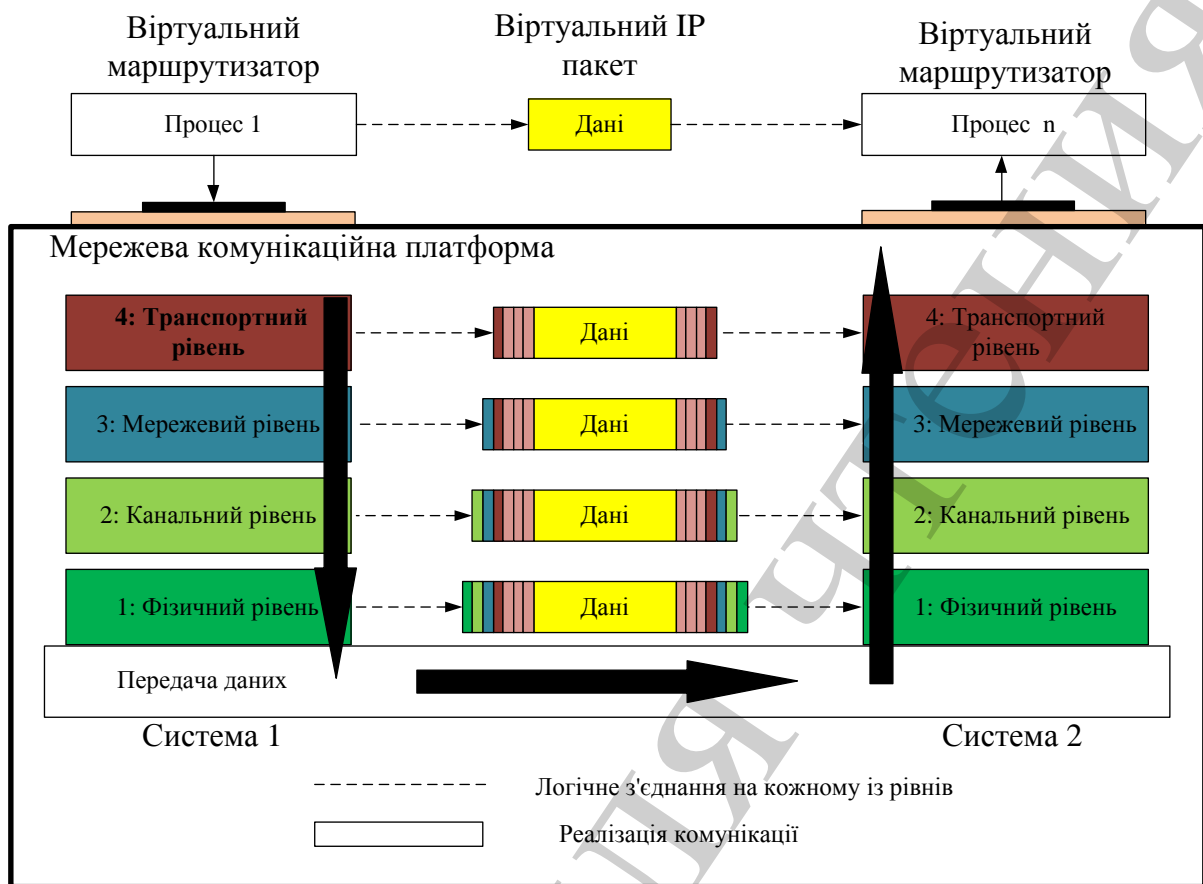
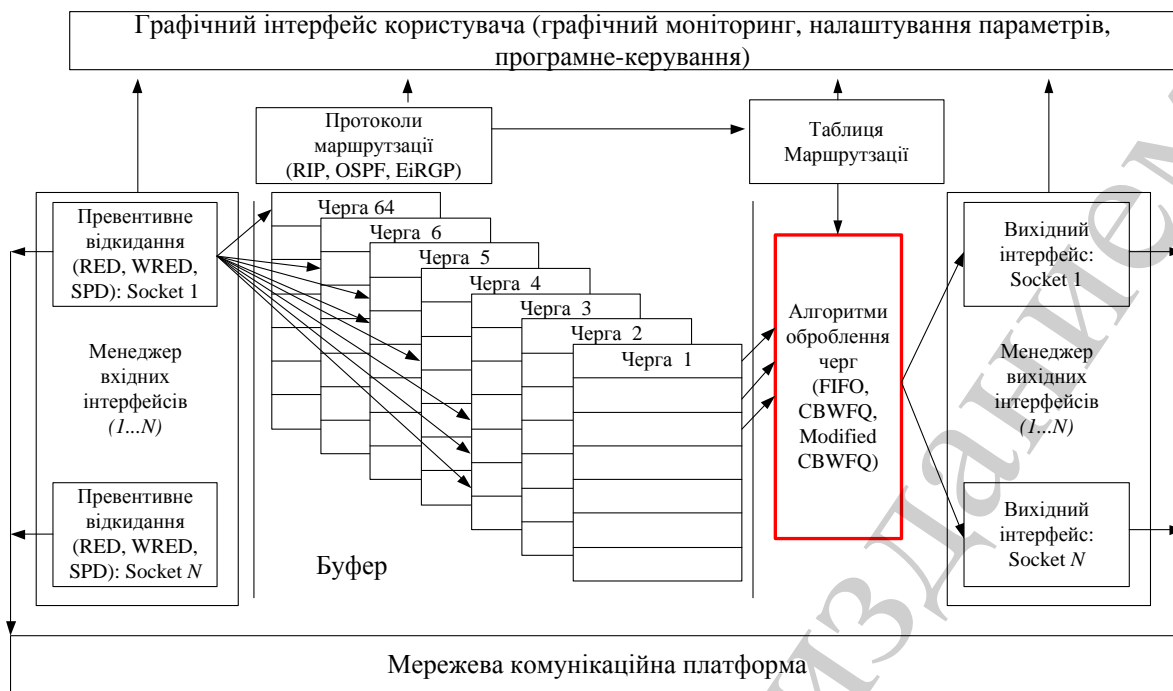


Рис. 3. Організація процесу передавання віртуального IP-пакету

Коли пакет сформовано, потік перерахує контрольну суму CRC і записує пакет у чергу буфера відповідно щодо класу трафіку, після чого потік готується до отримання нового пакету. Завдяки такому механізму можна моделювати будь-який тип пакету чи протоколу.

Архітектура розробленого VNR представлена на рис. 4 і складається з об'єктів, що моделюють конкретні функції маршрутизатора. Такі процеси, як прийом та передавання пакетів моделюються в паралельних потоках [11]. Для зчитування пакетів з буфера використовується окремий потік, який моделює функції маршрутизації. Такий потік може реалізувати будь-який заданий алгоритм обробки черги. Потік зчитує пакет з черги, аналізує його IP-адресу та здійснює її пошук у таблиці маршрутизації. Якщо запис у таблиці маршрутизації знайдено, потік збільшує значення поля TTL на одиницю. Після чого змінює значення поля ToS, а саме до значення затримки, записаного в цьому полі, додає затримку набуту пакетом у процесі його обробки на поточному маршрутизаторі. Після цього пакет надсилається до пункту призначення через відповідний вихідний порт.



**Рис. 4.** Архітектура віртуального мережного маршрутизатора (VNR)

Вихідні порти перебувають під керуванням окремого потоку, який реалізує функції менеджера вихідних портів. Для автоматизованого режиму роботи користувач має змогу налаштовувати параметри моделі в режимі реального часу за допомогою графічного інтерфейсу. Що дає змогу динамічно змінювати швидкість обробки пакетів, правила маршрутизації, параметри портів та встановлювати маршрути через декілька послідовно з'єднаних мережних пристроїв. Основне вікно для налаштування параметрів VNR відображено на рис. 5. Для проведення експериментів у роботі створено універсальний генератор трафіку, в основі якого використана розроблена тестова платформа. Використовуючи сокети, генератор підключається до комутатора та створює віртуальні IP-пакети з заданого розміру та пересилає їх на віртуальний маршрутизатор. Генератор дає змогу вибрати профіль трафіку в залежності від експерименту. Перший тип генерації – це генерація на основі випадкових послідовностей. Для цього бібліотека Boost містить ряд генераторів випадкових чисел, які працюють на основі законів розподілу Ерланга, Паретто, та можливість генерувати значення, розподіленні за броунівським рухом. Для аналізу мережного трафіку використано інструмент під назвою TCPUMP. У результаті збору цією утилітою отримано дані про потоки та пакети, що надходили на вибрані порти транспортної мережі Національного університету «Львівська політехніка» (Україна) [13, 14] (рис. 6).



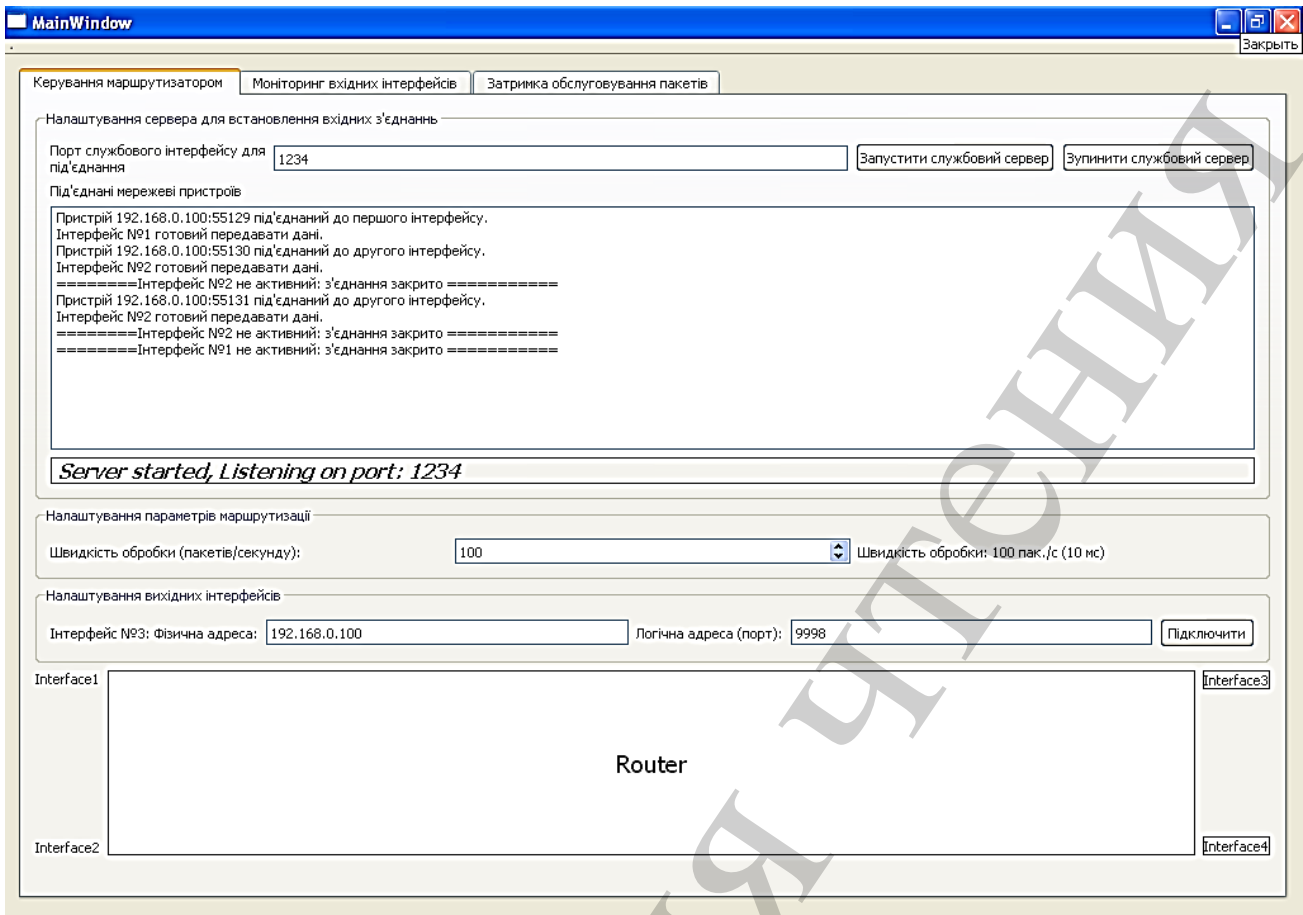
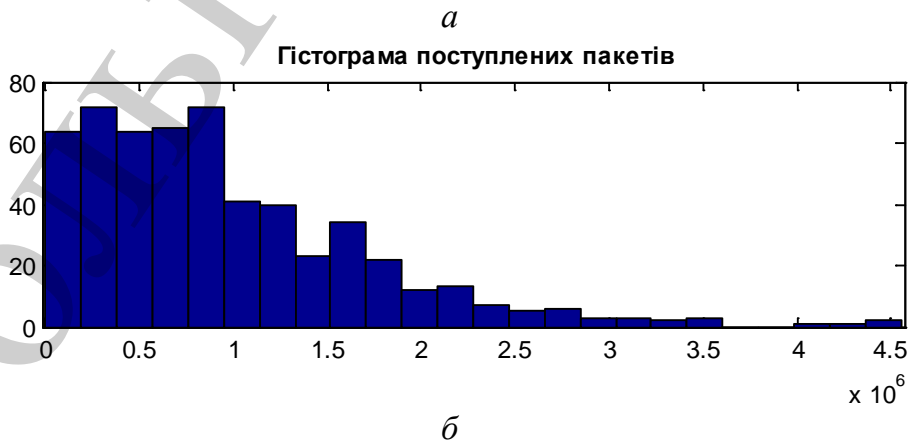
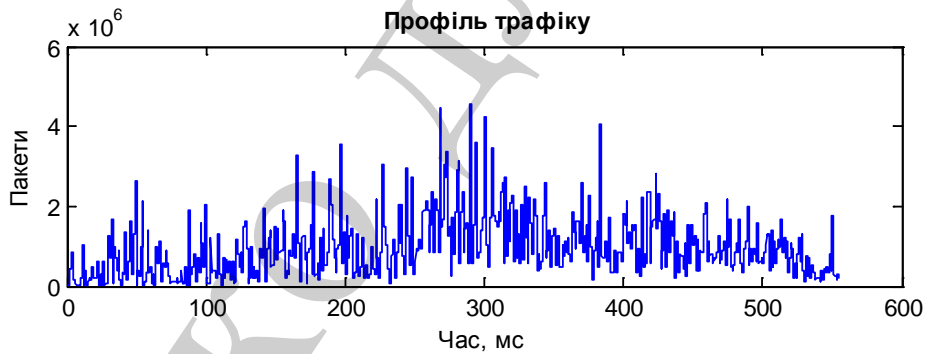
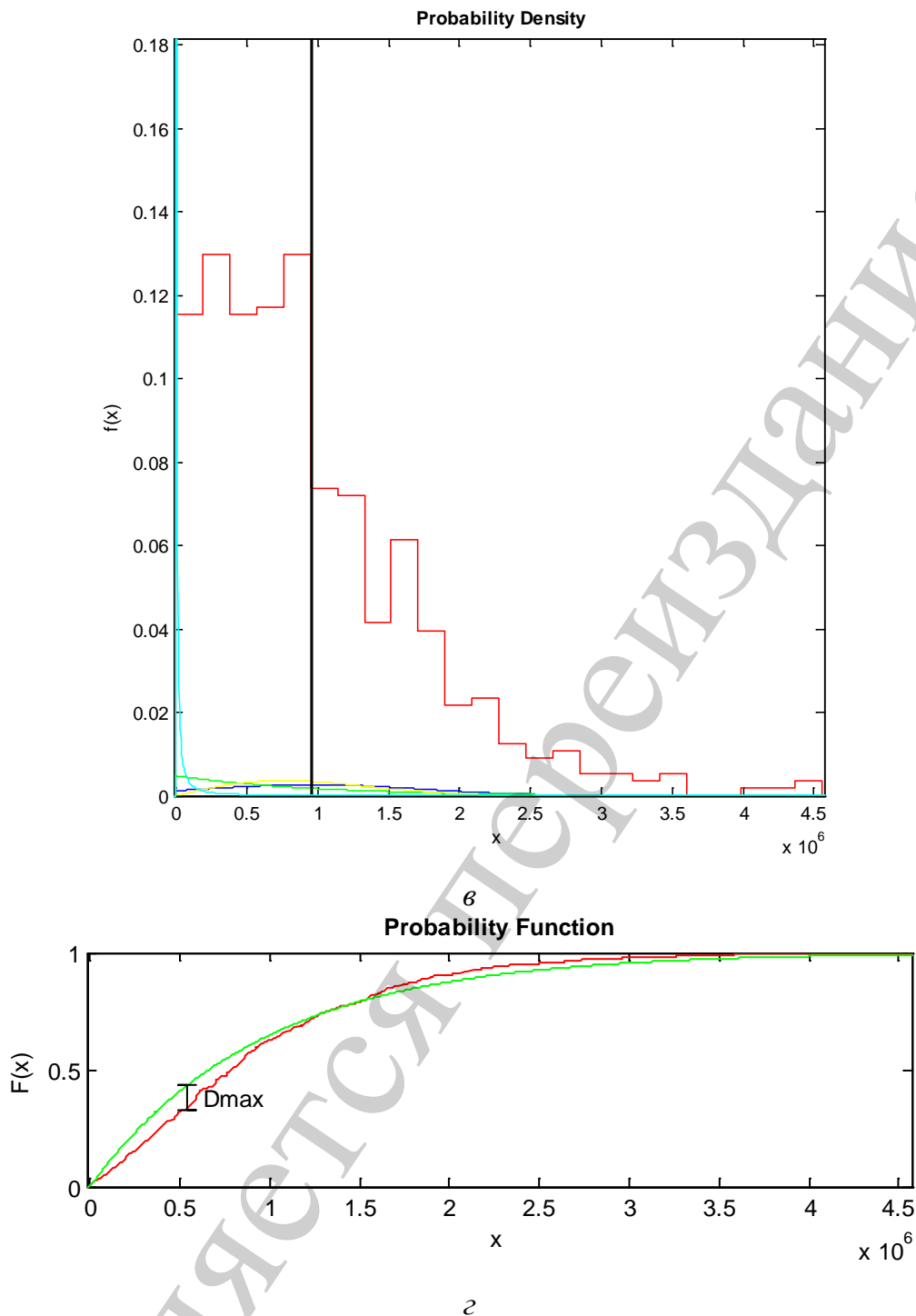


Рис. 5. Основне вікно для налаштування параметрів VNR





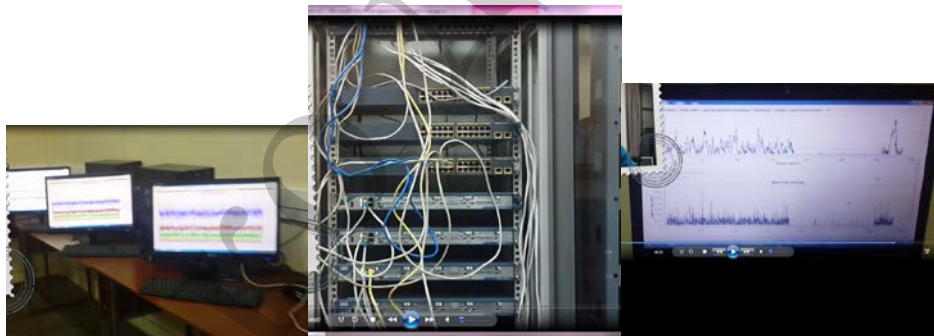
**Рис. 6.** Імовірно-статистичний аналіз вихідного трафіку корпоративної інфокомунікаційної мережі: *a* – профіль вхідного трафіку; *б* – гісторгама поступлених пакетів; *в* – густина розподілу трафіку; *г* – функція розподілу трафіку

Збір трафіку проводився протягом чотирьох годин і п'яти хвилин. В результаті аналізу отриманих результатів, виявлено, що у транспортній мережі передається в основному шість класів трафіку, які відповідають специфікації MCE-T. Велика частина трафіку – це потоки реального часу VoIP та IPTV.

## 6. Результати дослідження

У роботі [12] розроблено модифікований метод управління чергами M-CBWFQ (Modified – Class-Based Distributed Weighted Fair Queuing) в мультисервісних вузлах

функціонально-орієнтованої корпоративної мережі. Одна з ключових відмінностей пропонуваного рішення полягає в тому, що ведеться контроль за часом перебування в чергах пакетів і, в умовах перевищення допустимого часу очікування, пакет передається на чергу із нижчим пріоритетом та першочерговим обслуговування. Використання даного методу в мережевих пристроях дає змогу підвищити ефективність розподілу мережевих ресурсів за критерієм якості обслуговування. Для перевірки ефективності запропонованого алгоритму M-CBWFQ налаштовано тестову платформу відповідно до схеми на рис. 7, а. Побудована тестова платформа складається з чотирьох маршрутизаторів, які з'єднані між собою, і з двох генераторів трафіку. Кожен маршрутизатор і генератор встановлюється на окрему фізичну машину, параметри якої є такими: модель процесора Intel E2200, обсяг оперативної пам'яті 3 Гб. Всі фізичні машини з'єднані за допомогою однієї локальної мережі, максимальна швидкість каналів якої становить 100 Мбіт/с. Кожен маршрутизатор налаштований таким чином, що обробляти в середньому 100 пакетів в секунду зі всіх вхідних інтерфейсів. Це означає, що для обробки одного пакету потрібно близько 10 мс. Така продуктивність вибрана з метою візуального відображення процесу обслуговування пакетів у реальному часі. Відповідно до цього були налаштовані генератори трафіку. Для оцінки ефективності алгоритму M-CBWFQ створено маршрут, який проходить через усі створені маршрутизатори. Цей маршрут починається з генератора (VNG1) і проходить через усі VNR. Останній VNR відправляє усі пакети знову до VNG1. VNG має порт, що дозволяє отримувати пакети. Таким чином, VNG може відмітити пакет і, отримавши його назад, обчислити загальну затримку (RTT – час обходу петлі) пакету вздовж маршруту. Профіль трафіку, отриманий внаслідок моніторингу реальної транспортної мережі, представлений на рис. 7, б. VNG1 призначений для генерування мультисервісного трафіку рис. 7, в.



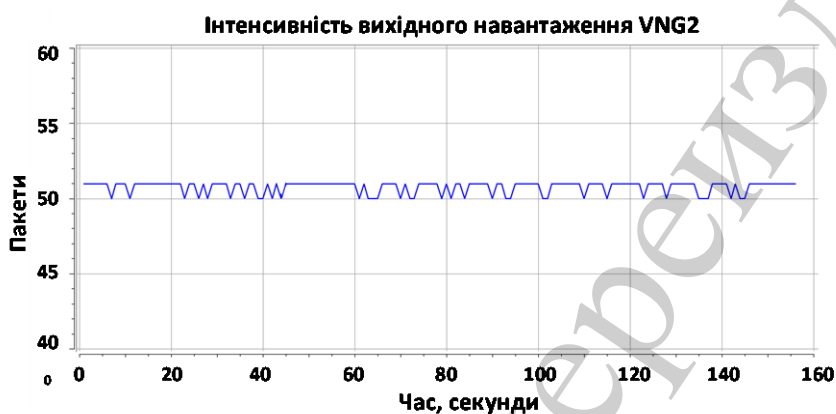
а



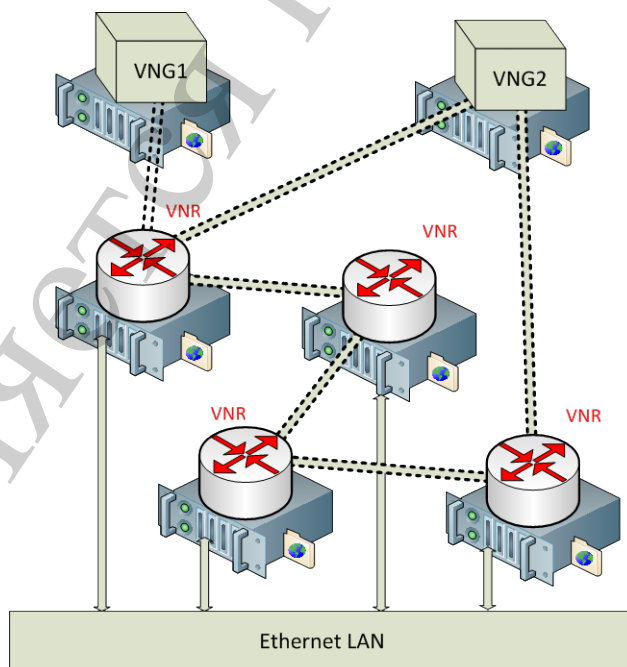
б



б



в



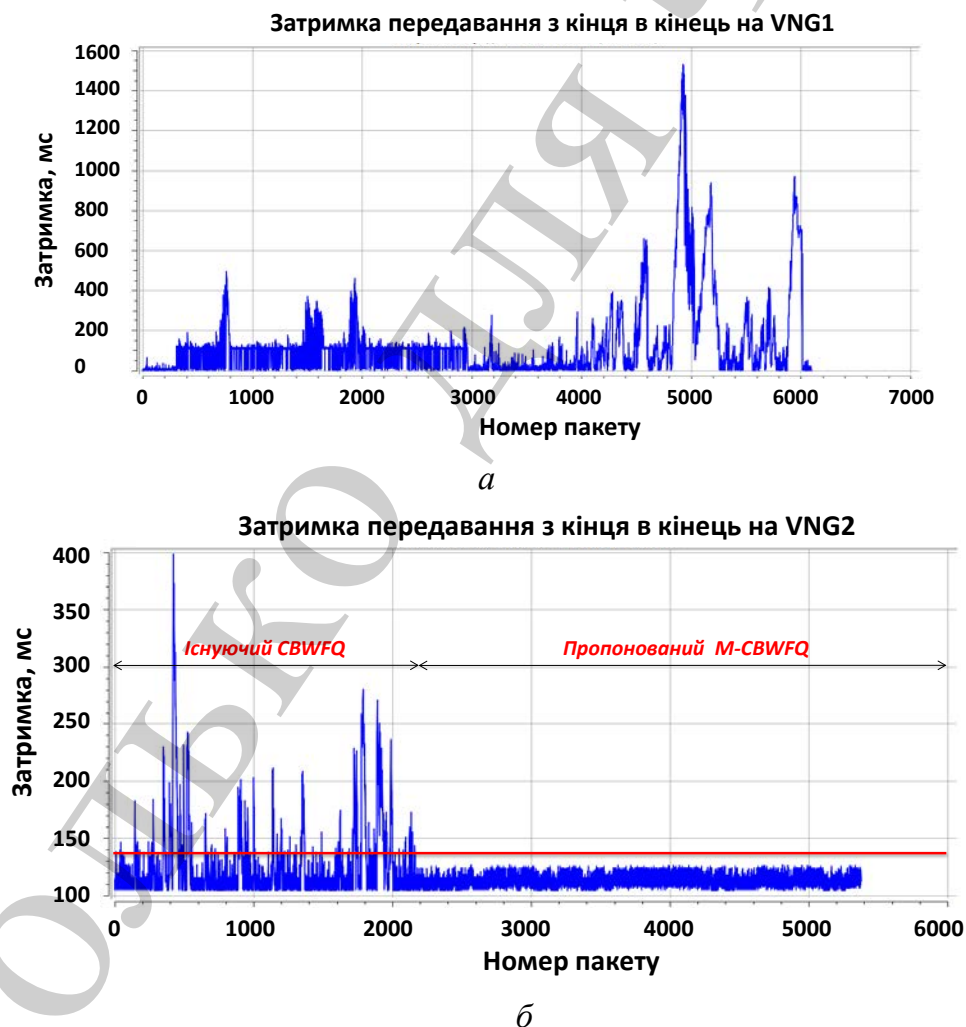
г

**Рис. 7.** Програмно-апаратний комплекс мультисервісної функціонально-орієнтованої корпоративної мережі: *а* – тестова платформа мережі; *б* – профіль вхідного трафіку; *в* – інтенсивність вихідного навантаження на VNG1; *г* – інтенсивність вихідного навантаження на VNG2; *д* – схема налаштування тестової платформи для перевірки ефективності запропонованого алгоритму M-CBWFQ

Другий генератор (VNG2) налаштовано на генерацію одного потоку IPTV з міжпакетним інтервалом, що дорівнює 20 мс (рис. 7, в). Розмір кожного пакету в цьому потоці – 1400 байт. Параметри для генерації цього потоку взято на основі усереднення параметрів IPTV потоків, отриманих внаслідок моніторингу локальної мережі за допомогою WireShark. Другий генератор налаштований таким чином, щоб цілеспрямовано вносити випадкову затримку в усі пакети IPTV потоку, що дає змогу наочно оцінити ефект роботи алгоритму M-CBWFQ. Варто зазначити, що кожен віртуальний маршрутизатор дає змогу динамічно включати та виключати алгоритм M-CBWFQ прямо у процесі обслуговування трафіку. Моделювання проводилося протягом 200 с. Схема налаштування тестової платформи для перевірки ефективності запропонованого алгоритму M-CBWFQ показано на рис. 7, д.

На рис. 8, а відображено тривалість обходу петлі кожним пакетом, що повернувся на перший генератор, а на рис. 8, б – тривалість обходу петлі кожним пакетом згенерованого IPTV потоку на другому генераторі.

Експеримент складався з двох етапів. На першому етапі використовувався алгоритм CBWFQ на всіх VNR. Другий етап розпочався на 2000 номері пакету після використання першого етапу, у якому M-CBWFQ автоматично включився.



**Рис. 8.** Порівняння часових показників якості обслуговування існуючого та пропонованого методу управління чергами: а – тривалість обходу петлі пакетами агрегованого потоку на першому генераторі VNG1; б – тривалість обходу петлі пакетами пакетами IPTV потоку на другому генераторі VNG2

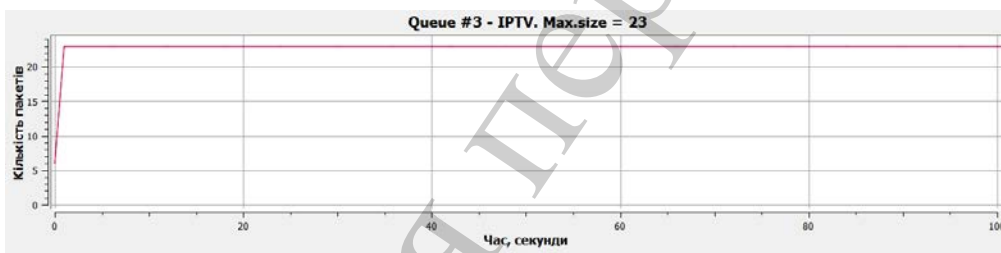
На першому етапі експерименту середнє значення тривалості обходу петлі для пакетів агрегованого трафіку складається як із затримки пакетів IPTV потоку, так і з затримки пакетів агрегованого потоку. З отриманих графіків тривалості обходу петлі для IPTV потоку можна зробити висновок, що затримка пакетів IPTV в деякі моменти зростала до 150–300 мс, що на 150 мс більше, ніж критична затримка.

На другому етапі, коли включено алгоритм M-CBWFQ, середня затримка пакетів IPTV потоку зменшилася у 2 рази та забезпечено якісне сприйняття відео потоку при втратах до 3%. Пакети IPTV потоку, затримка яких перевищувала критичну, маршрутизатор зберігав у високопріоритетну чергу і безперервно обслуговував цю чергу аж до моменту, коли черга ставала пустою. Після цього маршрутизатор знову перемикався на обслуговування пакетів з низькопріоритетних черг (рис. 9).

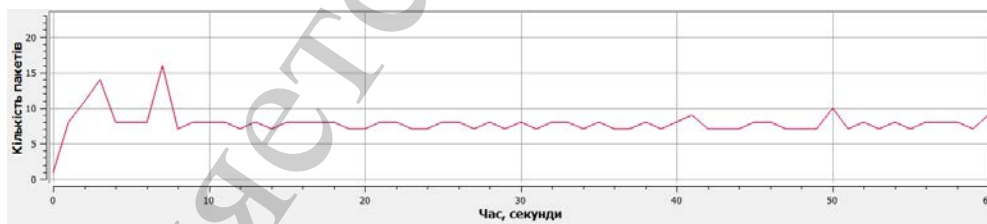
### ІСНУЮЧИЙ CBWFQ



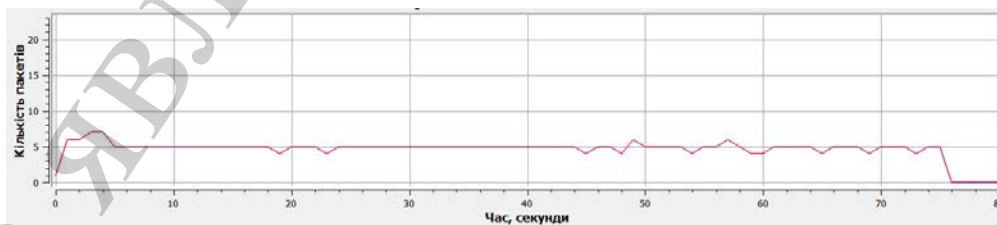
Втрати пакетів у буфері IPTV



Завантаження буфера IPTV

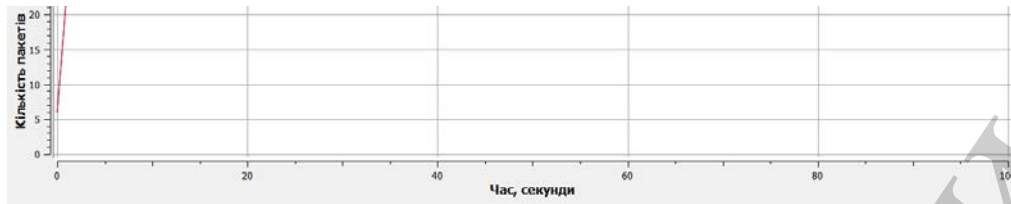


Завантаження буфера 2

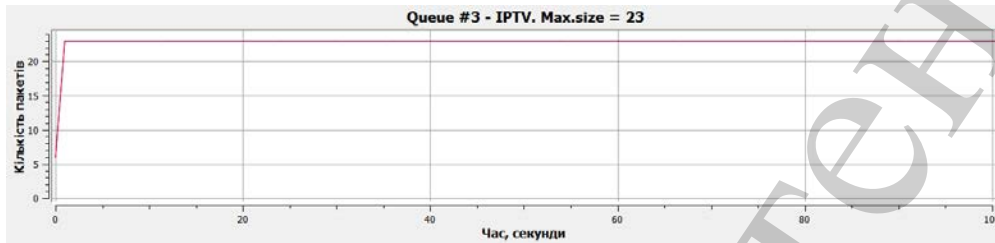


Завантаження буфера 3

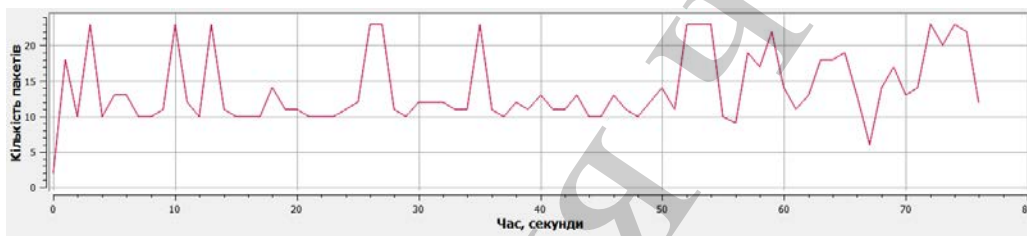
## ЗАПРОПОНОВАНИЙ М - CBWFQ



Втрати пакетів у буфері IPTV



Завантаження буфера IPTV



Завантаження буфера 2



Завантаження буфера 3

б

**Рис. 9.** Порівняння завантаженості черг різної пріоритетності: *а* – завантаження буферів та втрати в умовах використання існуючого методу CBWFQ; *б* – завантаження буферів та втрати в умовах використання запропонованого методу М-CBWFQ

Запропоновані рішення дозволять виробляти динамічну адаптивну настройку системи управління якістю обслуговування, забезпечуючи гарантовану якість усім інфокомунікаційним послугам в мережах нового покоління, побудованої на програмно-керованих маршрутизаторах та комутаторах.

### 7. SWOT-аналіз результатів досліджень

*Strengths.* У порівнянні з аналогічними системами, створеними на основі обладнання CISCO, заявлена модель маршрутизатора забезпечує конкурентні переваги за гарантованою якістю обслуговування визначених потоків реального часу з одночасним зменшенням вартості та складності налаштування мережних пристроїв передавання даних. За умов достатньої продуктивності апаратного забезпечення

прототипу маршрутизатора, обраної з прикладних міркувань для визначених застосувань, заявлена технологія реалізується розробленим програмним забезпеченням. Це забезпечує вигоду за оперативністю доставки відповідних потоків реального часу, а саме зниження затримок при їх опрацюванні сягає 40 %, зниження джитеру – 35 % (наприклад, при передаванні трафіку IPTV). При цьому з'являється можливість реалізації високоефективного шифрування з метою захисту даних мереж спеціального призначення. Базовими показниками для отриманих оцінок стали результати вимірювань трафіку на маршрутизаторах компанії CISCO серії 2800. Дані технології володіють особливо значними перевагами в умовах динамічно змінної та масштабованої структури мережних систем, особливо тих, що потребують значної оперативності доставки даних реального часу.

*Weaknesses.* Для досягнення високої продуктивності маршрутизатора необхідно встановлювати розроблене програмне забезпечення на високопродуктивних серверах. Це призводить до збільшення вартості виробництва.

*Opportunities.* Заявлена модель реалізується з програмною емуляцією на серверних платформах із необхідним рівнем продуктивності, а також, в перспективі:

- заміною програмного забезпечення діючих маршрутизаторів, як продуктів, які володіють потенційними можливостями щодо вдосконалення їх імовірно;
- часових характеристик, зокрема при обслуговуванні великих обсягів навантажень.

Рішення є перспективним для мереж, які потребують застосування ефективних методів шифрування, що створюють додаткові затримки у мережних вузлах. Пропонована модель забезпечує збереження якості надання заданих мультимедійних послуг за рахунок підвищення адаптивності транспортного сегменту телекомунікаційної мережі при оперативному розширенні зон покриття територій системами ширококутового радіодоступу. А також при їх масштабуванні в польових та важкодоступних умовах за допомогою нестационарних або квазістационарних вузлів.

*Threats.* При впровадженні даного продукту у виробництво підприємству необхідно придбати потужні сервери, на яких ставиться розроблене програмне забезпечення програмно-керованого маршрутизатора.

Основні прямі конкуренти – рішення Cisco Systems (приблизно 32 % ринку), D-link (приблизно 17 % ринку). Конкуренти на сьогодні не мають можливості відтворити технологічні результати, не маючи доступу до методичного та алгоритмічного забезпечення заявленої технології без проведення відповідних досліджень, випробувань, моделювання. Товари-замінники відсутні (висновок за результатами лабораторних експериментальних випробувань). Основним бар'єром входу на ринок є відсутність зв'язків із виробниками, а саме технологічної лінії для виробництва лінійки комутаторів та маршрутизаторів, з програмним забезпеченням, яке реалізує заявлену модель.

## **8. Висновки**

1. Розроблено модель програмно-керованого маршрутизатора з набором сучасних механізмів та алгоритмів обслуговування інформаційних потоків. На основі моделі маршрутизатора розширено набір функціональних можливостей пристрою, зокрема, режимом розгортання віртуальних вузлів з можливістю гнучкого управління структурними параметрами та можливістю автоматизованого відновлення працездатності. А також сформовано залежність між структурно-функціональними параметрами та параметрами якості обслуговування.



Для оцінювання ефективності запропонованих рішень у роботі створено програмно-апаратну платформу функціонально-орієнтованої корпоративної мережі з використанням інструменту QtCreator (версія 5.2). На основі розробленої тестової платформи реалізовано розроблену модель віртуалізованого програмно-керованого маршрутизатора, який володіє функцією адаптивного вибору алгоритму обслуговування черг в умовах явища випадкових сплесків трафіку, характерних для мультисервісних мереж нового покоління. Адекватність розроблених моделей підтверджено на основі дослідження імовірнісних властивостей трафіку мультисервісної корпоративної мережі та порівняння із характеристиками роботи реальних маршрутизаторів.

2. В результаті проведення імітаційного і практичного експерименту доведено, що застосування розроблених моделей та методів надання іфокомунікаційних послуг в телекомунікаційних мережах, призводить до покращення якості обслуговування потоків реального часу, а саме в середньому у 2 рази знижує затримку обслуговування та зменшує ймовірність втрат пакетів на 3 %.

### Література

1. Dynamic weighted round robin in crosspoint queued switch / Divanovic S. et al. // 2013 21st Telecommunications Forum Telfor (TELFOR). Belgrade, 2013. P. 109–112. doi: <http://doi.org/10.1109/telfor.2013.6716184>
2. Yfoulis C. A., Xanthopoulos C. Dynamic Router Buffer Sizing: An SLA-Based QoS Evaluation // 2010 Third International Conference on Communication Theory, Reliability, and Quality of Service. Athens, 2010. P. 104–109. doi: <http://doi.org/10.1109/ctrq.2010.25>
3. Khan A. A., Mir and Najeed-ud-din R. N. Buffer aware arbiter design to achieve improved QoS for NoC // TENCON 2017 – 2017 IEEE Region 10 Conference. Penang, 2017. P. 2494–2499. doi: <http://doi.org/10.1109/tencon.2017.8228281>
4. Research of on-board optical burst switching weight-weighted round robin assembly algorithm based on the QoS guarantee / Liao S. et al. // 15th International Conference on Optical Communications and Networks (ICOCN). Hangzhou, 2016. P. 1–3. doi: <http://doi.org/10.1109/icocn.2016.7875732>
5. Barreiros M., Lundqvist P. Policing and Shaping. QOS-Enabled Networks: Tools and Foundations. Vol. 1. Wiley Telecom, 2016. P. 101–116. doi: <http://doi.org/10.1002/9781119109136.ch6>
6. Deploying QoS-assured service function chains with stochastic prediction models on VNF latency / Lei T. H. et al. // 2017 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN). Berlin, 2017. P. 1–6. doi: <http://doi.org/10.1109/nfv-sdn.2017.8169837>
7. Quality of service in networks with self-similar traffic / Hirchoren G. A. et al. // 2017 XVII Workshop on Information Processing and Control (RPIC). Mar del Plata, 2017. P. 1–5. doi: <http://doi.org/10.23919/rpic.2017.8214328>
8. Qianlin L., Hongwei D., Qing C. Performance evaluation of polling scheme with different priority service // 2016 8th IEEE International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN). Beijing, 2016. P. 58–63. doi: <http://doi.org/10.1109/iccsn.2016.7586599>
9. Bisoy S. K., Pandey P. K., Pati B. Design of an active queue management technique based on neural networks for congestion control // 2017 IEEE International

Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS). Bhubaneswar, 2017. P. 1–6. doi: <http://doi.org/10.1109/ants.2017.8384104>

10. Bahaweres R. B., Fauzi A., Alaydrus M. Comparative analysis of LLQ traffic scheduler to FIFO and CBWFQ on IP phone-based applications (VoIP) using Opnet (Riverbed) // 2015 1st International Conference on Wireless and Telematics (ICWT). Manado, 2015. P. 1–5. doi: <http://doi.org/10.1109/icwt.2015.7449215>

11. Investigation the modified priority queuing method based on virtualized network test bed / Beshley M. et al. // The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics. Lviv, 2015. P. 1–4. doi: <http://doi.org/10.1109/cadsm.2015.7230779>

12. Method for processing multiservice traffic in network node based on adaptive management of buffer resource / Romanchuk V. et al. // 2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). Lviv-Slavske, 2018. P. 1118–1122. doi: <http://doi.org/10.1109/tcset.2018.8336390>

13. Investigation and Simulation of System for Data Flow Processing in Multiservice Nodes Using Virtualization Mechanisms / Klymash M. et al. // 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). Kyiv, 2017. P. 989–993. doi: <http://doi.org/10.1109/ukrcon.2017.8100397>

Не являється первинним джерелом