

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет "Львівська політехніка"

**Червенець Володимир Володимирович**

УДК 621.391

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

05.12.02 - телекомунікаційні системи та мережі

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів - 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті "Львівська політехніка" Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник - кандидат технічних наук, доцент  
**Романчук Василь Іванович**,  
Національний університет "Львівська політехніка",  
докторант

доктор технічних наук, професор  
**Жураковський Богдан Юрійович**,  
Державний університет телекомунікацій, завідувач кафедри  
інформаційно-комунікаційних технологій;

кандидат технічних наук, доцент  
**Отрох Сергій Іванович**,  
ПАТ "Укртелеком", старший аналітик технічної дирекції.

Захист дисертації відбудеться "24" лютого 2017 р. о 14<sup>30</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.10 у Національному університеті "Львівська політехніка" (79013, Львів-13, вул. С. Бандери, 12, ауд. 218 XI корпусу).

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Національного університету "Львівська політехніка" (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий "17" січня 2017 р.

*Учений секретар спеціалізованої  
вченої ради, к.т.н., доцент*

І.В. Демидов

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**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.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено дані про впровадження результатів роботи, її апробацію, публікації та особистий внесок здобувача.

У першому розділі - "Аналіз методів забезпечення якості надання послуг в мультисервісних телекомунікаційних мережах" - розглянуто основні параметри і характеристики якості обслуговування в мультисервісних телекомунікаційних мережах, дається короткий огляд систем обслуговування інформаційних потоків, розглянуто їх структуру і класифікацію, дисципліни обслуговування, математичні моделі та основні властивості потоку подій.

Останні результати досліджень, проведених багатьма провідними компаніями, говорять про зміну загального характеру мережевого трафіку – більшість трафіку стає потоковим. Тому виникає завдання пошуку методів, які

дають змогу оптимізувати процес передавання саме потокового трафіку та підвищати якість послуг, що надаються у мережі. У ході проведеного аналізу встановлено, що ключовим завданням сучасних телекомунікаційних технологій є забезпечення якості обслуговування інформаційних потоків в мультисервісних мережах зв'язку. При цьому визначено, що важлива роль у вирішенні цього завдання відводиться засобам управління трафіком у вузлах мережі, до числа яких відносяться протоколи маршрутизації, механізми пріоритетного розподілу каналного і буферного ресурсів. Проведено огляд та виявлено основні особливості та недоліки існуючих методів управління трафіком в мультисервісних мережах зв'язку. Встановлено, що інерційність і низька узгодженість у рішеннях завдань формування черг, їх обслуговування і розподілу каналного ресурсу між чергами тягнуть за собою необхідність перегляду закладених у відповідні механізми і протоколи схем і математичних моделей з метою реалізації динамічних стратегій управління, здатних адаптивно підлаштовуватися під зміни стану мережі та окремих мережних вузлів – інтенсивності і пріоритету трафіку, що надходить на обслуговування, завантаженості каналних і буферних ресурсів ТКМ тощо.

Таким чином, в розділі обґрунтовано наукові завдання, які полягають в забезпеченні ефективного розподілу та параметризації спільних мережеских ресурсів в умовах стрімкого зростання обсягів загального користувацького навантаження для підвищення якості передавання потокового мультимедійного трафіку в мультисервісних телекомунікаційних мережах.

**У другому розділі - "Моделі та метод покращення параметрів QoS в мультисервісній інфраструктурі з урахуванням віртуалізації мережеских вузлів"** - запропоновано моделі та метод забезпечення заданих значень показників якості обслуговування інформаційного трафіку з урахуванням віртуалізації мережеского пристрою та адаптивного управління структурними параметрами вузла. Основна ідея роботи полягає у розробленні моделі віртуального маршрутизатора, використання якої в мультисервісній інфраструктурі забезпечить ефективний розподіл ресурсів між різними мережескими потоками та дасть змогу підвищити якість обслуговування потоків реального часу із забезпеченням необхідного рівня QoS сервісів, чутливих до втрат та нечутливих до затримок.

Віртуалізація мережеского пристрою передбачає створення двох або більше віртуальних мережеских машин, які виконують функції маршрутизаторів 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 мережеского пристрою з віртуалізацією, розгорнуто три віртуальні маршрутизатори. Призначені для індивідуального обслуговування потоків одного типу вони забезпечують їм необхідний рівень QoS згідно сформульованих вимог, за рахунок виділення фізичних ресурсів апаратного мережеского пристрою для конфігурування з необхідними продуктивностями віртуальних маршрутизаторів. Розглянемо принцип роботи запропонованої моделі маршрутизатора з віртуалізацією ресурсів (рис.1).

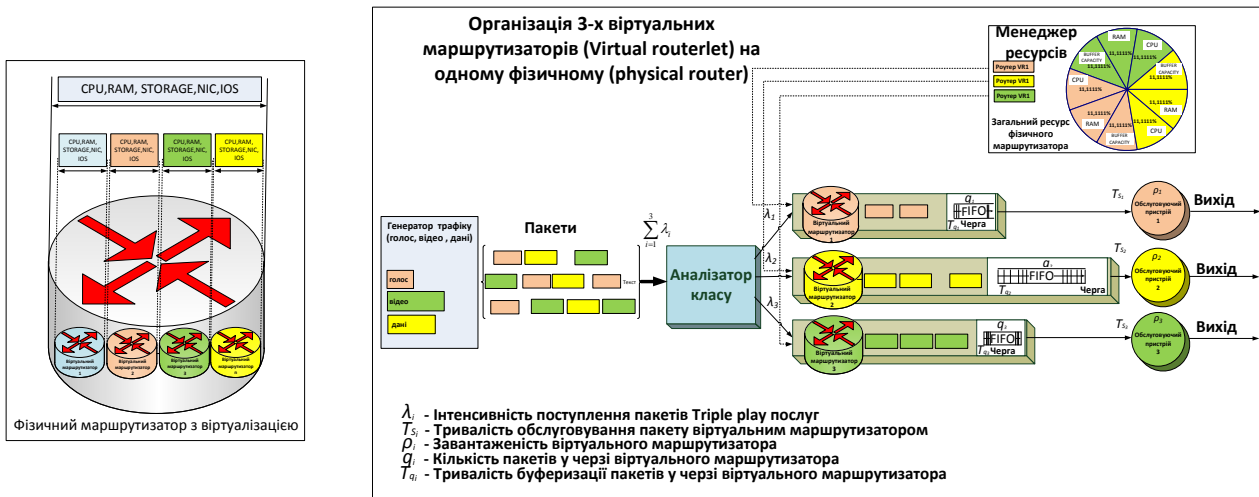


Рис.1. Структурно-функціональна модель віртуалізованого пакетного маршрутизатора зі статичним та динамічним виділенням ресурсів

На вхід віртуального маршрутизатора поступає агрегований потік пакетів з інтенсивністю  $\Delta = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ . Тоді, сумарний потік складається з  $n$  парціальних 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, обробляється і розділяється аналізатором на  $N=3$  мережевих віртуальних пристроїв згідно пріоритету поля сервісу Type of Service (ToS), DSCP. Перевагою даної моделі є те, що в умовах використання блоку менеджера управління ресурсів, який функціонально відповідає гіпервізору при організації віртуальних машин 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.

На рис. 2 показано принцип управління обчислювальними ресурсами мережевого пристрою на основі залежності середнього часу затримки пакетів від завантаження віртуальних маршрутизаторів за умов статичного та динамічного виділення 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  $T_{\text{допустиме}_1}$ , відповідно запишемо умову дотримання необхідного рівня QoS за критерієм затримки ( $t_1 \leq T_{\text{допустиме}_1}$ ). Затримка пакетів другого класу  $t_2$  (не чутливого до затримок) не повинна перевищувати  $T_{\text{допустиме}_2}$ , в такому разі умова дотримання необхідного рівня QoS у другому віртуальному маршрутизаторі виглядатиме, як ( $t_2 \leq T_{\text{допустиме}_2}$ ). Тоді в умовах низького навантаження ( $\rho_{i1} \leq \rho'_{\text{вир.1}}$ ), ( $\rho_{i2} \leq \rho'_{\text{вир.2}}$ ) на віртуальні маршрутизатори першого та другого класу в  $i$ -й момент часу за статичного розподілу обчислювальних ресурсів, задовольняються всі вимоги



щодо якості обслуговування потоків всіх пріоритетів. В умовах високого навантаження ( $\rho'_{вир.1} \leq \rho_{i1} \leq \rho''_{вир.1}$ ), ( $\rho'_{вир.2} \leq \rho_{i2} \leq \rho''_{вир.2}$ ) у певні моменти часу виникають ситуації коли ( $t_2 \geq T_{допустиме_2}$ ) та ( $t_1 \geq T_{допустиме_1}$ ). 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 для двох класів послуг. На основі отриманих результатів поточного контролю параметрів QoS проводиться перерахунок параметрів обчислювальних ресурсів CPU, RAM, Buffer capacity мережевого пристрою, з метою їх адаптивного розподілу між класовими віртуальними маршрутизаторами.

Сума довжин віртуальних черг у критичному випадку не може перевищувати загального розміру буфера при низьких коефіцієнтах використання ресурсів попереднього (базового) сегменту мережі.

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

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

У роботі запропоновано модель адаптивного управління загальним буферним ресурсом для виділення оптимальних ємностей віртуальних черг в умовах, за яких забезпечується необхідна якість обслуговування інформаційних потоків, що у загальному вигляді представляється як:

$$\begin{cases} t_{поточне_i} \leq T_{допустиме_i} \\ p_{поточне_i} \leq P_{допустиме_i} \Rightarrow q_{черги_i} \in Q_{буф} \\ dt_{поточне_i} \leq dT_{допустиме_i} \end{cases}, \quad (2)$$

де  $t_{поточне_i}$  – поточна затримка буферизації потоку в  $i$ -ому віртуальному маршрутизаторі;  $T_{допустиме_i}$  – допустима затримка потоку в  $i$ -ому 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  $i$ -ому віртуальному буфері маршрутизатора згідно встановлених рекомендацій;  $dt_{поточне_i}$  – поточний джитер буферизації потоку в  $i$ -ому віртуальному маршрутизаторі;  $dT_{допустиме_i}$  – допустимий джитер потоку у  $i$ -ому віртуальному буфері маршрутизатора згідно встановлених рекомендацій:

$$\sum_{i=1}^n CPU_i \leq CPU, \quad (3)$$

$$\begin{cases} t_{поточне_i} \leq T_{допустиме_i} \\ p_{поточне_i} \leq P_{допустиме_i} \Rightarrow CPU_i \in CPU, \\ dt_{поточне_i} \leq dT_{допустиме_i} \end{cases}, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n RAM_i \leq RAM, \quad (5)$$

$$\begin{cases} t_{\text{поточне}_i} \leq T_{\text{допустиме}_i}, \\ P_{\text{поточне}_i} \leq P_{\text{допустиме}_i} \Rightarrow RAM_i \in RAM, \\ dt_{\text{поточне}_i} \leq dT_{\text{допустиме}_i}, \end{cases} \quad (6)$$

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.

В результаті, за подальшого збільшення навантаження  $(\rho'_{\text{вир.1}} \leq \rho_{i1} \leq \rho''_{\text{вир.1}}), (\rho'_{\text{вир.2}} \leq \rho_{i2} \leq \rho''_{\text{вир.2}})$  на вузол мережі в умовах динамічного розподілу ресурсів в певні моменти часу, середня затримка пакетів послуг нереального часу фіксується і відповідає висунутим вимогам  $(t_2 = T_{\text{допустиме}_2})$ , на відміну від статичного ресурсного розподілу, коли не дотримуються вимоги щодо затримки даного потоку. При цьому збільшується затримка пакетів послуг реального часу  $t_1$ , проте  $(t_1 \leq T_{\text{допустиме}_1})$ . В умовах високого навантаження на мережевий пристрій, коли  $(\rho_{i1} \geq \rho''_{\text{вир.1}}), (\rho_{i2} \geq \rho''_{\text{вир.2}})$  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  $(t_1 \leq T_{\text{допустиме}_1})$ , проте в таких умовах зростає затримка пакетів для послуг нереального часу, як правило не погіршуючи якість сприйняття послуг кінцевими користувачами.

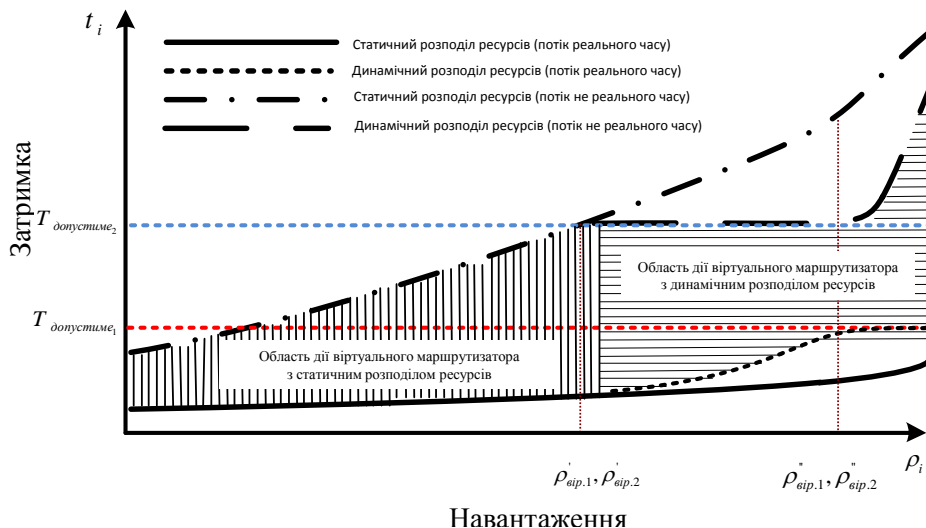


Рис.2. Залежність затримки обслуговування від завантаження обслуговуючого пристрою віртуального маршрутизатора за статичного та динамічного розподілу обчислювальних ресурсів

У роботі запропоновано математичне представлення параметрів якості обслуговування мультисервісної інфраструктури з віртуалізацією ресурсів. Припустимо, що загальна пропускна здатність каналу 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

$$A(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \lambda(x) dx, \quad (7)$$

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

$$R^{in}(t_1, t_2) = A(t_1, t_2) - \int_{t_1}^{t_2} \xi(x) dx, \quad (8)$$

де  $\xi(x)$  є інтенсивністю відкидання пакетів в момент часу  $t$ .

З формули (8) випливає, що різниця між кривою прибуття і вхідною є обсягом відкинутого трафіку. Вихідна крива  $R^{out}$  характеризує переданий трафік протягом часового інтервалу  $[t_1, t_2]$ , і визначається як:

$$R^{out}(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} r(x) dx, \quad (9)$$

де  $r(t)$  є інтенсивністю обслуговування пакетів в момент часу  $t$ .

З цього моменту, ми будемо використовувати такі скорочені позначення для позначення кривих прибуття, вхідної і вихідної в моменти часу  $t$ , відповідно:

$$\begin{aligned} A(t) &= A(0, t), \\ R^{in}(t) &= R^{in}(0, t), \\ R^{out}(t) &= R^{out}(0, t). \end{aligned} \quad (10)$$

На рис. 3 зображено вертикальну та горизонтальну відстані між вхідною і вихідною кривою, які характеризують довжину черги  $Q$  та затримку  $D$  в мережевому пристрої.

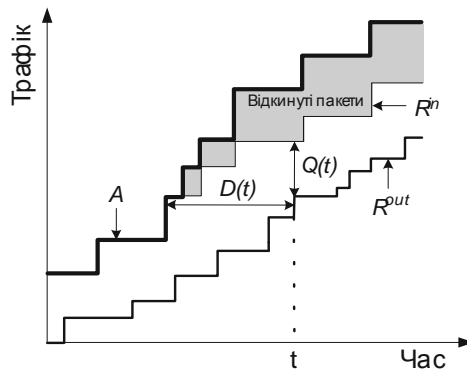


Рис.3. Графічне відображення зміни довжин черги, затримки та втрати пакетів

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

$$Q(t) = R^{in}(t) - R^{out}(t), \quad (11)$$

$$D(t) = \max_{x < t} \{x \mid R^{out}(t) \geq R^{in}(t - x)\}. \quad (12)$$

Тоді, середня затримка визначається шляхом усереднення миттєвої затримки  $D(t)$  протягом часового вікна тривалістю  $\tau$ .

$$D_t^{avg}(\tau) = \frac{1}{\tau} \int_{t-\tau}^t D(x) dx \quad (13)$$

Позначимо інтенсивність втрат  $P(t)$ , яка виражає частку 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:

$$P(t) = \frac{\int_{t_0}^t l(x) dx}{\int_{t_0}^t a(x) dx} = 1 - \frac{R_m(t_0, t^-) + a(t) - l(t)}{A(t_0, t^-)}, \quad (14)$$

де  $t^- = \sup\{x | x < t\}$ .

Отже, за допомогою вище записаних виразів можна формалізувати та описувати характеристики якості обслуговування віртуальної мережної інфраструктури.

Мережевий пристрій з віртуалізацією згідно теорії систем масового обслуговування (СМО) можна зобразити за допомогою каскадного включення буферної пам'яті та обслуговуючих пристроїв (рис.4а). 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.

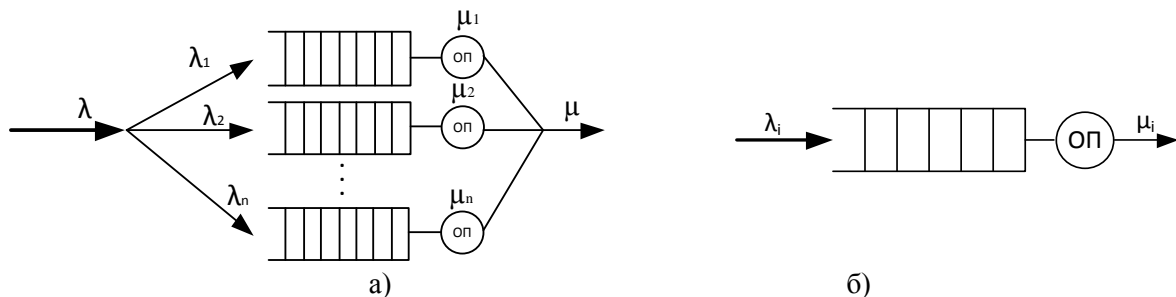


Рис. 4. СМО мережного пристрою з віртуалізацією (а) та СМО віртуального маршрутизатора (б)

Провівши декомпозицію моделі маршрутизатора з віртуалізацією (рис. 4б) для одного типу трафіку отримаємо спрощену односерверну модель.

Для опису такої моделі можна використати довільну систему масового обслуговування. Для прикладу використаємо систему  $M/M/1/n$ , де на вхід поступають виклики з пуассонівським законом розподілу, при об'єднанні яких утворюється мультисервісний агрегований потік.

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

$$P_{sm_i} = \frac{(1 - \rho_i) \cdot \rho_i^{n_i}}{1 - \rho_i^{n+1}}, \quad (15)$$

де  $\rho_i$  – коефіцієнт завантаження  $i$ -го віртуального маршрутизатора ;  $n_i$  – кількість місць в буфері  $i$ -го віртуального маршрутизатора:

$$\rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}, \quad (16)$$

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 :

$$\bar{N}_i = \frac{\rho_i}{1 - \rho_i} - \frac{(1 + n_i) \cdot \rho_i^{n_i+1}}{1 - \rho_i^{n_i+1}}. \quad (17)$$

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

$$\bar{T}_i = \frac{\bar{N}_i}{\lambda_i}. \quad (18)$$

$$\bar{T}_i = \left( \frac{\rho_i}{1 - \rho_i} - \frac{(1 + n_i) \cdot \rho_i^{n_i+1}}{1 - \rho_i^{n_i+1}} \right) \cdot \frac{1}{\rho_i \mu_i}. \quad (19)$$

У роботі вперше запропоновано використати формулу Норосса для оцінки кількості пакетів  $i$  – го потоку в буфері  $i$  – го віртуального маршрутизатора, де кожен потік характеризується своїми властивостями та власним параметром Херста:

$$N_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i} \cdot \frac{\left( \frac{\lambda_i}{\mu_i} \right)^{\frac{H_i - 0.5}{1 - H_i}}}{\left( 1 - \frac{\lambda_i}{\mu_i} \right)^{\frac{H_i}{1 - H_i}}}, \quad (20)$$

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:

$$Q_i = N_i \cdot L_{cp,i}, \quad (21)$$

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

Отже, змінюючи параметри структурно-функціональної моделі обслуговуючого вузла, можемо спостерігати за змінами ключових кількісних параметрів якості обслуговування. Завдання планування ресурсів зводиться до вибору параметрів структурно-функціональної моделі вузла обслуговування, які забезпечують дотримання необхідних параметрів якості обслуговування.

**У третьому розділі - "Дослідження ефективності функціонування віртуальних маршрутизаторів в умовах передавання мультисервісного трафіку"** - для дослідження ефективності функціонування існуючого маршрутизатора із запропонованою реалізацією віртуального маршрутизатора розроблено структурно-функціональну модель мережевого пристрою з

віртуалізацією ресурсів за допомогою компонент SimEvents програмної системи Matlab. Модель маршрутизатора складається з набору блоків, які відповідають за функціонування певних елементів структури реального мережного пристрою. Відповідно, кожен фізичний маршрутизатор в мережі містить віртуальні маршрутизатори, які обробляють свій потік даних і конфігуруються відповідно до вимог QoS при наданні послуг. На рис. 5 зображено структурно-функціональну схему мережевого пристрою, яка складається із трьох віртуальних маршрутизаторів (1,2,3) та стандартного маршрутизатора з пріоритетною дисципліною обслуговування пакетів PQ із чергою (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.

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. У моделі співставлено продуктивність маршрутизатора із витратами часу при обслуговуванні пакету або часу зайняття процесорного ресурсу.

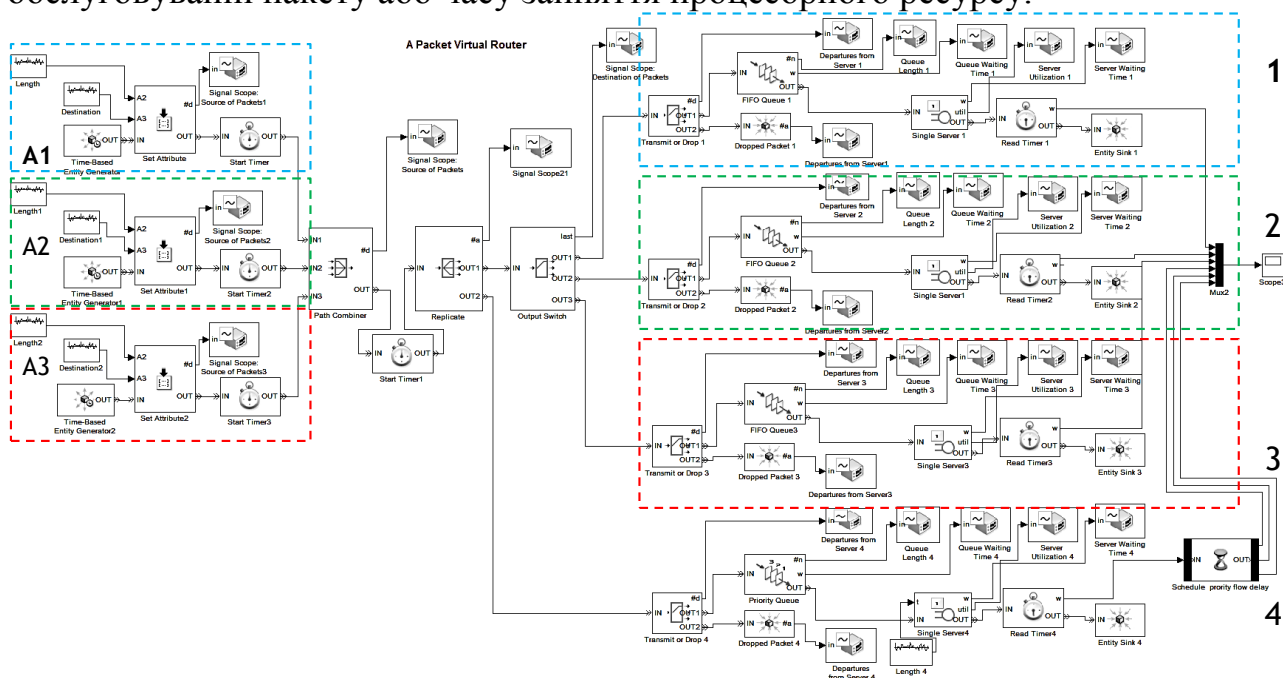


Рис. 5. Структурно-функціональна схема пакетного маршрутизатора з віртуалізацією ресурсів (1,2,3) та без віртуалізації з пріоритетною обробкою черг (4)

Кінцевим результатом даної імітаційної моделі є порівняння результатів затримки пакетів послуг систем обслуговування інформаційних потоків зі статичною реконфігурацією ресурсів маршрутизатора та обробкою пакетів за порядком черги PQ в одному фізичному маршрутизаторі. При порівнянні з пріоритетним обслуговуванням пакетів, статична віртуалізація для голосового потоку дає гірший результат по затримці (рис.6 а), оскільки при пріоритетному обслуговуванні пакети голосу мають найвищий пріоритет і обслуговуються в

першу чергу. Проте затримки інших двох потоків в деякі моменти модельного часу перевищують допустиму норму і є більшими, в порівнянні із затримками, які забезпечує статична віртуалізація. Відповідно, жодна із систем обслуговування не здатна гарантувати якість обслуговування потоків трафіку. Наступним кроком дослідження є порівняння результатів моделювання затримки пакетів послуг у системах обслуговування інформаційних потоків з динамічною реконфігурацією ресурсів маршрутизатора та з обробкою пакетів за порядком черги PQ в одному фізичному маршрутизаторі (рис.6 б).

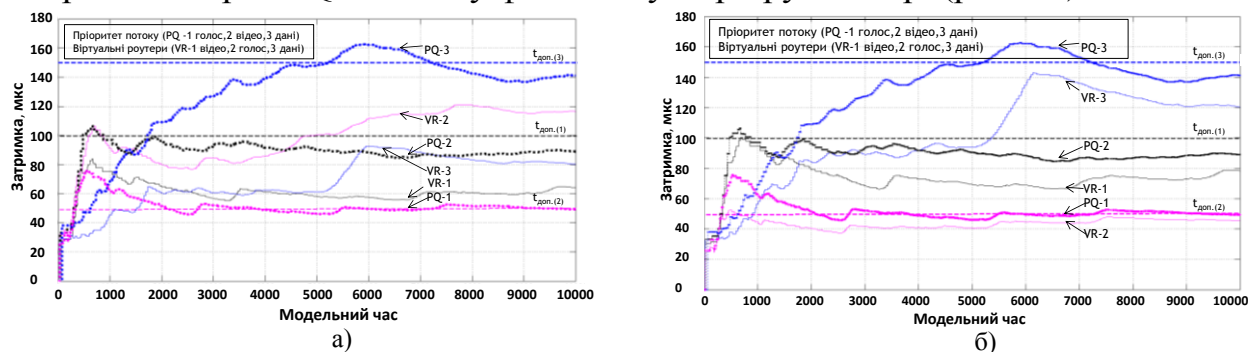


Рис.6. Порівняння тривалостей затримок пакетів в маршрутизаторі ((а) - статична віртуалізація із пріоритетним обслуговуванням ) та ((б) - динамічна віртуалізація мережевого пристрою із пріоритетним обслуговуванням)

Проаналізувавши отримані результати доведено, 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.

У роботі проведено імітаційне програмне моделювання з метою дослідження впливу методу управління структурними параметрами маршрутизатора з віртуалізацією ресурсів на якість обслуговування інформаційних потоків (рис.7). 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 класу вхідного потоку.

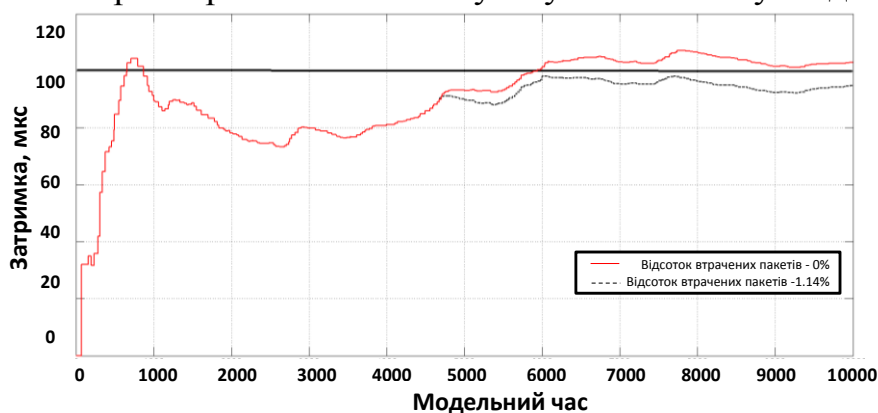


Рис.7. Порівняння тривалостей затримок пакетів відеопотоку у віртуальному маршрутизаторі при вимушеному відкиданні пакетів

Розроблено модель, яка дає змогу відповідно до заданих параметрів затримки та втрат пакетів вибрати оптимальні параметри віртуальних систем

обслуговування із гарантуванням необхідного рівня якості обслуговування за означеними критеріями. Також можливо розв'язувати і обернену задачу. Такий підхід можна використати на етапі проектування, а також для підвищення ефективності функціонування реальної мережі.

У четвертому розділі - "Практична реалізація технології віртуалізації пристроїв мережного рівня" - 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 в реальному часі (рис.8).

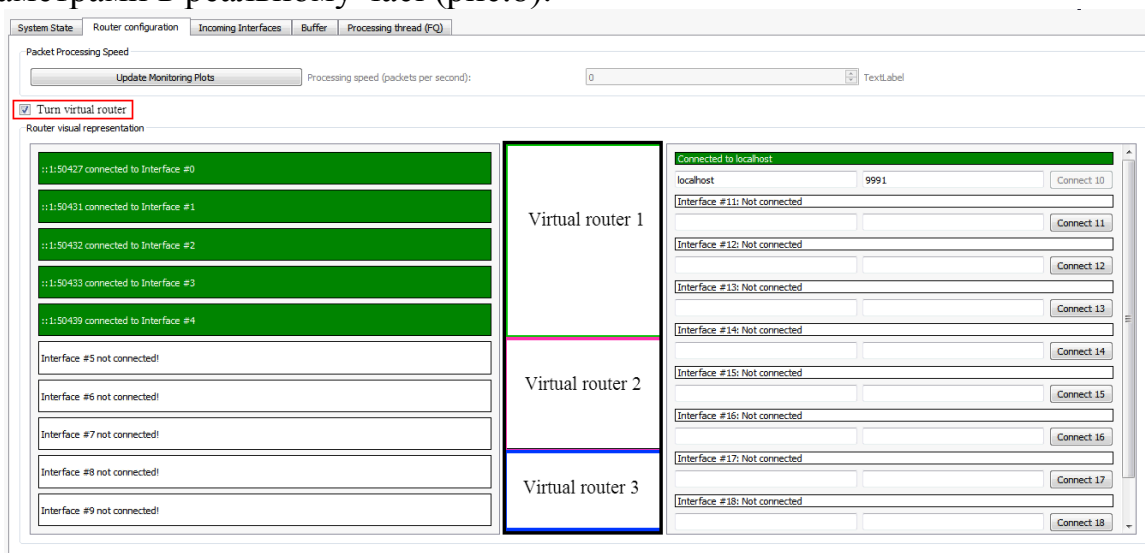


Рис.8. Інтерфейс програмної реалізації моделі віртуальних маршрутизаторів

Першим етапом експериментального дослідження є оцінка QoS параметрів за використання справедливого алгоритму оброблення черг заснованого на потоках - FQ. Другим етапом є оцінка QoS параметрів сервісу IPTV за використання запропонованої технології віртуальних маршрутизаторів при функціонуванні в режимі реального часу. Запустивши програмний маршрутизатор на сервері, необхідно згенерувати вхідне навантаження на вузол. Для цього використано генератор потоків мультисервісного трафіку, характеристики якого наближаються до характеристик реальних потоків даних.

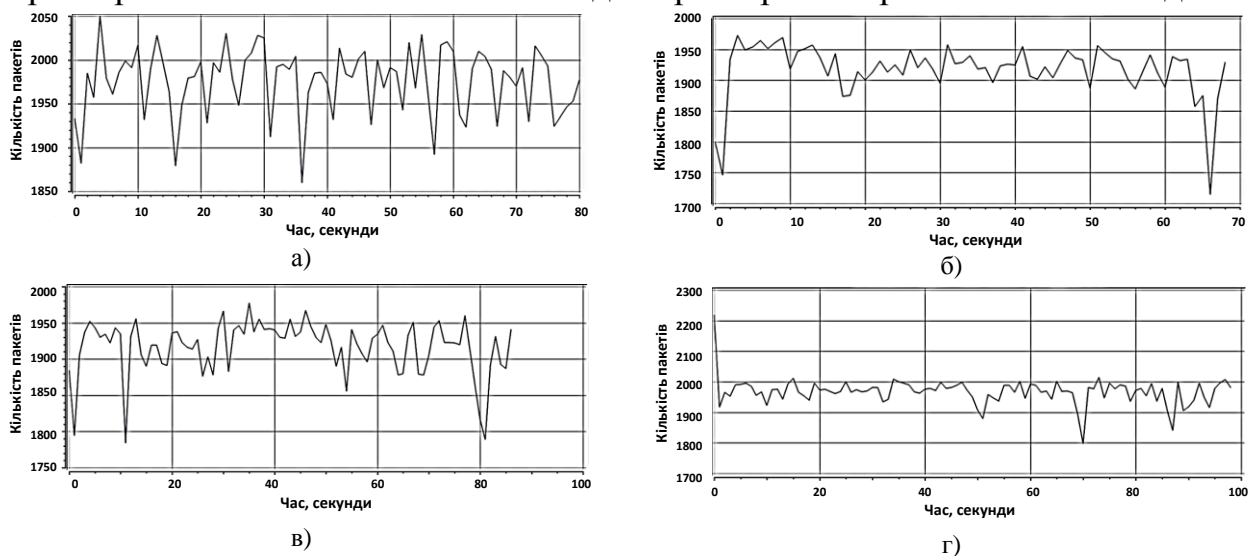


Рис. 9. Інтенсивність поступлення пакетів на інтерфейси №0-(а), №1-(б), №2-(в), №3-(г)



Генератор трафіку побудований за принципом використання технології сокетів. Відповідно, на кожен із задіяних чотирьох вхідних інтерфейсів надходить згенерований мультисервісний потік (рис. 9). Після чого, ці потоки агрегуються на вихідному інтерфейсі під номером 11. Для дослідження якості обслуговування, на вхідний інтерфейс програмного маршрутизатора під номером №4 направляється IPTV потік. Після чого пакети IPTV надходять на вихідний інтерфейс під номером №11, який уже задіяний під обслуговування агрегованого трафіку з портів № 0, 1, 2, 3. На вихідному інтерфейсі №11 утворюється агрегований мультисервісний потік з коефіцієнтом завантаження пристрою, представленим на рис. 10.

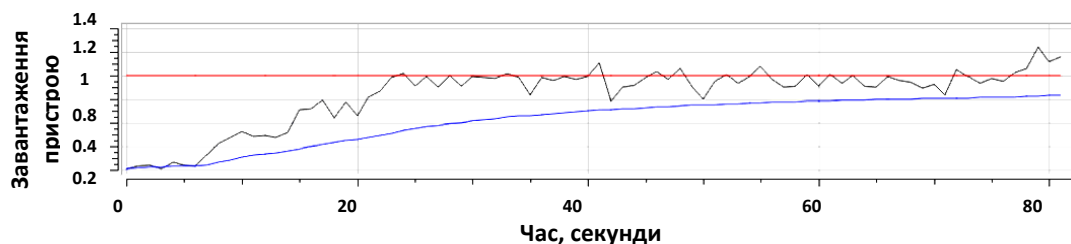


Рис. 10. Коефіцієнт завантаження маршрутизатора на рівні агрегації потоків

Відповідно, за використання алгоритму FQ тривалості затримки пакетів IPTV з порядковим номером від 1 до 1800 та 3081 до 3500 перевищують встановлений необхідний рівень гарантованого обслуговування за критерієм затримки згідно рекомендацій ITU-T (див. рис.11). Затримка пакетів з порядковим номером від 1801-3080 утворюється за використання технології динамічної віртуалізації обчислювальних ресурсів маршрутизатора, яка, на відміну від попередньої конфігурації маршрутизатора, дає змогу гнучкіше управляти ресурсами. Таким чином, для потокового трафіку, а саме потоку IPTV виділяється окремий віртуальний маршрутизатор, який забезпечує необхідний рівень якості обслуговування пакетів за критерієм затримки. Аналогічно на рис. 12 показано джитер потоку IPTV. На відміну від існуючого режиму роботи маршрутизатора, технологія віртуалізації мережевого пристрою забезпечує мінімізацію джитеру пакетів. В обох випадках втрати пакетів на вузлі не спостерігались.

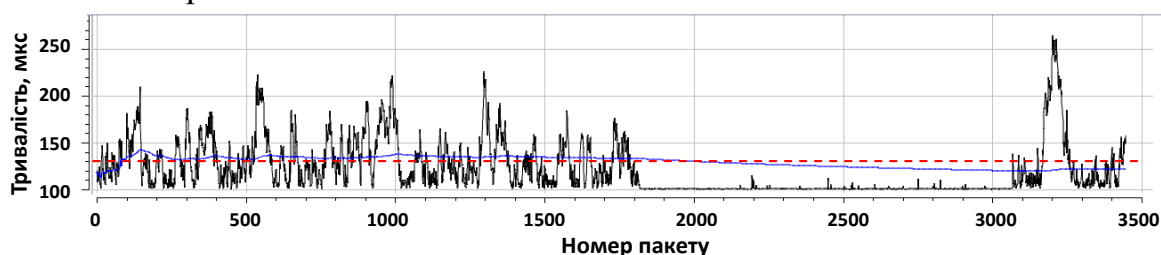


Рис. 11. Тривалість затримки IPTV потоку у маршрутизаторі

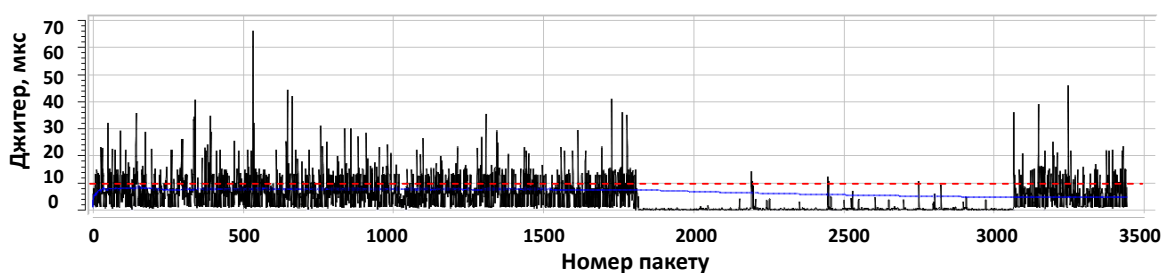


Рис. 12. Джиттер IPTV потоку у маршрутизаторі

На рис. 13 а показано завантаженість буфера у разі використання справедливого алгоритму обслуговування черг FQ, а на рис.13 б – при віртуалізації маршрутизатора. На основі отриманих результатів доведено, що технологія віртуалізації мережевого пристрою дає змогу виділяти менший обсяг пам'яті для гарантованого обслуговування потоків IPTV.

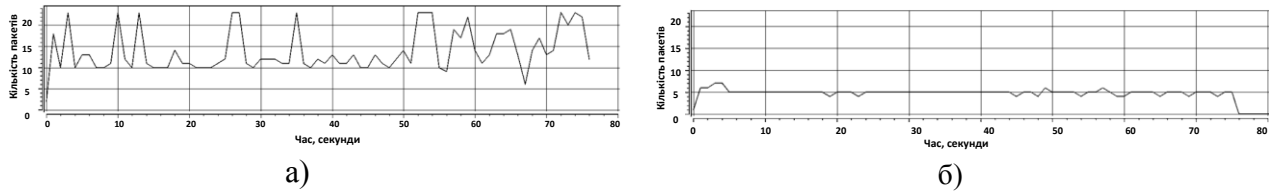


Рис. 13. Завантаження буфера з потоками IPTV у разі використання алгоритму FQ-(а), віртуального маршрутизатора –(б)

Таким чином, технологія динамічної віртуалізації мережевого пристрою забезпечує ефективний розподіл мережних ресурсів між різними потоками навантаження та дає змогу підвищити якість обслуговування потокового трафіку реального часу із наданням гарантованого рівня QoS для сервісів, що є чутливими до втрат та нечутливими до затримок.

## 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 мережевих пристроїв в існуючій мережевій інфраструктурі дало змогу ефективно розподіляти наявні мережеві 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 елементу.

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.

## **ОСНОВНІ РОБОТИ, ОПУБЛІКОВАНІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **Статті у журналах, що входять до міжнародних наукометричних баз даних:**

1. Бешлей М.І. Розвиток методів передавання даних реального часу шляхом вдосконалення процесів пріоритетизації потоків у маршрутизаторах / М.І. Бешлей, В.В. Червенець, І.В. Демидов, В.І. Романчук, О.М. Панченко // Системи обробки інформації: наук. журнал - X: Харк. ун-т Повітр. Сил ім. Івана Кожедуба. - 2016. – №5(142) - С. 114-123. (Index Copernicus, Google scholar)

2. 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.(CrossRef, DBLP, DBPIA, Google Scholar, EBSCO)

3. 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. Алексеев, 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. (Index Copernicus, Google scholar)

4. 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. (Index Copernicus, Google scholar)

### **Статті у журналах, що входять до переліку наукових фахових видань України:**

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

6. 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.

7. 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.

8. 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.

**Публікації у матеріалах конференцій, що входять до міжнародних наукометричних баз даних:**

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

10. 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. 39. (Scopus)

**Публікації у матеріалах міжнародних та всеукраїнських конференцій:**

11. 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.

12. 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

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

**Анотація**

Червенець В.В. Підвищення якості передачі потокового трафіку в мультисервісних мережах. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. – Національний університет "Львівська політехніка" Міністерства освіти і науки України, Львів, 2017.

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню науково-технічного завдання покращення якості обслуговування потокового трафіку в мультисервісних мережах за рахунок удосконалення методу адаптивного управління структурними параметрами вузла та розроблення моделей віртуалізації мережевого пристрою. Запропоновано моделі та метод забезпечення заданих значень показників якості обслуговування інформаційного трафіку на основі технології віртуалізації мережевого пристрою та адаптивного управління структурними параметрами вузла. Розроблено модель статичної та динамічної реконфігурації обчислювальних ресурсів мережевого пристрою. Запропоновано аналітичну модель мережевого пристрою з віртуалізацією та математичне представлення параметрів якості обслуговування потоків в мультисервісній інфраструктурі з віртуалізацією ресурсів. Проведено дослідження якості обслуговування потокового трафіку на основі розробленої моделі програмного маршрутизатора з можливістю розгортання віртуальних обслуговуючих пристроїв класового призначення. На основі експериментальних досліджень мультисервісної мережі встановлено, що застосування розроблених моделей і методу динамічної віртуалізації мережевого пристрою 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.

**Ключові слова:** мультисервісна мережа, якість обслуговування, розподіл ресурсів, буфер, віртуалізація, маршрутизатор.

#### **Аннотація**

Червенец В.В. Повышение качества передачи потокового трафика в мультисервисных сетях. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. – Национальный университет "Львовська політехніка" Министерства образования и науки, Украины, Львов, 2017.

Совокупность научных положений, сформулированных и обоснованных в диссертационной работе составляет решение научно-технической задачи улучшения качества обслуживания потокового трафика в мультисервисных сетях за счет совершенствования метода адаптивного управления структурными параметрами узла и разработки моделей виртуализации сетевого устройства. Предложены модели и метод обеспечения заданных значений показателей качества обслуживания информационного трафика на основе технологии виртуализации сетевого устройства и адаптивного управления структурными параметрами узла. Сформирована зависимость между структурно-функциональными параметрами и параметрами качества обслуживания. Обеспечено согласованное решение задач планирования и управления

вычислительными ресурсами за счет введения динамической виртуализации маршрутизаторов для гарантированной обработки определенных классов трафика. Проведено исследование качества обслуживания потокового трафика на основе разработанной модели программного маршрутизатора с возможностью развертывания виртуальных обслуживающих устройств классового назначения. На основе экспериментальных исследований мультисервисной сети установлено, что применение разработанных моделей и метода динамической виртуализации сетевого устройства обеспечивает возможность назначения минимального объема сетевых ресурсов для обеспечения заданного уровня качества обслуживания и дает возможность на 25-30% повысить качество обслуживания потокового видео трафика реального времени по критериям задержки и джиттера.

**Ключевые слова:** мультисервисная сеть, качество обслуживания, распределение ресурсов, буфер, виртуализация, маршрутизатор.

#### **Annotation**

Chervenets V.V. Increasing the quality of streaming traffic transmission in multiservice networks. – On the rights of the manuscript.

A thesis submitted in fulfilment of the Ph.D. degree in technical sciences on specialty 05.12.02 – telecommunication systems and networks. – Lviv Polytechnic National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2017.

The thesis is devoted to solving scientific and technical task of increasing the quality of service for streaming traffic in multiservice networks by improving the method of adaptive control over the node structural parameters and developing models of network device virtualization. A model and method to maintain the required quality of service parameters for information traffic based on virtualization technology of network device and adaptive management of the structural parameters of the node are proposed. The model of static and dynamic reconfiguration of computing resources of network node is developed. An analytical model of network virtualization of device parameters and mathematical representation of the quality of service flows in multiservice infrastructure with resource virtualization is proposed. Based on the developed model of software router with the ability to deploy virtual serving devices for a destination class, the research of service quality for streaming traffic is conducted. Based on the experiment in multiservice network, it was found out that the developed models and methods for dynamic network device virtualization providing the ability to designate the minimum amount of network resources to guarantee a given level of service quality and enables 25-30% increase in service quality of real-time streaming traffic with respect to delay and jitter.

**Keywords:** multiservice network, quality of service, resource balancing, buffer, virtualization, router.

Підписано до друку 28.12.2016 р. Папір офсетний. Гарнітура Times.

Формат 60 x 84/16. Ум. друк. арк. 0,9. Наклад 120 прим. Зам. №101

Друк СПДФО Марусич М. М. Свідоцтво №1252 від 30.12.1996

м. Львів, пл. Осмомисла, 5/11

тел./факс: (032) 261-51-31.

