

Вінницький національний технічний університет  
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем  
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення

## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«Методи та моделі прогнозування завадозахищеності корпоративних телекомунікаційних мереж»**

Виконав: студент 2-го курсу,  
групи ТКС-20м  
спеціальності 172 – Телекомунікації та  
радіотехніка

\_\_\_\_\_ Щербацький Д.В.

Керівник: д.т.н., проф. каф. ТКСТБ  
\_\_\_\_\_ Кичак В.М.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Опонент: д.т.н., професор каф. РТ  
\_\_\_\_\_ Осадчук В.С.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**Допущено до захисту**

Завідувач кафедри ТКСТБ

\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Кичак В.М.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Вінницький національний технічний університет  
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем  
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення  
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)  
Галузь знань - 17– Електроніка та телекомунікації  
(шифр і назва)  
Спеціальність - 172 – Телекомунікації та радіотехніка  
(шифр і назва)  
Освітньо-професійна програма - Телекомунікаційні системи та мережі

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри ТКСТБ**  
**д.т.н., професор В.М. Кичак**  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 року

## **З А В Д А Н Н Я** **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Щербацькому Денису Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Методи та моделі прогнозування завадозахищеності корпоративних телекомунікаційних мереж  
керівник роботи Кичак Василь Мартинович, докт. техн. наук, професор  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом вищого навчального закладу від “24” 09 2021 року № 277
2. Строк подання студентом роботи 01 грудня 2021 року
3. Вихідні дані до роботи діапазон зміни затримки оброблення інформаційних даних – 80-91 мс; діапазон значень джитеру інформаційних сигналів – 0,51-8 мс; діапазон зміни ймовірності втрат інформаційних даних – 0-5 %; діапазон зміни ймовірності скидання інформаційних повідомлень – 0,3-12 %; значення втрат інформаційних пакетів при передаванні VoIP трафіку – 0,25 %; значення втрат інформаційних пакетів при передаванні IPTV трафіку – 1 %; діапазон значень затримки передавання спільного інформаційного трафіку за різних довжин пакетів та в діапазоні зміни швидкості інформаційного потоку від 10 до 20 Мбіт/с – 0,03-0,07 с .
4. Зміст текстової частини: особливості побудови телекомунікаційних мереж спеціального призначення; дослідження статистичних властивостей трафіку корпоративних мереж зв'язку; дослідження завадозахищеності сегменту корпоративної радіомережі; дослідження характеристик вузлів мультисервісної мережі методом імітаційного моделювання.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) узагальнена структура сегменту корпоративної телекомунікаційної мережі з додатковим інформаційним захистом; модель взаємодії основних елементів мережі спеціального призначення; узагальнена інформаційна архітектура

мультисервісної інфокомунікаційної мережі спеціального призначення; трирівнева мережева модель МСП; схема реєстрації інформаційного трафіку в мультисервісній корпоративній мережі; структура імітаційної моделі сегменту корпоративної телекомунікаційної мережі; структурна схема імітаційної моделі сегменту корпоративної мережі підвищеної захищеності.

#### 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Кичак В.М., професор кафедри ТКСТБ		

#### 7. Дата видачі завдання 01 вересня 2021 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка технічного завдання	10.09.2021р.	
2.	Особливості побудови телекомунікаційних мереж спеціального призначення	17.09.2021р.	
3.	Дослідження статистичних властивостей трафіку корпоративних мереж зв'язку	01.10.2021р.	
4.	Дослідження завадозахищеності сегменту корпоративної радіомережі	29.10.2021р.	
5.	Дослідження характеристик вузлів мультисервісної мережі методом імітаційного моделювання	19.11.2021р.	
6.	Аналіз економічної ефективності розробки	30.11.2021р.	
7.	• Охорона праці та безпека життєдіяльності	06.12.2021р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	13.12.2021р.	
9.	Нормоконтроль МКР	14.12.2021р.	
10.	Попередній захист МКР, опонування МКР	17.12.2021р.	
11.	Захист МКР ЕК	20.12.2021р.	

Студент

\_\_\_\_\_

( підпис )

Щербацький Д.В.

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Кичак В.М.

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.391

Щербацький Д. В. Методи та моделі прогнозування завадозахищеності корпоративних телекомунікаційних мереж – магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка, освітня програма – Телекомунікаційні системи та мережі – Вінниця: ВНТУ 2021 р. 156 - стор., 33 – рис., 24 – табл., 32 – бібл. – українською мовою.

Проведено аналіз існуючих моделей трафіку та методів його обробки, заснованих на класичній теорії масового обслуговування. При цьому встановлено, що в сучасних інфокомунікаційних мережах трафік, як випадковий процес, має самоподібні властивості, що характеризується явно вираженими кореляційними властивостями інтервалів часу між заявками та інтервалів часу обробки заявок у вузлах мережі

Для оцінки впливу розміру черги на пропускну здатність системи масового обслуговування (або ймовірність блокування) використано модель самоподібного трафіку у вигляді рандомізованого пуасонівського потоку, у якого інтенсивність змінюється при зміні стану системи.

Запропоновано метод оцінки зменшення відношення сигнал / шум в умовах міжканальних завад для сучасних мереж IEEE 802.11. Розроблено модель для кількісної оцінки впливу міжканальних завад на бітову швидкість передачі.

Запропоновано метод розрахунку і отримані кількісні оцінки роботи мережі IEEE 802.11 в різних режимах, що зустрічаються в інженерній практиці

Ключові слова: модель інформаційного трафіку, система масового обслуговування, інфокомунікаційна мережа, відношення сигнал / шум, імітаційна модель, пропускну здатність, міжканальна завада, бітова швидкість передачі, корпоративна мережа.

## ANNOTATION

UDC 621.391

Shcherbatsky D. V. Methods and models of forecasting noise immunity of corporate telecommunication networks - master's thesis in specialty 172 - Telecommunications and radio engineering, educational program - Telecommunication systems and networks - Vinnytsia: VNTU 2021 156 - pp., 33 - fig., 24 - tab., 32 - bibl. - in Ukrainian.

The analysis of existing traffic models and methods of its processing based on the classical theory of queuing is carried out. It is established that in modern infocommunication networks traffic, as a random process, has self-similar properties, characterized by clearly expressed correlation properties of time intervals between requests and time intervals of application processing in network nodes

To estimate the impact of queue size on the capacity of the queuing system (or blocking probability), we used a model of self-similar traffic in the form of a randomized Poisson flow, in which the intensity changes when the state of the system changes.

A method for estimating the reduction of the signal-to-noise ratio in the conditions of inter-channel interference for modern IEEE 802.11 networks is proposed. A model for quantifying the impact of interchannel interference on bit rate is developed.

The method of calculation is offered and the quantitative estimations of work of the IEEE 802.11 network in various modes meeting in engineering practice are received

Keywords: information traffic model, queuing system, infocommunication network, signal / noise ratio, simulation model, bandwidth, interchannel interference, bit rate, corporate network.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	8
1 ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ .....	16
1.1 Концептуальні положення побудови та розвитку мереж спеціального призначення .....	16
1.2 Технології для побудови мереж спеціального призначення .....	18
1.3 Архітектура мереж спеціального призначення.....	24
1.4 Модель мережі спеціального призначення.....	28
1.5 Висновки до розділу 1 .....	38
2 ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРАФІКУ КОРПОРАТИВНИХ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ.....	41
2.1 Методи аналізу статистичних властивостей трафіку .....	41
2.2 Розрахунок часу очікування заявки у черзі під час обробки корельованого трафіку у вузлі мережі типу G/G/1 .....	53
2.2.1 Моніторинг трафіку мультисервісної мережі .....	54
2.2.2 Аналіз імовірно-часових характеристик вузла мультисервісної мережі .....	59
2.3 Висновки до розділу 2 .....	64
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ СЕГМЕНТУ КОРПОРАТИВНОЇ РАДІОМЕРЕЖІ .....	66
3.1 Постановка задачі моделювання .....	66
3.2 Модель міжканальних завад .....	68
3.3 Модель енергетичної характеристики радіосигналу.....	72
3.4 Імітаційна модель енергетичної характеристики радіоканалу.....	79
3.5 Модель деградації відношення сигнал/шум.....	80
3.6 Модель частотної характеристики тракту передавання.....	82
3.7 Сценарії використання мереж IEEE 802.11 .....	83

	3
3.8 Результати розрахунків і їх аналіз.....	86
3.9 Висновки до розділу 3 .....	90
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВУЗЛІВ МУЛЬТИСЕРВІСНОЇ МЕРЕЖІ МЕТОДОМ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ .....	91
4.1 Огляд засобів моделювання мереж зв'язку.....	91
4.2 Характеристики симулятора NS2 .....	92
4.3 Моделювання та обробка самоподібного трафіку симулятором NS2 .....	95
4.4 Висновки до розділу 4 .....	107
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	109
5.1 Оцінювання наукового ефекту.....	109
5.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи.....	112
5.2.1 Витрати на оплату праці.....	113
5.2.2 Відрахування на соціальні заходи .....	115
5.2.3 Сировина та матеріали.....	116
5.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі.....	117
5.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт .....	118
5.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт .....	119
5.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень .....	120
5.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей .....	121
5.2.9 Службові відрядження.....	122
5.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації.....	123
5.2.11 Інші витрати.....	124
5.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати.....	124
5.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи .....	125
5.4 Висновок до розділу 5.....	127
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	128
6.1 Технічні рішення з безпечного виконання робіт .....	129
6.1.1 Технічні рішення з організації робочого місця під час проектування .....	129



	4
6.1.2 Електробезпека виробничого приміщення.....	130
6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	131
6.2.1 Мікроклімат .....	131
6.2.2 Склад повітря робочої зони.....	133
6.2.3 Виробниче освітлення.....	133
6.2.4 Виробничий шум.....	134
6.2.5 Електромагнітні випромінювання.....	135
6.2.6 Психофізіологічні фактори .....	136
6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи корпоративних телекомунікаційних мереж в умовах дії загрозливих чинників НС.....	138
6.3.1 Дослідження безпеки роботи корпоративних телекомунікаційних мереж в умовах дії іонізуючого випромінювання .....	138
6.3.2 Дослідження безпеки роботи корпоративних телекомунікаційних мереж в умовах дії електромагнітного імпульсу .....	140
6.4 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи корпоративних телекомунікаційних мереж в умовах НС.....	141
6.5 Висновки до розділу 6 .....	142
ВИСНОВКИ.....	143
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	145
ДОДАТКИ.....	149
Додаток А Технічне завдання .....	150
Додаток Б Узагальнена структура сегменту корпоративної телекомунікаційної мережі з додатковим інформаційним захистом.....	151
Додаток В Модель взаємодії основних елементів мережі спеціального призначення .....	152
Додаток Г Узагальнена інформаційна архітектура мультисервісної інфокомунікаційної мережі спеціального призначення.....	153
Додаток Д Трирівнева мережева модель МСП.....	154

Додаток Е Схема реєстрації інформаційного трафіку в мультисервісній корпоративній мережі .....	155
Додаток Ж Структура імітаційної моделі сегменту корпоративної телекомунікаційної мережі.....	156
Додаток К Структурна схема імітаційної моделі сегменту корпоративної мережі підвищеної захищеності .....	157

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ATM (Asynchronous Transfer Mode) – асинхронний спосіб передачі даних

BGP (Border Gateway Protocol) – протокол граничного шлюзу)

BL (Base Layer) – базовий рівень

CBR (Constant Bit Rate) – постійний бітрейт

CBS (Committed Bust Size) – фіксований розмір буфера

CIR (Committed Information Rate) – фіксована інформаційна швидкість

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

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

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

FR (Frame Relay) – ретрансляція кадрів

GII (Global Information Infrastructure) – глобальна інформаційна інфраструктура

GRE (Generic Routing Encapsulation) – загальна інкапсуляція маршрутів

HTTPS (HyperText Transfer Protocol Secure) – розширення протоколу

HTTP для підтримки шифрування

IL (Infrastructure Layer) – інфраструктурний рівень

IP (Internet Protocol) – міжмережевий протокол

IPSec (IP Security) – [захист даних, що передаються через IP]

IPTV (Internet Protocol Television) – телебачення за протоколом Інтернет

ISDN (Integrated Services Digital Network) – цифрова мережа з інтеграцією служб

IS-IS (Intermediate System to Intermediate System) – протокол внутрішньої маршрутизації

L2F (Layer 2 Forwarding Protocol) – протокол естафетної передачі на другому рівні

L2TP (Layer 2 Tunneling Protocol) – протокол тунелювання другого рівня)

LDP (Label Distribution Protocol) – протокол розподілу міток MAC (Media Access Control) – керування доступом до середовища MPLS (Multiprotocol Label Switching) – багатопротокольна комутація за мітками

MWL (MidWay Layer) – проміжний рівень

NGN (Next Generation Networks) – мережі наступного покоління OSPF (Open Shortest Path First) – протокол динамічної маршрутизації найкоротшим шляхом

PPP (Point-to-Point Protocol) - протокол "точка-точка" (каналного рівня)

PPTP (Point-to-Point Tunneling Protocol) – тунельний протокол «точка»

QoS (Quality of Service) - якість обслуговування

RIP (Routing Information Protocol) – протокол маршрутизації (один із найпростіших)

RSVP (Resource ReSerVation Protocol) – протокол резервування мережевих ресурсів

RSVP-TE (Resource ReSerVation Protocol for Traffic Engineering) – модифікований протокол

RSVP для сигналізації SDH (Synchronous Digital Hierarchy) – синхронна цифрова ієрархія

SSL (Secure Sockets Layer) – рівень захищених сокетів

SSTP (Secure Socket Tunneling Protocol) – протокол безпечного тунелювання сокетів

TCP (Transmission Control Protocol) – протокол керування передачею

UDP (User Datagram Protocol) – протокол користувальницьких датаграм

VCI (Virtual Circuit Identifier) – ідентифікатор віртуального каналу

VoIP (Voice over Internet Protocol) – голосовий зв'язок через інтернет

VPI (Virtual Path Identifier) – ідентифікатор віртуального маршруту

VPN (Virtual Private Network) – віртуальна приватна мережа

WRED (Weighted random early detection) – виважене довільне раннє виявлення

ВОС – взаємодія відкритих систем

МСП – мережі спеціального призначення

ВНП – вузол надання послуг

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Домінантним підходом розвитку сучасних мереж зв'язку є підхід, заснований на концепції створення мереж нового покоління (NGN), що базуються на мультисервісних мережах. Цілком очевидно, що телекомунікаційні системи крім завдання встановлення та підтримування комунікацій у соціумі, а також між різними державними та недержавними структурами, покликані вирішувати завдання керування, підтримуючи функціонування різних інформаційних систем. При цьому конвергенція сучасних інформаційних та телекомунікаційних технологій призводить до створення інфокомунікаційних мереж спеціального призначення.

Керування мережами спеціального призначення з метою забезпечення високої якості надання послуг (QoS) вимагає розробки адекватних математичних моделей функціонування мережі. Ці моделі повинні бути динамічними і описувати основні процеси генерації повідомлень, що несуть певну інформацію від різноманітних джерел, процеси розподілу повідомлень (інформації) і процеси перенесення інформації між джерелом та одержувачами інформації. При цьому будь-які сучасні послуги, такі як передача голосу VoIP, широкосмуговий доступ в Інтернет, відео на запит, телебачення, що реалізується технологією IPTV, конференцзв'язок та ін, формують так званий термінальний потік, що надходить на відповідний вузол МСП. Сукупність таких потоків утворює мережевий інформаційний потік, який завдяки впливу різних випадкових чинників має яскраво виражений стохастичний характер і може бути адекватно описаний методами теорії масового обслуговування. Такий потік, званий трафіком, обробляється (обслуговується) у вузлі МСП також випадково, т.к. параметри трафіку та параметри стану вузла можуть бути відомі, як правило, на рівні завдання законів розподілу випадкових значень цих параметрів.

Проведені експерименти щодо аналізу структури потоків (трафіку) інфокомунікаційних систем нового покоління виявили, що досліджуваний трафік має чітку структуру типу VBR (variable bit rate), що призводить до високої

пачечності. Пачечність, як відомо, породжується кореляційними зв'язками тимчасових характеристик трафіку. У свою чергу явно виражені кореляційні властивості трафіку змушують як його математичні моделі використовувати випадкові процеси, що мають властивості фракталів. У вітчизняній літературі обмаль робіт, у яких аналіз мережевих вузлів МСП здійснюється з урахуванням фрактальних властивостей трафіку. У цій дисертаційній роботі робиться спроба заповнити цю прогалину, тому дослідження, проведені в ній, можна вважати дуже актуальними.

*Аналіз останніх досліджень.* Ступінь розробленості теми дослідження характеризується такими основними досягненнями. Інфокомунікаційні мережі зв'язку у складі галузі зв'язку та масових комунікацій являють собою багатовузлову систему, зі складною структурою та складом трафіку, що передається, а також системою керування та моніторингу. До таких мереж належать мережі передачі даних, широкосмугові бездротові мережі, відомчі мережі (зокрема мережі спеціального призначення (МСП)). Усі перелічені інфокомунікаційні мережі зв'язку виконують функції обробки, зберігання, транспортування різних видів трафіку із застосуванням єдиної транспортної інфраструктури.

Еволюція мереж передачі голосових повідомлень і даних поступово призвела до розробки різних проектів модернізації МСП, спрямованих на обмін трафіком Triple Play, з можливістю конвергенції традиційних мереж зв'язку з сучасними мережами передачі даних, що використовують як транспортні технології Ethernet, SDH, ATM або бездротові технології передачі даних IEEE 802.11 (Wi-Fi), IEEE 802.16 (WiMAX) [1].

Конвергенція трафіку та технологій його транспортування при використанні в мережах зв'язку дозволяє надавати користувачам широкий спектр послуг та додатків, дає можливість їх масштабування, створюючи згодом необхідні умови для побудови інфокомунікаційної основи МСП. Особливістю будь-яких сучасних мереж зв'язку, у тому числі МСП є зростання і різноманітність інформації, що передається. Як показано в дослідженнях [2-5] основними видами

сучасного трафіку є мультимедійні програми - відеотрафік IPTV, трафік мережі internet, відео-і аудіоконференції, IP-телефонія, відео на запит та інше. Збільшення обсягів і типів інформації, що передається, обумовлює трансформацію диференційованих за типом переданого трафіку МСП в єдині інфокомунікаційні мережі, які надають широкий спектр інформаційних і телекомунікаційних послуг, що реалізуються за допомогою програмно-апаратних комплексів, що об'єднують у собі всілякі дротяні та бездротові телекомунікації.

При цьому значущою особливістю МСП є вимоги до показників надійності та живучості, що визначають вибір структури мережі, а саме: надмірність засобів резервування обладнання та каналів зв'язку. Зокрема, структурна схема мережі повинна дозволяти приймати оперативні рішення щодо керування ресурсами при перевантаженнях та відмових. Архітектура МСП базується на стандартній багаторівневій структурі, що включає мережу доступу, транспортну мережу, вузли керування послугами, вузли інформаційних та телекомунікаційних служб. Функціонування абонентської та транспортної мереж передбачає реалізацію прозорої передачі між робочими місцями без будь-якого обробки її змісту. Основними елементами МСП є: інформаційні пристрої (сервери, міжмережові екрани), комунікаційна частина (обладнання комутації), трафік (контент, що транспортується), спецкористувачі (робочі місця). В даний час приділяється велика увага проблемі побудови мережі спеціального призначення, в якій складність полягає у виборі адекватної математичної моделі. Сучасний етап розвитку галузі інфокомунікацій має різні підходи до моделювання та проектування таких мереж. Існує трирівнева мережева модель [6], яка містить інфраструктурний, проміжний та базовий рівні, що становлять сукупність рівневих мереж.

Аналіз трафіку всіх рівнів МСП [7-12] показує, що марківські властивості трафіку виявляються лише за малих коефіцієнтів завантаження мережі. Тоді як мультимедійний трафік при значному мережному завантаженні має фрактальні властивості, зумовлені кореляційними зв'язками тимчасових параметрів [13].

У такому ключі все більш актуальними та перспективними стають завдання статистичного дослідження трафіку МСП, математичного аналізу параметрів реальних потоків трафіку та імітаційне моделювання МСП. Перелічені підходи покликані вирішити такі завдання, спрямовані на оптимізацію МСП: моніторинг мережі та керування її параметрами на описаних рівнях моделі МСП, аналіз трафіку на всіх рівнях МСП, розробка та уточнення методик розрахунку імовірнісно-тимчасових характеристик вузлів МСП при обробці фрактального трафіку.

Розв'язання завдань моніторингу та керування МСП вимагає формування досить суворого опису моделі МСП і процесів, що протікають у ній [14] з урахуванням їх динаміки. Процеси, що протікають у мережі, зокрема рух користувальницької інформації, утворюють трафік, а сукупність трафіку визначає особливості потоків, які мають виражений стохастичний характер. При організації керування та моніторингу мережі важливо мати інструменти, що дозволяють прогнозувати потоки інформації, при цьому як математичну модель трафіку і вузлів мережі успішно використовуються відповідні моделі систем масового обслуговування [7]. Де обслуговування трафіку визначається відповідними відомими параметрами, як правило, заздалегідь відомими хоча б приблизно в частині законів розподілу випадкових значень цих параметрів.

Багато наукових праць наведені математичні описи самоподібного трафіку, проте використання теоретичних результатів практично залишається дуже складним завданням, т.к. теорія масового обслуговування передбачає незалежність інтервалів часу між заявками та інтервалів обслуговування заявок, а фрактальність експериментального трафіку обумовлена сильними кореляційними зв'язками зазначених інтервалів. Значний внесок у розвиток принципів аналізу інфокомунікаційних мультисервісних мереж зв'язку (у тому числі спеціального зв'язку) та розробку методик з дослідження та керування трафіком внесли російські вчені В.М. Вишневський, В.Г. Карташевський, А.Є. Кучерявий, К.Є. Легков, О.М. Назаров, К.Є. Самуйлов, С.М. Степанов, К.І.



Сичов, О.І. Шелухін та інші зарубіжні вчені, такі як L. Kleinrock, T. Saaty, I. Norros, D. Cox, J. Keilson [10-18].

В окремому випадку, коли часові параметри – інтервали часу між заявками на обслуговування та інтервали часу обслуговування заявок незалежні, аналітичний аналіз роботи вузла мережі можна провести, моделюючи його як систему масового обслуговування  $G/G/1$ . Тоді час очікування заявки в черзі можна оцінити, вирішивши інтегральне рівняння Ліндлі [23], для якого необхідно мати одновимірні щільності ймовірностей інтервалів часу між заявками та інтервалів часу обслуговування заявок, які часто відомі з тим чи іншим ступенем невизначеності щодо параметрів цих щільностей, що обумовлено складністю та мінливістю процесів, що протікають у досліджуваній МСП [20]. У разі необхідно враховувати невизначеність знання щодо параметрів розподілів, зокрема застосувати інтервальний метод [2, 7], у якому невизначені параметри формуються певним діапазоном своїх можливих значень. Ефективність такого підходу для аналізу системи  $M/M/1$  показана у роботі [2], застосування інтервального методу для аналізу  $G/G/1$ ,  $G/D/1$  наведено у роботах [11, 13]. Зазначимо, що система  $G/D/1$  найбільше підходить для моделювання роботи вузлів МСП, т.к. Реалізація протоколів криптографічного захисту інформації має на увазі постійну довжину пакетів.

При аналізі трафіку з кореляційними зв'язками послідовностей інтервалів часу між заявками та інтервалів обслуговування заявок, як системи масового обслуговування загального виду  $G/G/1$ , ці послідовності можуть бути апроксимовані гіперекспоненційними розподілами  $H_2$ . Статистичні характеристики таких розподілів повинні враховувати кореляційні властивості вихідних послідовностей трафіку так, щоб залишилися справедливими умови застосування інтегрального рівняння Ліндлі.

Описані аналітичні моделі мережі спеціального призначення дозволяє при відомих розподілах трафіку, що визначають характер функціонування всіх рівнів мережі, розрахувати імовірісно-часові характеристики вузлів мережі для реалізації моніторингу та керування мережею онлайн режимі.

Оцінку аналітичних результатів дослідження вузлів мережі спеціального призначення, доцільно здійснити з використанням спеціалізованих платформ, що моделюють, що дозволяють відтворити на персональному комп'ютері роботу вузлів мережі або фрагментів провідних і бездротових мереж зв'язку при обробці реального трафіку, що володіє самоподібними властивостями. Інформація з описаного питання викладена у роботах [8, 14]. В якості середовища імітаційного моделювання застосована програма NS2, яка поєднує в собі: реалізації протоколів функціонування мереж, дозволяє описати для моделюваної мережі топологію, конфігурацію джерел та приймачів трафіку, а також параметри з'єднань. Розглянута у процесі дослідження імітаційна модель обробки реального самоподібного трафіку дозволяє оцінити імовірно-тимчасові характеристики обслуговування потоків. Знання цих характеристик дає інформацію для покращення параметрів мережевого керування та підвищення рівня якості обслуговування в мережі. Якість роботи мережі багато в чому обумовлено факторами, багато з яких носять випадковий характер і можуть не піддаватися строгому математичному аналізу.

Загалом проведений аналіз ступеня розробленості теми дослідження демонструє перспективність та необхідність проведення статистичного аналізу трафіку мереж спеціального призначення, а також виконання аналітичних розрахунків вузлів МСП та імітаційного моделювання мереж. В даному випадку пріоритет можна віддати імітаційному моделюванню в комп'ютерних програмах-симуляторах як швидшому способу вирішення питання без застосування реального обладнання. Аналіз існуючих досягнень в області, що вивчається, показує убогість матеріалів, пов'язаних з дослідженням трафіку МСП, що робить даний напрямок більш перспективним у плані вироблення методик формування впливів з керування трафіком і моніторингу об'єкта дослідження.

*Мета і завдання роботи.* Метою даної кваліфікаційної роботи є дослідження функціональних характеристик вузлів телекомунікаційних корпоративних мереж та оцінювання стану їх завадозахищеності, що забезпечує можливість оперативного визначення якості роботи телекомунікаційної мережі.

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

- аналіз існуючих моделей трафіку та методів його обробки, заснованих на класичній теорії масового обслуговування;
- аналіз методів математичного моделювання трафіку з використанням самоподібних випадкових процесів;
- розробка моделей самоподібного трафіку на основі процесів відновлення, що враховують кореляційні характеристики часових інтервалів трафіку,
- розробка методу аналізу систем масового обслуговування загального виду при обробці самоподібного трафіку;
- дослідження завадозахищеності сегменту корпоративної радіомережі.

*Об'єктом дослідження є інфокомунікаційні корпоративні мережі спеціального призначення.*

*Предметом дослідження є моделі систем масового обслуговування та методи аналізу характеристик функціонування вузлів МСП при обробці самоподібного трафіку.*

*Методи досліджень базуються на використанні: методи класичної теорії масового обслуговування для визначення масового обслуговування – середнього часу перебування заявки у черзі; моделі корельованого трафіку на основі пуасонівського рандомізованого потоку.*

*Наукова новизна одержаних результатів:*

1. З використанням методів регресійного аналізу показано, що формування пачок заявок на вході системи масового обслуговування здійснюється через кореляцію інтервалів між заявками. Причому позитивні значення коефіцієнтів кореляції сприяють виникненню пачки, а негативні призводять до зворотної тенденції.

2. Показано, що адекватною математичною моделлю самоподібного трафіку може бути процес відновлення з гіперекспоненціальним або ерлангівським розподілом миттєвих значень інтервалів часу між заявками, що враховує кореляційні властивості трафіку через індекс дисперсії потоку інтервалів часу.

3. Встановлено аналітичну модель, що дозволяє оцінити середнє загасання сигналів, що створюють перешкоди на цільовій площі радіопокриття при рівномірному розподілі джерел.

4. Запропоновано підхід, що дозволяє оцінювати ефекти міжканальних перешкод з урахуванням повної форми спектральної маски, як цільового сигналу, так і що перешкоджають сигналів суміжних мереж.

5. Запропоновано метод оцінки погіршення відношення сигнал / шум в умовах міжканальних перешкод для сучасних мереж IEEE 802.11. Розроблено модель для кількісної оцінки впливу міжканальних перешкод на бітову швидкість передачі.

Запропоновано метод розрахунку і отримані кількісні оцінки роботи мережі IEEE 802.11n / ac в різних режимах, що зустрічаються в інженерній практиці.

*Теоретична та практична значимість дослідження.* Теоретична значимість роботи насамперед у тому, що отримані результати дозволили побудувати методику аналізу імовірно-часових параметрів вузлів мережі спеціального призначення, які обробляють трафік, що характеризується самоподібністю, тобто складовими цієї методики є результати, що пояснюють виникнення пачечності трафіку сучасних МСП, моделі трафіку, засновані на синтезі оновлювального процесу, який враховує кореляційні властивості трафіку та довільні розподіли ймовірностей часових параметрів трафіку, моделі, які дозволили використовувати методи класичної теорії масового обслуговування для визначення масового обслуговування – середнього часу перебування заявки у черзі. Значним результатом є продемонстрована можливість оцінки іншого важливого параметра системи масового обслуговування – ймовірності блокування системи, розрахувати яку вдалося з використанням моделі корельованого трафіку на основі пуасонівського рандомізованого потоку. Практична значущість роботи, як і більшості робіт у галузі теорії телетрафіку, полягає у забезпеченні процесу проектування мереж адекватними моделями трафіку та методиками його аналізу.

# 1 ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

## 1.1 Концептуальні положення побудови та розвитку мереж спеціального призначення

В останні роки в різних корпораціях та відомствах спеціального призначення, де широко використовуються процеси інформатизації для забезпечення роботи їхніх департаментів та підрозділів, запроваджують різні інформаційні та інформаційно-довідкові системи, що реалізують різні інформаційні технології. У зв'язку зі швидким зростанням інформатизації корпоративні (або відомчі) інформаційні та інформаційно-довідкові системи стали трансформуватися у єдині інфокомунікаційні мережі спеціального призначення (МСП). Такі мережі надають широкий спектр інформаційних та телекомунікаційних послуг, які реалізуються за допомогою програмно-апаратних комплексів, що включають різні телекомунікаційні мережі. Таким чином забезпечується надання всім користувачам повного пакету послуг: обмін інформацією, її передача та доставка, обробка, зберігання та накопичення.

Існують різні мережі спеціального призначення, які відрізняються одна від одної потребами в ресурсах, розмахом, структурою, можливостями, реальною пропускною здатністю, безпекою та стійкістю. З розвитком корпоративних мереж передачі мови та даних, у різні роки були створені проекти зі створення сучасних телекомунікаційних мереж, спрямованих на обмін даними та мовленням, що інтегрують різні мережі передачі даних, документального обміну, телефонні та телеграфні мережі та призначені для об'єднання існуючих мереж на основі технологій ISDN, FR, IP та MPLS поверх SDH або ATM. Поєднання цих технологій при використанні в мережах зв'язку дозволяє надавати користувачам широкий спектр послуг, дає можливість нарощувати послуги і розширювати мережеві технології, що підтримуються, створюючи

таким чином необхідні умови для побудови телекомунікаційної основи мереж спеціального призначення.

Однак, в даний час при побудові МСП на основі концепцій мереж зв'язку наступного покоління (NGN) та глобальної інформаційної інфраструктури (GII), залежно від особливостей їх застосування, від вимог щодо забезпечення безпеки, такі мережі значно відрізняються від загального виду перспективної мережі зв'язку загального користування.

Власнику мережі зв'язку спеціального призначення може бути виділено ресурс нумерації із ресурсу нумерації мережі зв'язку загального користування.

Під мережами спеціального призначення будемо розуміти комплекс інфокомунікаційних систем, що надають широкий набір інформаційних та телекомунікаційних послуг з гнучким управлінням, створення та персоналізацію нових послуг за допомогою стандартизації інформаційних та мережевих рішень, що використовують універсальну транспортну мережу з розподіленою комутацією, надання інформаційних та телекомунікаційних послуг вузли та об'єднання з традиційними та існуючими мережами зв'язку [4].

Зазвичай у концепції побудови та еволюції будь-якої великої мережі електрозв'язку викладено рішення щодо формально ідентичних положень [8]: • призначення (основні функціональні завдання); • структура (на всіх рівнях ієрархії); • рекомендований комплекс технічних засобів (що передбачає вибір технологій передачі, комутації та обробки інформації); • перелік послуг, що підтримуються; • показники якості обслуговування трафіку; принципи сигналізації, синхронізації, тарифікації та технічної експлуатації; • основні напрями еволюції тривалу перспективу.

Жорсткі вимоги до показників надійності та живучості МСП визначають вибір структури мережі. Наприклад, лише на рівні транзитного фрагмента МСП між вузлами комутації можна створювати кілька (щонайменше двох) незалежних шляхів обміну інформацією. При цьому на рівні доступу, де часто використовують деревоподібну топологію, такий підхід навряд чи реалізований. Структура МСП має забезпечувати функцію мобільності абонентів, що може

бути реалізовано з урахуванням системи супутникового зв'язку. Крім того, структура мережі має бути орієнтована на оперативне розв'язання задачі керування ресурсами під час перевантажень та відмов.

Мережа спеціального призначення, як і будь-яка мережа зв'язку, в технічному відношенні має базуватися на певній сукупності апаратно-програмних засобів та лінійних споруд, що існують на даний момент у розпорядженні проектувальників. З урахуванням оголошеної концепції імпортозаміщення, очевидно, що для побудови МСП повинні використовуватися виключно вітчизняні технічні засоби, хоча галузь зв'язку навряд чи на даному етапі може реалізувати цю концепцію повністю. Вимога забезпечення максимально можливої (у межі – абсолютної) інформаційної безпеки може змусити розробників під час проектування МСП використовувати «старі» технології передачі. У роботі [5] наведено приклад того, як на Міжнародному телекомунікаційному форумі представником розвиненої в телекомунікаційному відношенні Південної Кореї була озвучена урядова теза про те, що мережа загального користування розвиватиметься на базі концепції NGN, а мережа для потреб державного керування – на базі технології комутації каналів. Таку заяву можна як дезінформацію для конкурентів (і потенційних противників), т.к. в даний час існують технології, що поєднують у собі переваги технологій комутації пакетів та комутації каналів.

## 1.2 Технології для побудови мереж спеціального призначення

VPN (Virtual Private Network) - це технологія побудови приватної мережі, що забезпечує захищений зв'язок логічної мережі поверх приватної або публічної при використанні високошвидкісного Інтернету [3]. Технологія VPN будується на «віртуальному» з'єднанні, яке маршрутизується через Інтернет із приватної мережі організації до віддаленого вузла або співробітника. Така організація технології передбачає встановлення з'єднання з спеціальним сервером з урахуванням мережі загального доступу з допомогою спеціальних програм. При

цьому в з'єднанні з'являється закритий від сторонніх канал обміну інформацією, створений за рахунок сучасних алгоритмів шифрування.

VPN – це з'єднання за схемою «точка-точка» всередині незахищеної мережі або поверх неї, яка організується за допомогою захищеного тунелю для обміну інформацією між користувачами та сервером. Використовуючи метод тунелювання, пакети даних передаються через загальнодоступну мережу як за звичайним двоточковим з'єднанням. Між кожною парою «відправник-одержувач даних» встановлюється певний тунель – безпечне логічне з'єднання, що дозволяє інкапсулювати дані одного протоколу пакети іншого (рис. 1.1).

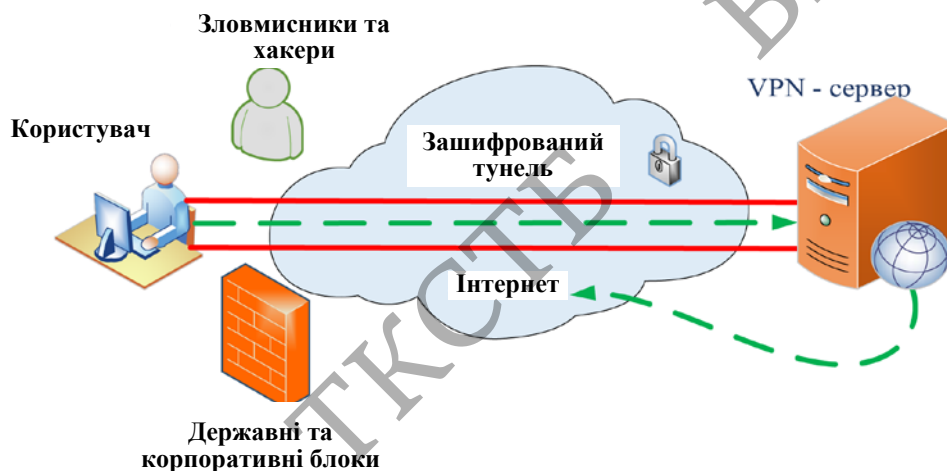


Рисунок 1.1 – Узагальнена структура сегменту корпоративної телекомунікаційної мережі з додатковим інформаційним захистом

Існує кілька видів VPN, які характеризуються на основі застосовуваних протоколів:

1) PPTP – тунельний протокол формату «крапка-крапка», за допомогою якого захищений канал накладається поверх звичайної мережі. З'єднання встановлюється за допомогою двох мережевих сесій: дані передаються через PPP за протоколом GRE, з'єднання ініціалізується та керується через порт TCP. Таке з'єднання важко налагодити у мобільних мережах. На даний момент мережа VPN, яка використовує такий вид протоколу, є найменш надійною. Тому



використовувати таку організацію VPN для мереж, де інформація має бути надійно захищена, не рекомендується.

2) L2TP – тунелювання 2-го рівня. Ця технологія є поліпшеним варіантом, розробленим на основі протоколу PPTP і L2F. Такий тип тунелювання здійснюється за допомогою алгоритму шифрування IPSec, а також при об'єднанні основного та керуючого каналів у єдину сесію UDP. Застосування такої технології є набагато безпечнішим.

3) SSTP – безпечне тунелювання сокетів з урахуванням SSL. За підсумками цього протоколу створюються надійні зв'язки через HTTPS. Для працездатності протоколу потрібен відкритий 443 порт, що дозволяє налагоджувати зв'язок з будь-якої точки, що навіть виходить за межі проксі [7].

VPN технологія представляє наступні можливості:

1) Використовуючи VPN реальний IP користувач змінюється на підставний, наприклад, що знаходиться за кордоном, і при використанні VPN цей користувач у мережі практично невидимий. Так, при заході на сайт або передачі даних, видно, що IP-адреса наприклад, не з Росії, а з Фінляндії. Тому такому користувачеві не страшні жодні блокування сайтів та обміну даними.

2) VPN використовує зашифроване з'єднання, при цьому ні провайдер, ні системний адміністратор мережі не дізнається, з ким з'єднувався користувач. Наприклад, якщо виходити в мережу без VPN, то вся історія серфінгу по сайтах, на які заходить користувач, буде видно системному адміністратору та/або провайдеру. При використанні VPN видно лише те, що користувач справді підключений через VPN, а більше нічого не відомо. При цьому хакери при перехопленні даних не зможуть розпізнати їх через шифрування [9].

Застосовуючи спільно шифрування трафіку та підміну IP, користувач стає повністю анонімним, а дані конфіденційними. технологія MPLS. Технологія MPLS (Multiprotocol Label Switching) являє собою механізм передачі даних, який включає різні властивості мереж з комутацією каналів поверх мереж з комутацією пакетів. Принцип технології полягає у спробі прискорити

пересування IP-пакетів, зберігаючи гнучкість IP мереж. За допомогою MPLS з'являється більше можливостей для надання додаткових послуг [6].

MPLS може керувати трафіком на каналному рівні, а на мережному рівні має властивості масштабованості та гнучкості протоколів, і тому MPLS зазвичай називають протоколом канално-мережевого рівня. Він був створений для багатофункціональної передачі даних користувачами мереж з комутацією каналів та мереж з комутацією пакетів.

Використання MPLS дає такі можливості:

- об'єднання ATM та Frame Relay с IP;
- побудова віртуальних приватних мереж (VPN);
- прискорене транспортування пакетів усередині мережі найкоротшими стандартними маршрутами;
- вибір та пошук шляхів з урахуванням переданих даних (Traffic Engineering).

В основі роботи технології MPLS лежить передача трафіку по мережі з використанням інформації, що міститься в мітках, які приєднуються до пакетів IP. При передачі застосовуються технології другого рівня, які характеризуються передачею кадрів, при цьому мітки розташовуються між заголовками другого та третього рівня. А якщо використовувати такі технології, як ATM, що базуються на передачі осередків, тоді мітки будуть знаходитися в полях ідентифікатора віртуального маршруту VPI та ідентифікатора віртуального каналу VCI.

Використання таких позначок дозволяє маршрутизаторам та комутаторам, що підтримують технологію MPLS, вибрати наступний крок у маршруті пакета без виконання процедури пошуку адреси.

Технологія MPLS може бути застосована до будь-якого протоколу мережного рівня, тобто. MPLS є інкапсулюючим протоколом, за допомогою якого можна транспортувати інформацію безлічі протоколів нижчих рівнів моделі OSI (рис. 1.2).

З рис. 1.2 випливає, що площина пересилання даних MPLS представлена у вигляді неповного рівня, яка розташовується в мережі IP, ATM або Frame Relay

між другим та третім рівнями моделі OSI, але при цьому не підпорядковується цим рівням. Таким чином, при організації MPLS одночасно на мережному рівні та на рівні ланки даних створюється додатковий рівень, який можна назвати рівень 2.5, на якому відбувається комутація за мітками [19].

Metro Ethernet – функціональна мережа величезних розмірів. Ця технологія заснована на базі 1-10 гігабіт Ethernet і на мережній архітектурі, що передбачає швидке зростання сервісів, що вимагають великої смуги пропускання, таких як відео IP і мультимедійні програми.

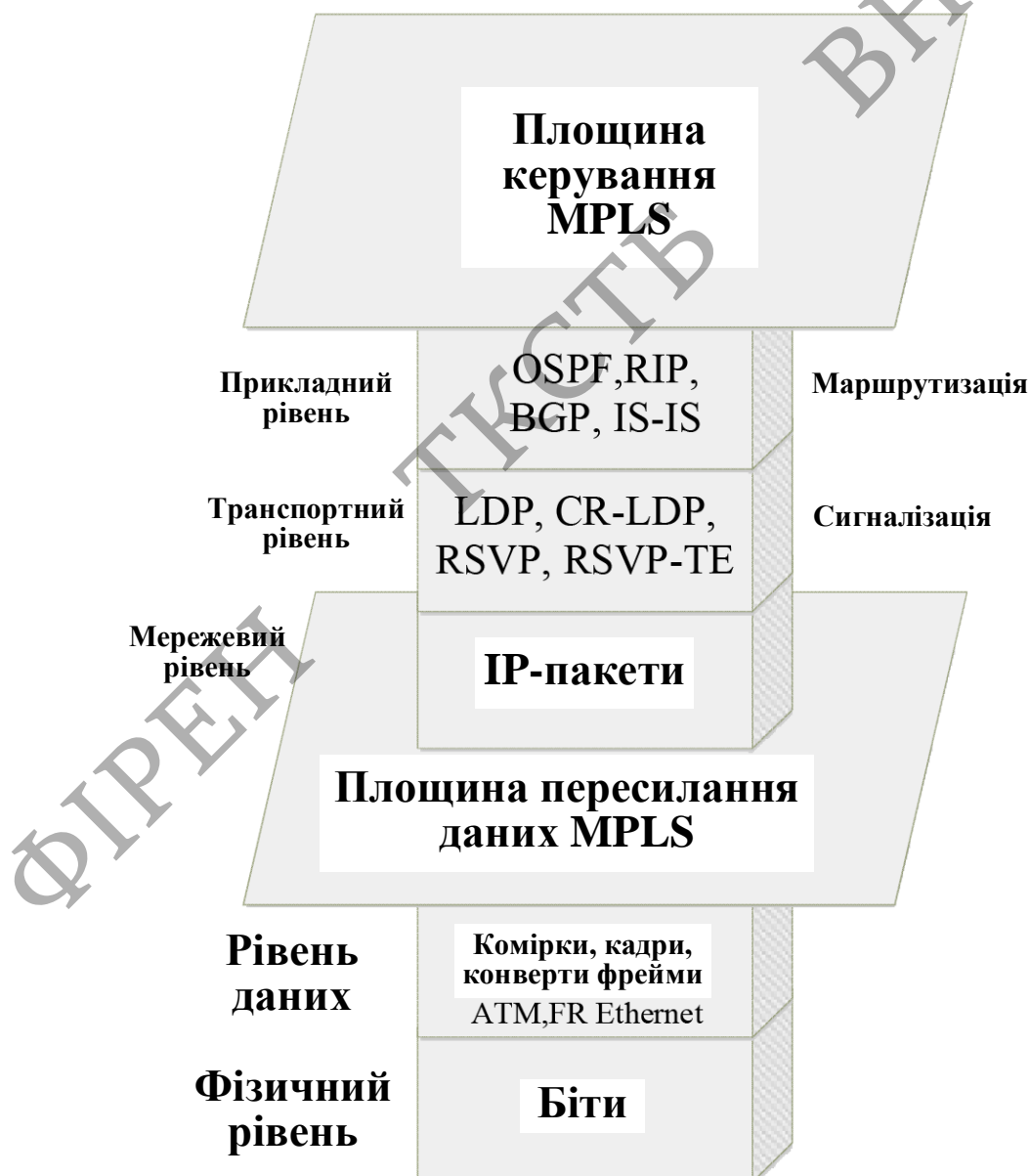


Рисунок 1.2 – Архітектура технології MPLS

Нині існують різні постачальники технології Metro Ethernet, які пропонують широкий спектр послуг. Тисячі абонентів користуються послугами Ethernet, і їхня кількість з кожним днем зростає. Цих абонентів залучають переваги послуг Ethernet, зокрема:

- простота використання;
- мінімальні витрати;
- гнучкість.

При розробці мереж Metro Ethernet в основі побудови лежить багаторівнева архітектура, що характеризується такими властивостями:

- ієрархічність – представлення мережі кількома рівнями, кожен відповідає за конкретні функції;
- модульність – рівні будуються на основі модулів, кожен модуль – це повноцінна функціональна одиниця, яка виконує функції відповідного рівня.

Можна виділити такі рівні архітектури мережі Metro Ethernet:

- ядро мережі – центральна частина, що відповідає за високошвидкісну комутацію трафіку;
- рівень агрегації – відповідає за сполучну функцію та функцію агрегації трафіку абонентів;
- рівень доступу – це функції підключення абонентів до мережі провайдера [7].

Мережі Metro Ethernet, що реалізуються у вигляді багаторівневої архітектури, забезпечують високу надійність функціонування, масштабованість та високу продуктивність.

Провайдери Metro Ethernet надають численні послуги для своїх клієнтів. Ця технологія пропонує великі можливості для впровадження нових послуг у разі «свіжих» сервісів, надає можливість швидко вводити їх у використання.

Корпоративні клієнти даної технології можуть отримати ряд послуг, таких як: високошвидкісний доступ в інтернет, відеоспостереження, відеоконференції, послуги IP-телефонії, віртуальні приватні мережі, віддалене навчання та ін.

Оскільки клієнтами можуть бути державні та приватні організації, для них головним фактором Вибір технології мережі є забезпечення безпеки та конфіденційності мережі. Тому при будівництві та організації мережі Metro Ethernet провайдер має максимально використовувати усі засоби захисту. У сучасних пристроях для цього можуть бути використані такі способи захисту:

- усілякі списки доступу;
- використання стандарту 802.1x для аутентифікації користувачів;
- використання функції Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) snooping, яка дозволяє запобігти несанкціонованому доступу до мережі стороннього DHCP сервера;
- застосування численних способів для запобігання підробці MAC-адрес;
- використання різних комплексів для захисту, розроблені виробниками (наприклад, розширення 802.1x компанії Cisco Systems та багато інших) [5].

### 1.3 Архітектура мереж спеціального призначення

Мережа спеціального призначення включає 4 елементи:

- інформаційні пристрої, виконують функції зберігання та обробки даних, надають доступ до інформації;
- комунікаційна частина, що відповідає за транспортування інформації між віддаленими пристроями, може бути реалізована у вигляді транспортної мережі та мереж доступу;
- власна інформація, представлена відеоінформацією, мовленням, даними, прикладним програмним забезпеченням, за допомогою якого можна перетворювати повідомлення вихідного вигляду (зображення, мовлення, відео) на електронний вигляд, який буде доступний для інших користувачів;
- спецкористувачі - джерела та передавачі інформації [18].

Взаємодія перелічених елементів можна так, як показано на рис. 1.3.

Платформа підтримки додатків являє собою обчислювальні засоби, що працюють спільно з операційними системами та прикладним програмним

забезпеченням, професійні процесори та кодеки. В основі побудови архітектури мережі лежать транспортна мережа (зазвичай дворівнева), мережі доступу, вузли керування послугами, вузли інформаційних та телекомунікаційних служб.

У сучасних МСП дворівнева транспортна мережа є мультипротокольною та дає можливість перенесення різних видів інформації із застосуванням різних протоколів передачі (ATM, FR, IP-MPLS over ATM), тобто надає універсальну послугу переносу, яка реалізує прозорість передачі інформації користувачів між мережними закінченнями. (мережами доступу) без будь-якого аналізу чи обробки її змісту.

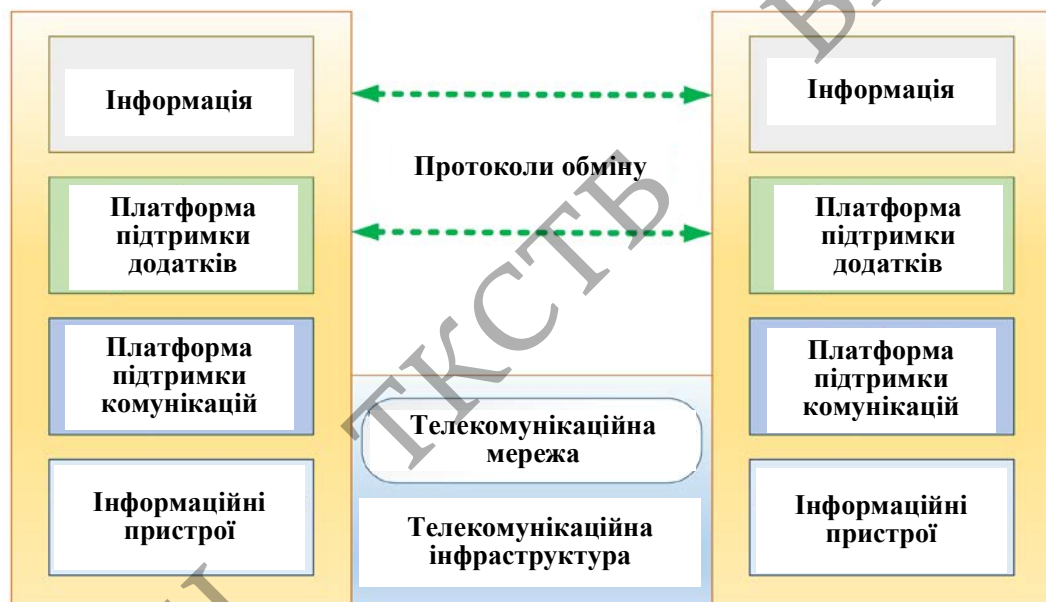


Рисунок 1.3 – Модель взаємодії основних елементів мережі спеціального призначення

У мережах спеціального призначення застосовується велика кількість програмно-апаратних засобів, необхідних надання інформаційних і телекомунікаційних послуг. Ці засоби дають можливість обмінюватися даними, мовленням, відео, здійснювати надання інформаційних послуг у будь-який час та із заданою якістю. За допомогою цих засобів можна також організувати взаємозв'язок між мережами з користувачами інших мереж.

У мережах спеціального призначення при запиті/активізації послуги спецкористувачем всі послуги характеризуються транзакціями. При санкціонованому доступі користувач може отримати повне право на використання цієї послуги.

Отримати доступ до послуг користувач може безпосередньо або за допомогою додатків. Програми повинні підтримуватись мережею, так само, як і послуги, зазвичай вони об'єднуються в пакети, щоб мати можливість надати для конкретного користувача необхідну послугу або надати доступ до програми.

Сучасні мережі спеціального призначення надають широкий спектр послуг, які можуть активно трансформуватися разом із зміною доступних ресурсів. Для цього необхідно класифікувати певні компоненти послуг, але при цьому кожен компонент послуги залежить від ресурсу, який використовується для її підтримки.

Загалом, МСП є поєднанням баз даних, засобів обробки інформації взаємодіючих мереж зв'язку і безліч терміналів користувачів. При цьому доступ до інформаційних ресурсів МСП надається послугами нового типу, які отримали назву інфокомунікаційних послуг.

Інфокомунікаційні послуги МСП від послуг традиційних мереж зв'язку технологічним побудовою. Можна перерахувати такі технологічні особливості:

- інфокомунікаційні послуги відносяться до верхніх рівнів моделі взаємодії відкритих систем (ВОС), на відміну від послуг традиційних мереж, що надаються на мережевому, транспортному, сеансовому та представницькому рівні;

- інфокомунікаційні послуги передбачають передачу мультимедійної інформації, для якої необхідна висока швидкість передачі та несиметричність вхідного та вихідного інформаційних потоків;

- більша частина інфокомунікаційних послуг має на увазі присутність клієнтської частини та серверної; клієнтська частина реалізується в устаткуванні користувача, а серверна - у спеціально призначеному вузлі мережі, що називається вузлом служб;

- для інфокомунікаційних послуг властива різноманітність прикладних протоколів та можливості керування послугами з боку користувача;
- з метою надання інфокомунікаційних послуг нерідко потрібні складні багатоточкові конфігурації мережевих з'єднань;
- для розпізнавання абонентів інфокомунікаційних послуг, переважно застосовується додаткова адресація у межах даної інфокомунікаційної послуги [4].

Більшість інфокомунікаційних послуг вважається «додатками», тобто. їхня працездатність розподілена серед обладнання «постачальника» послуги та термінальним обладнанням користувача. Тому функції термінального устаткування мають бути частиною інфокомунікаційної послуги, що слід брати до уваги за її регламентації.

Узагальнена інформаційна архітектура перспективної інфокомунікаційної мережі спеціального призначення представлена на рисунку 1.4. В її основі лежить універсальна транспортна мережа та мережі доступу, які функціонують на транспортному рівні та рівні керування комутацією та передачею.

Транспортна мережа містить:

- транзитні вузли, необхідні для перенесення інформації та комутації;
- кінцеві вузли, які дають можливість абонентам користуватися послугами транспортної мережі;
- контролери сигналізації, за допомогою яких відбувається обробка інформації сигналізації, регулювання викликами та з'єднаннями;
- шлюзи, необхідні для підключення традиційних мереж зв'язку;
- гнучкі багатопрокольні комутатори (softswitch).
- Кінцеві вузли транспортної мережі спеціального призначення можуть відігравати роль службових вузлів, таким чином вузли можуть мати розширені функції, що включають надання найпростіших телекомунікаційних послуг.
- Для організації кінцевих вузлів можна застосувати технологію гнучкої комутації (softswitch), що дає можливість поєднувати різні системи сигналізації.



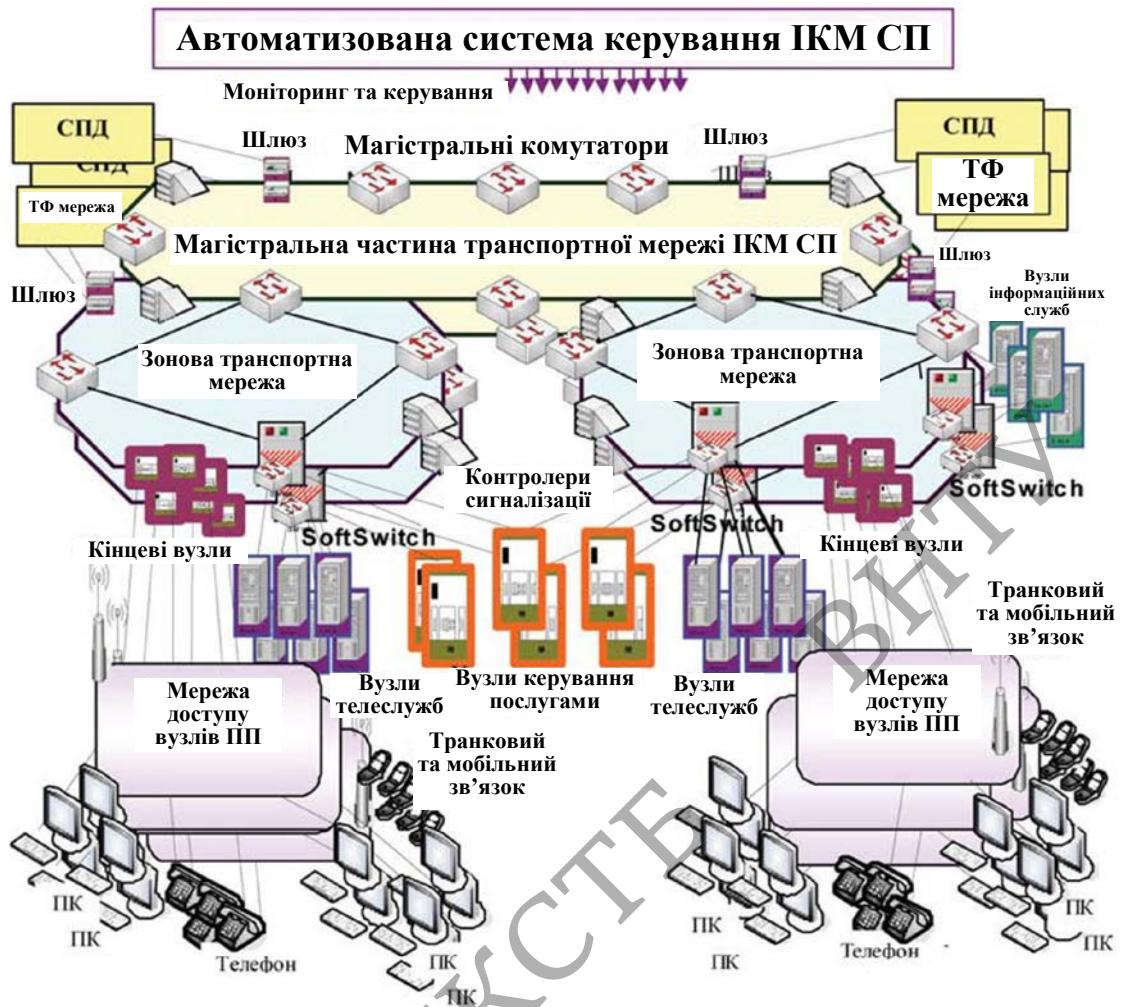


Рисунок 1.4 – Узагальнена інформаційна архітектура мультисервісної інфокомунікаційної мережі спеціального призначення

#### 1.4 Модель мережі спеціального призначення

На етапі проблеми побудови МСП приділяється велика увага. Проблема полягає у виборі адекватної моделі мережі спеціального призначення. На даному етапі розвитку інфокомунікацій існують різні підходи до побудови та моделювання таких мереж.

В [4] представлена трирівнева мережева модель (рис. 1.5). Дана модель містить інфраструктурний, проміжний і базовий рівні, які є сукупністю рівневих мереж.

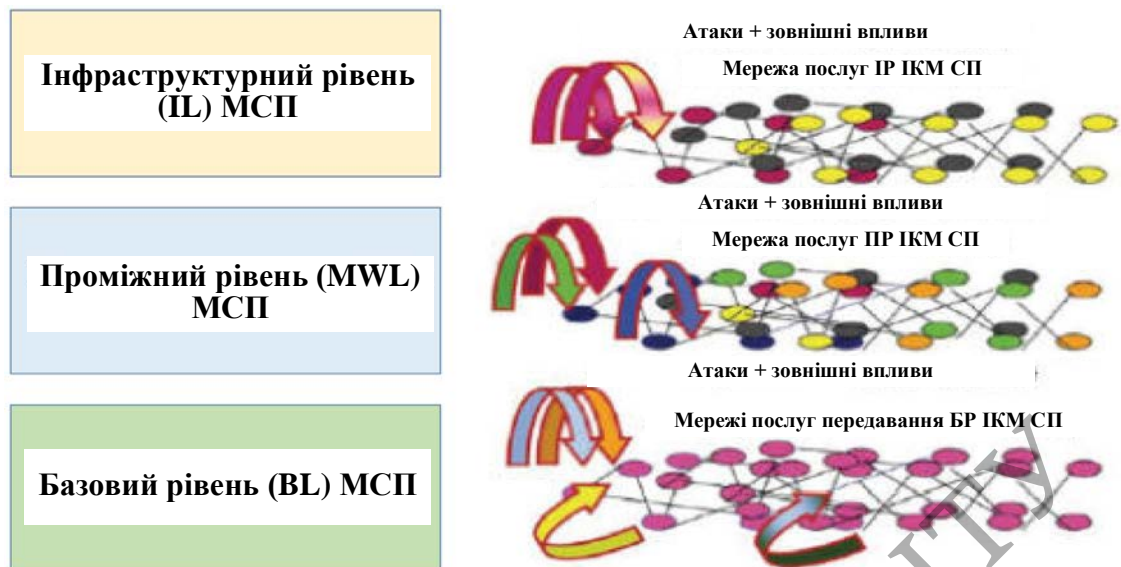


Рисунок 1.5 – Трирівнева мережева модель МСП

Базовий рівень, по суті, поєднує транспортну мережу, мережу доступу та мережі традиційного зв'язку (телефонну мережу, мережу передачі даних тощо), тому цей рівень є простою частиною мережевої моделі.

Проміжний рівень включає сервери, які відповідають за послуги безпеки, пошуку, аутентифікації. Сервера пов'язані з віртуальним каналом із певною пропускнуою здатністю.

За допомогою цього рівня організовується міжмережева взаємодія та поєднання компонентів послуг базового рівня, а також наявність бази для надання всього комплекту послуг.

Інфраструктурний рівень включає пакет мережевих послуг, які може забезпечити цей рівень, а також здатність швидко перебудовуватися при появі нових ресурсів і функцій [18].

Кожен рівень повинен виконувати основні завдання керування, які слід враховувати під час розробки математичного опису МСП як об'єкта керування. До таких завдань належать:

- 1) Керування продуктивністю рівня
- 2) Керування безпекою
- 3) Керування структурою та адресацією

4) Керування ресурсами рівня

5) Керування порушеннями.

До складу моделі входять компоненти (IL, MWL, BL) інфраструктурного, проміжного та базового рівня. Інфраструктурний рівень можна надати у вигляді мереж прикладних та інформаційних послуг та описати за допомогою графа:

$$G(Y_A H_b) \quad (1.1)$$

де  $Y_A = \{Y_{Ai}\}$  - безліч вузлів надання послуг інфраструктурного рівня;

$H_b = \{H_{bi}\}$  - безліч віртуальних каналів певної пропускної здатності.

До складу проміжного рівня входить комплекс мереж послуг middleware (послуги безпеки, білінгу, аутентифікації, пошуку, адресування), надається у вигляді графа:

$$G(J_A E_b) \quad (1.2)$$

де  $J_A = \{J_{Ai}\}$  - безліч вузлів надання послуг проміжного рівня;

$E_b = \{E_{bi}\}$  - множина віртуальних каналів певної пропускної спроможності.

Базовий рівень є сукупність транспортної мережі, мереж доступу, об'єктів і абонентських мереж, можна як графа:

$$G(R_A Q_b) \quad (1.3)$$

де  $R_A = \{R_{Ai}\}$  - безліч вузлів надання послуг базового рівня;

$Q_b = \{Q_{bi}\}$  - безліч віртуальних каналів певної пропускної здатності.

Формалізована структура МСП як об'єкта керування представлена на рис. 1.6. У мережу надходить потік запитів отримання відповідних послуг з інтенсивністю  $\Lambda_{ICN}$ , ці потоки є запитами на послуги інфраструктурного,

проміжного і базового рівня з інтенсивностями  $\Lambda_{IL}, \Lambda_{MWL}, \Lambda_{BL}$ . На виході мережі отримуємо потік оброблених запитів з інтенсивністю  $B_{ICN}$ , які включає оброблені запити кожного рівня з інтенсивностями  $B_{IL}, B_{MWL}, B_{BL}$ .

Потік запитів, що надходять на кожен рівень, можна розглядати як поєднану двополюсну віртуальну мережу (рис. 1.7). До представленого двополюсного елемента мережі входять два рівневі вузли надання послуг (ВНП), які з'єднані між собою віртуальним каналом. До кожного сайту приєднані користувачі послуг. Відмінною ознакою такої мережі є відсутність замкнутого внутрішнього трафіку. Загальну кількість користувачів двополюсного елемента мережі можна визначити так:

$$N = N_1 + N_2 \quad (1.4)$$

де  $N_1, N_2$  - кількість користувачів, підключених відповідно до УПУ1 та УПУ2.

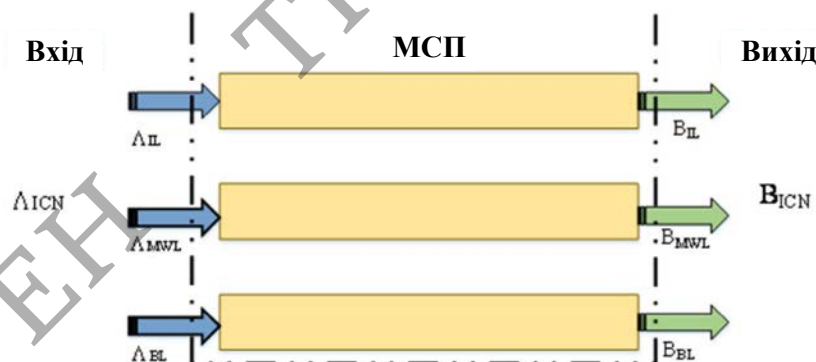


Рисунок 1.6 - Формалізована структура МСП

Вважатимемо, що сумарна середня інтенсивність потоку запитів (заявок) на обслуговування протягом інтервалу часу розгляду визначається величиною  $\lambda$ , яка залежить від загальної кількості користувачів  $N$ . Також будемо припускати постійну середню інтенсивність обслуговування запитів.



Рисунок 1.7 - Двополюсний елемент рівневого компонента МСП

Припустимо, що обидва ВВП «ідеальні», тобто. продуктивність обслуговуючих пристроїв прагне нескінченності, і обидва ВВП мають абсолютну стійкість, тобто. коефіцієнт готовності за всіма показниками стійкості (надійність, живучість, завадостійкість, інфостійкість тощо) прагне одиниці.

Тоді модель двополюсного елемента МСП можна зобразити в такий спосіб (рис. 1.8).

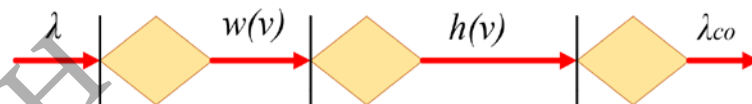


Рисунок 1.8 - Перетворена модель двополюсного елемента МСП

На виході МСП має потік одночасно обслуговуючих запитів з інтенсивністю  $\lambda_{co}$ , яка включає в себе інтенсивності обслуговуючих запитів  $B_{IL}, B_{MWL}, B_{BL}$ .

Для аналізу системи методами теорії масового обслуговування необхідно задати закони розподілу випадкових величин, таких як інтервали часу між надходженнями запитів ( $A(\tau)$ ), інтервалів часу обслуговування запитів ( $B(\tau)$ ), інтервалів часу справної роботи з необхідною якістю ( $C(\tau)$ ), інтервалів

відновлення після порушень функціонування ( $D(\tau)$ ) та інтервалів часу несвоєчасного обслуговування ( $F(\tau)$ ).

Задамо ці розподіли у вигляді (у даному розгляді для простоти обмежимося випадком показових розподілів):

$$\begin{aligned} A(\tau) &= 1 - e^{-\lambda\tau}, B(\tau) = 1 - e^{-\mu\tau}, C(\tau) = 1 - e^{-c\tau}, \\ D(\tau) &= 1 - e^{-d\tau}, F(\tau) = 1 - e^{-f\tau} \end{aligned} \quad (1.5)$$

з відповідними інтенсивностями  $\lambda, \mu, c, d, f$ .

Відношення (1.5) задають систему масового обслуговування типу  $M/M/K/V$  (в позначеннях Кендала) з пуасонівським вхідним потоком, показово-розподільним часом обслуговування, з числом обслуговуючих пристроїв  $K$  і розміром буферу  $V$  [2].

У припущенні «ідеальності» (всі коефіцієнти готовності прагнуть одиниці) системи масового обслуговування час затримки заявки у системі  $\tau_f$ , (час несвоєчасного обслуговування) визначається сумою часу очікування у черзі -  $\tau_w$ , і часу обслуговування заявки -  $\tau_\mu$  і т.д.

$$\tau_f = \tau_w + \tau_\mu \quad (1.6)$$

Відомо, що розподіл випадкового інтервалу часу  $f$  відповідно до виразу (1.6) за умови незалежності процесів надходження та обслуговування визначається згортою відповідних розподілів на часовій осі [3]. Переходячи до спектральної області (перетворенням Лапласа) для ймовірності своєчасного обслуговування  $Q$  згідно зі схемою рис.1.8 можна записати

$$Q(v) = w(v)h(v), \operatorname{Re} v \geq 0, \quad (1.7)$$

де  $v$  - комплексна змінна.

$w(v)$  - перетворення Лапласа функції розподілу часу очікування,

$h(v)$  - перетворення Лапласа функції розподілу часу обслуговування заявки.

Щодо використання виразу (1.7) слід зробити одне зауваження. Якщо, як у цьому розгляді, використовується марківський [32] характер процесів надходження та обслуговування заявки, то у припущенні  $K = 1$  (система  $M/M/1$ ) для функції розподілу можна записати [32]

$$W(y) = 1 - \rho e^{-\mu(1-\rho)y} \quad (1.8)$$

де  $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$  коефіцієнт завантаження системи  $\rho < 1$ .

Перетворення Лапласа виразу (1.8) досить просто з таблиць [25]. Для більш складної системи  $M/G/1$  ( $G$  символізує довільний розподіл інтервалів часу обслуговування заявки) у роботі [31] показано, що перетворення Лапласа щільності ймовірностей часу очікування в черзі визначається як

$$w^*(v) = \frac{v(1-\rho)}{v - \lambda + \lambda b^*(v)}, \quad (1.9)$$

де  $b^*(v)$  перетворення Лапласа щільності розподілу ймовірностей інтервалів часу обслуговування заявки.

Тому простого розв'язання рівняння (1.7) з урахуванням (1.9) немає. У реальній мережі зв'язку спеціального призначення існують інші процеси, пов'язані з відмовими. Процеси, які відбуваються у віртуальному каналі, вважатимемо перерахованими до деяких еквівалентів. Проаналізуємо процес відновлення віртуального каналу, що вийшов з ладу.

Якщо віртуальний канал звільниться в якийсь момент часу  $t$  за інтервал  $\tau$  запити не надходять, тоді канал може вийти з ладу з ймовірністю  $P(\tau) < 1$  у проміжку  $(t, t + \tau)$ . Припустимо,  $P(\tau) = 1 - e^{-\alpha\tau}$  де  $\alpha$  - інтенсивність справної

роботи за відсутності навантаження, а  $\alpha = \frac{1}{T_0}$  (де  $T_0$  - середній час справної роботи).

Можна вважати, що  $P(\tau) = C(\tau) = 1 - e^{-c\tau}$ .

Час відновлення віртуального каналу є випадковим. Припустимо, що функція розподілу часу відновлення має вигляд

$$F(\tau) = 1 - e^{-\varphi\tau} \quad (1.10)$$

де  $\varphi$  - інтенсивність відновлення за відсутності навантаження,  $\varphi = \frac{1}{T_B}$ ,

$T_B$  - середнє час відновлення за відсутності навантаження.

Визначимо тепер перетворення Лапласа від функцій розподілу, що використовуються в даному розгляді, тобто. від розподілу часу справної роботи, розподілу часу відновлення за відсутності навантаження та розподілу часу справної роботи мережі (при інтенсивності вхідного потоку  $\lambda$ ). З урахуванням (1.5) запишемо

$$\gamma(v) = \int_0^{\infty} e^{-v\tau} dC(\tau) = \frac{c}{v+c} \quad (1.11)$$

$$\Theta(v) = \int_0^{\infty} e^{-v\tau} dD(\tau) = \frac{d}{v+d} \quad (1.12)$$

$$\psi(v) = \int_0^{\infty} e^{-v\tau} dC_{\lambda}(\tau) = \frac{\lambda}{v+\lambda} \quad (1.13)$$

де  $C_{\lambda}(\tau) = 1 - e^{-\lambda\tau}$ .

Тепер, як показано в [3], з врахуванням схеми рис. 1.6 здійснюючи ряд перетворень, можна отримати

$$h(v) = \frac{\mu(v+d)}{(v+d)(v+\mu)+cv} \quad (1.14)$$



$$w(v) = \frac{(1 - \lambda h(v)) \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{v}{\lambda} \right) [1 - \psi(v)\theta(v)] \right\}}{\left[ h(v) - 1 + \frac{v}{\lambda} \right] [1 - \psi(v) + \lambda \psi(v)\theta(v)]} \quad (1.15)$$

Вирази (1.14) і (1.15) дозволяють з урахуванням (1.7) отримати перетворення Лапласа ймовірності своєчасного обслуговування вимог для будь-якого елемента рівня компонента [43]

$$Q_{Lelem}(v) = \frac{\mu - \lambda}{\mu - \lambda + v \left( 1 + \frac{\mu}{v + d} \right)} \quad (1.16)$$

Використовуючи відомі результати з теорії масового обслуговування для марківських систем [2], можна отримати значення середнього часу обслуговування заявок та середнього часу очікування у черзі у вигляді [43]

$$T_{\mu} = \frac{1}{\mu_e - \lambda} \left( 1 + \frac{\mu_e}{d} \right) \quad (1.17)$$

$$T_w = \frac{p_e + \mu_e T_0}{\mu_e - \lambda} \quad (1.18)$$

де  $\mu_e$  - середня інтенсивність обслуговування, розрахована при обліку процесу відновлення після «поломки» віртуального каналу. Наведеному розділі ця інтенсивність може бути отримана усередненням номінальної інтенсивності  $\mu$  та за розподілом  $C_{\lambda}(\tau)$

Для якісної роботи МСП обслуговування всіх запитів має відбуватися з деякою ймовірністю  $Q$ , що задовольняє граничну умову  $Q_{cp} < Q \leq 1$ . При виконанні умови простої вкладеності та незалежності процесів функціонування рівнів можна записати:

$$Q_{ICN} = \left( \prod_{i=1}^N Q_{IL}(i) \right) \left( \prod_{j=1}^N Q_{MVL}(j) \right) \left( \prod_{k=1}^N Q_{BL}(k) \right) \quad (1.19)$$

де  $Q_{IL}(i), Q_{MVL}(j), Q_{BL}(k)$  - ймовірності своєчасного обслуговування і-х запитів інфраструктурного рівня МСП, j-их запитів проміжного рівня МСП, k-их запитів базового рівня МСП.

Відповідно, середній час обслуговування запитів визначиться:

$$T_{ICN} = \frac{\eta_{IL}}{N_{IL}} \sum_{i=1}^{N_{IL}} T_{IL}(i) + \frac{\eta_{MVL}}{N_{MVL}} \sum_{j=1}^{N_{MVL}} T_{MVL}(j) + \frac{\eta_{BL}}{N_{BL}} \sum_{k=1}^{N_{BL}} T_{BL}(k) \quad (1.20)$$

де частки запитів за рівнями задовольняють умову  $\eta_{IL} + \eta_{MVL} + \eta_{BL} = 1$

$N_{IL}, N_{MVL}, N_{BL}$  - загальна кількість запитів на обслуговування для інфраструктурного рівня МСП, проміжного рівня МСП, базового рівня МСП за певний період роботи МСП.

Значення  $T_{IL}, T_{MVL}, T_{BL}$ , можуть бути визначені при вибраних показових розподілах, що визначають статистику функціонування рівнів, згідно з виразом (1.17)

$$T_{IL}(i) = \frac{1}{\mu_{eIL}(i) - \lambda_{IL}(i)} \left( 1 + \frac{\mu_{eIL}(i)}{d_{IL}} \right) \quad (1.21)$$

$$T_{MVL}(j) = \frac{1}{\mu_{eMVL}(j) - \lambda_{MVL}(j)} \left( 1 + \frac{\mu_{eMVL}(j)}{d_{MVL}} \right) \quad (1.22)$$

$$T_{BL}(k) = \frac{1}{\mu_{eBL}(k) - \lambda_{BL}(k)} \left( 1 + \frac{\mu_{eBL}(k)}{d_{BL}} \right) \quad (1.23)$$

де  $T_{IL}(i), T_{MVL}(j), T_{BL}(k)$  - середній час обслуговування і-го запиту інфраструктурного рівня МСП, j-го запиту проміжного рівня МСП, k-го запиту базового рівня МСП.

Описана модель мережі спеціального призначення дозволяє при відомих (або вимірних) розподілах випадкових параметрів, що визначають характер функціонування всіх рівнів мережі, розрахувати імовірно-тимчасові

характеристики вузлів мережі для реалізації сталого керування мережею в реальному масштабі часу.

Дослідження параметрів трафіку сучасних мультисервісних мереж (включаючи трафік всіх рівнів МСП) [9, 18] показує, що припущення про справедливість марківських властивостей процесів надходження та обслуговування трафіку можуть реалізовуватись на практиці лише за малих навантажень, за малої кількості користувачів і невисоких швидкостях передачі повідомлень (зазвичай за відсутності медіатрафіку). Причини невідповідності властивостей реального трафіку гіпотетичним марківським властивостям досить докладно описані в роботах багатьох авторів [5, 6, 7], де показано, що трафік сучасних мереж має фрактальні властивості, зумовлені в першу чергу кореляційними зв'язками параметрів трафіку і «важкими» хвостами статистики часових параметрів заявок на обслуговування на кожному рівні мережі. Звідси випливає, що актуальними завданнями для дослідження та моделювання роботи мереж зв'язку спеціального призначення є:

- моніторинг роботи мережі на інфраструктурному, проміжному та базовому рівні моделі МСП; - аналіз трафіку на кожному рівні, що враховує фрактальний характер [6, 7] трафіку,

- синтез методів розрахунку імовірісно-часових параметрів вузлів МСП при обробці фрактального трафіку з метою побудови адекватного прогнозу значень імовірісно-часових параметрів для вироблення керуючих впливів на режим функціонування мережі в реальному масштабі часу.

## 1.5 Висновки до розділу 1

1. Під мережами спеціального призначення розуміється комплекс інфокомунікаційних систем, що надають широкий набір інформаційних та телекомунікаційних послуг з гнучким управлінням, створення та персоналізацію нових послуг за допомогою стандартизації інформаційних та мережевих рішень, що використовують універсальну транспортну мережу з розподіленою

комутацією, надання інформаційних та телекомунікаційних послуг мережеві вузли та об'єднання з традиційними та існуючими мережами зв'язку.

2. Для побудови мереж зв'язку спеціального призначення можуть бути використані: - технологія VPN, що використовує протоколи тунелювання L2TP і SSTP, які дозволяють реалізовувати високий рівень безпеки сесій; - технологія MPLS, що поєднує в собі можливості мереж, організованих за принципом «мережа з комутацією» каналів поверх мережі з комутацією пакетів», - технологія Metro Ethernet, що дозволяє надавати послуги, що вимагають великої смуги пропускання (відео по IP та мультимедійні програми).

3. Архітектура мережі спеціального призначення характеризується чотирма елементами: – інформаційними пристроями, що виконують функції зберігання та обробки даних, що надають доступ до інформації; – комунікаційною частиною, що забезпечує транспортування інформації між віддаленими пристроями, реалізованою у вигляді транспортної мережі та мереж доступу; відеоінформацією, мовою, даними, прикладним програмним забезпеченням, за допомогою якого можна перетворювати повідомлення вихідного вигляду (зображення, мова, відео) в електронний вигляд, який буде доступний для інших користувачів, - спецкористувачами - джерелами і передавачами інформації.

4. Інфокомунікаційні послуги МСП від послуг традиційних мереж зв'язку технологічним побудовою. Особливості побудови: – інфокомунікаційні послуги відносяться до верхніх рівнів моделі взаємодії відкритих систем (ВОС), на відміну від послуг традиційних мереж, що надаються на мережевому, транспортному, сеансовому та представницькому рівнях; – інфокомунікаційні послуги передбачають передачу мультимедійної інформації, для якої потрібна висока швидкість передачі та несиметричність вхідного та вихідного інформаційних потоків, – більша частина інфокомунікаційних послуг має на увазі присутність клієнтської частини та серверної; клієнтська частина реалізується в устаткуванні користувача, а серверна - у спеціально призначеному вузлі мережі, що називається узлом служб, – інфокомунікаційні послуги характеризуються різноманіттям прикладних протоколів, можливістю керування

послугами з боку користувача, а також складною багатоточковою конфігурацією мережеских з'єднань та використанням додаткової адресації для розпізнавання абонентів.

5. Як модель мережі спеціального призначення розглядається трирівнева модель, що містить інфраструктурний, проміжний і базовий рівні, які є сукупністю рівневих мереж. Кожен рівень можна розглядати як об'єднану двополосну віртуальну мережу, характерною ознакою якої є відсутність замкнутого внутрішнього трафіку.

6. Аналіз якості функціонування двополосного елемента здійснюється за методами теорії масового обслуговування.

Розрахунок імовірно-часових характеристик вузлів мережі, таких як середній час затримки запиту на обслуговування у вузлі, середній час очікування у черзі, ймовірність блокування вузла через обмеженість розміру буфера або порушення функціонування (виникнення несправності), середній час відновлення працездатності вузла та ін., може бути вироблений аналітично в даний час тільки в припущенні марковського характеру випадкових процесів, що відбуваються в мережі.

Моніторинг роботи мережі на інфраструктурному, проміжному та базовому рівні показує, що марківська властивість процесів, що відбуваються в мережі, виконується виключно при малих завантаженнях вузлів разом із властивістю ординарності інформаційних потоків, що породжуються джерелом. У загальному випадку, всі випадкові процеси, що відбуваються в мережі, мають фрактальні властивості, які породжуються взаємозалежністю (в імовірнісному сенсі) процесів генерації та обробки трафіку, що циркулює в мережі.

Розробка методів аналізу імовірно-часових показників вузлів МСП з урахуванням фрактального характеру процесів, характеризуючих функціонування мережі, є актуальною проблемою, вирішенню якої присвячений матеріал інших розділів МКР.

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРАФІКУ КОРПОРАТИВНИХ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ

### 2.1 Методи аналізу статистичних властивостей трафіку

Вирішення більшості завдань керування МСП, що забезпечують необхідний рівень якості функціонування інфокомунікаційної мережі, що надає комплекс необхідних інформаційних та телекомунікаційних послуг різним користувачам мережі, обов'язково вимагає формування досить суворого формалізованого опису самої МСП та процесів, що протікають у ній [17]. При цьому опис основних процесів, що відбуваються в мережі, що викликають зміну її станів, має бути досить суворим та враховувати динаміку процесів.

Очевидно, основними процесами, що протікають у мережі, є процеси надходження, розподілу та перенесення інформації. Вимоги в сукупності з самою інформацією (повідомлення, дані, мова, відео-інформація, мультимедіа-інформація), що надходять від користувачів мережі на відповідні вузли МСП, утворюють термінальний потік, званий трафіком, а вся сукупність цих потоків визначає особливості мережевих інформаційних потоків у МСП, які з впливу цілого ряду випадкових чинників, носять явно виражений стохастичний характер.

При організації поточного керування мережі важливо вміти прогнозувати потоки інформації, що управляє, і, зокрема, одну зі складових цих потоків – потоки інформації про стан МСП та її елементів (вузлів, трактів мережі, обладнання вузлів і т.д.). При цьому як математичну модель трафіку та вузлів мережі успішно використовуються відповідні моделі систем масового обслуговування. [1, 3, 7]. Обслуговування трафіку у своїй визначається відповідними параметрами, зазвичай, заздалегідь відомими хоча б приблизно у частині законів розподілу випадкових значень цих параметрів.

На рис. 2.1 зображено фрагмент трафіку, що відображається послідовністю пакетів, що надходять на вхід деякого мережного вузла,

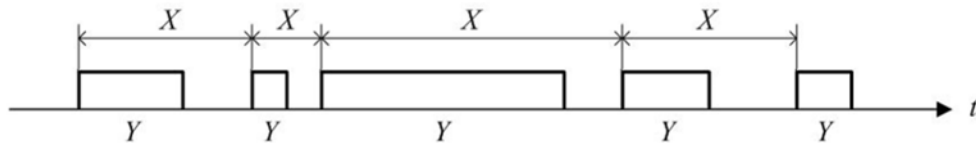


Рисунок 2.1 - Фрагмент трафіку

де  $X$  і  $Y$  - випадкові величини (з функціями розподілу  $W(x)$  і  $W(y)$ ), що позначають інтервали часу між надходженнями пакетів на вхід мережного вузла, і тривалість пакета відповідно.

З позиції теорії масового обслуговування розподілу  $W(x)$  і  $W(y)$  визначають характеристики вузла мережі та методи розрахунку цих характеристик, серед яких найбільш важливими є середній час затримки пакета у пристрої та ймовірність блокування пристрою. Слід зазначити, що класична теорія масового обслуговування передбачає незалежність елементів у послідовностях  $X$  і  $Y$ . [2, 3]

Природно, що найпростіший спосіб аналізу трафіку полягає в оцінюванні кількості пакетів, що прийшли на вхід обробного пристрою, в послідовно фіксовані однакові проміжки часу. Якщо ці виміри відобразити в координатах «число пакетів – відліки часу», то отримана залежність буде випадковим тимчасовим рядом (рис. 2.2), який іноді називають трасою [7].

Чим менше обрані для аналізу трафіку проміжки часу, тим ближче тимчасовий ряд, що отримується, буде до реалізації деякої випадкової функції.

На етапі початкового розвитку мереж (мала пропускна спроможність, невелика кількість джерел, що одночасно посилають пакети по мережі, відносно прості протоколи організації роботи мережі) задовільними моделями, що описують поведінку трафіку, були марківські моделі, згідно з якими випадковий час між пакетами та випадковий час обробки пакету описувалися показовими розподілами типу (1.5). Іншими словами, процес надходження пакетів і процес обробки пакетів мали властивості ординарності та відсутності післядії [9].

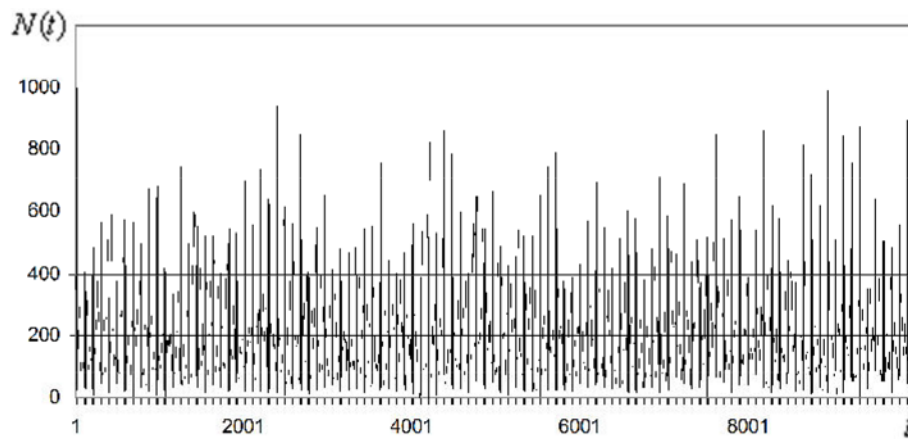


Рисунок 2.2 - Випадковий часовий ряд

З розвитком мережевих технологій характеристики трафіку ускладнювалися, і марківські моделі перестали бути адекватним описом реального трафіку, т.к. стали виявлятися кореляційні зв'язки інтервалів між пакетами, тобто. коефіцієнти кореляції для сусідніх та поруч розташованих інтервалів часу між пакетами ставали відмінними від нуля. Аналогічні властивості стали виявлятися і інтервалів часу обробки пакетів.

Більше того, на досить великому інтервалі часу часто відзначається певна візуальна схожість траси з періодичним процесом. Не вдаючись у фізичні причини такої поведінки трафіку (від абсолютно випадкових на вигляд реалізацій до майже періодичних), можна сказати, що найбільш адекватною математичною теорією, що описує реалізацію трафіку, є теорія фракталів [6, 7].

Термін фрактал (від латинського слова fractus – дробовий) був запропонований американським математиком Бенуа Мандельбротом у 1975 році для позначення нерегулярних самоподібних математичних структур.

Множина називається самоподібною, якщо вона складається з декількох компонентів, подібних до всієї цієї множини. Однак самоподібність – це хоч і необхідна, але далеко не достатня властивість фракталів.

Головна особливість фракталів полягає в тому, що їх розмірність не укладається у звичні геометричні уявлення, що ґрунтуються на поняттях топологічної розмірності. Фракталам характерна геометрична «порізаність».



Тому використовується спеціальне поняття фрактальної розмірності, запроваджене Хаусдорфом і Безікович [6].

Розмірність фрактальних об'єктів не є цілим числом, характерним для звичних геометричних об'єктів, і в більшості випадків фрактали нагадують об'єкти, які щільно займають реальний простір, але не повністю використовують.

Фрактальну розмірність  $D$  зазвичай пов'язують з деяким параметром, що характеризує аналізовану реалізацію часового ряду, і званим параметром Херста (позначається як  $H$ )

$$H = 2 - D \quad (2.1)$$

Для гауссівських реалізацій часового ряду співвідношення (2.1) точне, для решти розподілів – наближене.

Розрахунок показника Херста можна зробити за формулою, запропонованою Мандельбротом

$$R/S = (aN)^H \quad (2.2)$$

звідки

$$H = \frac{\log(R/S)}{\log(aN)} \quad (2.3)$$

де  $R$  - розмах накопиченого відхилення,

$S$ -середньоквадратичне відхилення ряду спостережень,

$N$ - число інтервалів спостережень, (передбачається  $N \rightarrow \infty$ ).

$a$ - деяка константа,  $a > 0$  (Херст емпірично розрахував цю константу для порівняно короткострокових часових рядів природних явищ як  $a \approx 0.5$ )

$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (2.4)$$

Тут  $\bar{Y}$  - середнє арифметичне ряду спостережень за  $N$  періодів,

$$\bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i \quad (2.5)$$

Розмах накопиченого відхилення є найважливішим елементом показника Херста, він обчислюється наступним чином

$$R = \max_{1 \leq k \leq N} (\Delta Y_k) - \min_{1 \leq k \leq N} (\Delta Y_k) \quad (2.6)$$

де  $\Delta Y_k$  - накопичене відхилення ряду  $Y$  від середнього значення  $\bar{Y}$

$$\Delta Y_k = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \quad (2.7)$$

Відношення  $R/S$  Херст назвав нормованим розмахом.

З (2.3) при заданому  $N$  слідує

$$\log R / S \approx H \log N + \log a \quad (2.8)$$

Тому параметр  $H$  (а заодно і невідому для розглянутого ряду константу  $a$ ) можна оцінити, зобразивши графік залежності  $\log R / S$  від  $\log N$ , і, використовуючи отримані точки, підібрати метод у найменших квадратів пряму лінію з нахилом  $H$ . Перетин отриманої прямої з віссю координат визначить значення  $\log a$ . Інші методи оцінки параметра Херста наведені в [3].

Величина показника Херста, який, в принципі, може приймати значення з інтервалу  $[0, 1]$  говорить про наступне [9]:

1, Якщо  $H=0,5$ , то часовий ряд, що вивчається, є «броунівським рухом», спостереження незалежні та мають гауссівський розподіл. Можна сказати, що в цьому випадку попередні відліки часового ряду не впливають на майбутні.

2. Якщо  $0 < H < 0,5$ , то проявляється тенденція «повернення до середнього». Тобто кожен наступний відлік прагне бути протилежним до попереднього. При цьому вважається, що часовий ряд дуже зашумлений.

3. Якщо  $H > 0,5$ , то спостереження є незалежними. Попередні відліки впливають на майбутні тим сильніше, чим далі  $H$  від  $0,5$ . Виникає довготривала пам'ять, коли він простежується сильний вплив відліків друг на друга.

Отже, тимчасовий ряд типу рис. 2.2, що характеризує трафік мережі, може мати фрактальні властивості.

Для використання методів класичної теорії масового обслуговування в аналізі характеристик мережевих вузлів необхідно встановити зв'язок самоподібних властивостей випадкового процесу з характеристиками випадкових інтервалів часу, зображених на рис. 2.1.

Розглянемо випадковий часовий ряд  $X(t)$ , що вимірюється в пакетах або байтах у момент часу (вважаємо для простоти значення цілими). Ряд  $X(t)$  вважатимемо стаціонарним у сенсі з кореляційної функцією  $B(\tau) = B|t_1 - t_2|$ , де

$$B(t_1 t_2) = E([X(t_1) - m] \cdot [X(t_2) - m]) \quad (2.9)$$

де  $m = E(X(t))$ ,

$$\sigma^2 = B(0) = E(X(t) - m)^2$$

Випадковий процес  $X(t)$  є суворо самоподібним другого порядку з показником Херста  $H$  ( $0,5 < H < 1$ ), якщо

$$B(k) = \frac{\sigma^2}{2} \left( (k-1)^{2H} + (k+1)^{2H} \right) \quad (2.10)$$

1. Якщо  $H > 1/2$ , то відліки часового ряду взаємозалежні, що породжує пам'ять процесу, при цьому кореляційна функція стає повільно згасаючою та апроксимацією для неї. може служити вираз

$$B(k) \cong k^{(2H-2)} L(k) \quad (2.11)$$

де  $L(k)$  - повільно змінюється функція. Кореляційна функція стає несумуючою, тобто  $\sum_k B(k) \rightarrow \infty$ , що визначає довготривалу залежність самоподібного часового ряду.

Можна показати [8], що довготривала залежність являється причиною піковості трафіку, коли протягом тривалого часу швидкість надходження пакетів на мережевий вузол дорівнює пропускній здатності каналу, що може призвести до переповнення буфера пристрою, втрати пакетів і збільшення затримки пакета всередині пристрою обробки.

2. Дисперсія вибіркового середнього згасає повільніше, ніж величина обернена розміру вибірки  $n$ .

Для звичайного (не самоподібного) процесу  $Z(t)$  дисперсія вибірки розміром  $n$  визначається як  $\sigma^2(Z_i^{(n)}) = \sigma^2 n^{-1}$  для будь-якого  $i$  де  $\sigma^2$  - дисперсія процесу  $Z(t)$ .

Для вибірки з самоподібного процесу  $Y(t)$  дисперсія  $\sigma^2(Y_i^{(n)})$  пропорційна  $n^{(2H-2)}$  при  $n \rightarrow \infty$ . Це говорить про те, що статистичні характеристики (середнє і дисперсія) будь-якої вибірки будуть сходиться тим повільніше, чим буде ближче до 1 параметр  $H$ .

3. Енергетичний спектр самоподібного випадкового процесу має ступеневий характер зміни поблизу нуля. Якщо визначити енергетичний спектр як

$$\Psi(\omega) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=-\infty}^{\infty} B(k) e^{-ik\omega} \quad (2.12)$$

то для самоподібного процесу буде характерна апроксимація виду

$$\Psi(\omega) \approx \omega^{-\gamma} L(\omega) \quad (2.13)$$

де  $L(\omega)$  - функція, що повільно змінюється, поблизу 0,  $0 < \gamma < 1$ .

Довготривала залежність у результаті передбачає, що  $\Psi(0) \rightarrow \infty$ , тоді як процесів, які мають властивістю самоподібності, при  $\omega = 0$  енергетичний спектр має кінцеве значення.

4. Самоподібні процеси, що володіють довготривалою залежністю, як правило, характеризуються одномірними розподілами з «важкими хвостами».

За визначенням випадкова величина  $X$  має розподіл з важким хвостом, якщо для ймовірності перевищенню порогу  $x$  справедливо

$$P(X > x) \cong cx^{-\alpha}, x \rightarrow \infty \quad (2.14)$$

де  $0 < \alpha < 2$  називають параметром форми,  $c$  - деяка позитивна константа.

Оскільки інтегральний розподіл може бути записаний у вигляді,

$$F(x) = 1 - P(X > x)$$

то з (2.14) випливає, що хвіст розподілу загасає за гіперболічним законом. Такі розподіли, як, наприклад, показовий та гаусівський, мають експоненційно спадаючий хвіст і тому називаються розподілами з легкими хвостами.

Головна особливість розподілів з важкими хвостами полягає в тому, що при  $0 < \alpha < 2$  їхня дисперсія нескінченна, а якщо до того ж  $0 < \alpha \leq 1$ , то і середнє значення теж нескінченно,

Як приклад наведемо розподіл, що часто використовується з важким хвостом, Парето, поданий на рис. 2.3. Щільність ймовірності даного розподілу має вигляд

$$w(x) = \frac{\alpha\beta^\alpha}{x^{\alpha+1}}; \alpha > 0, \beta > 0, x > 0 \quad (2.15)$$

де  $\alpha$  - параметр форми,

$\beta$ -параметр, що визначає мінімальне значення випадкової змінної  $x$ .

Інтегральна функція розподілу Парето записується як

$$W(x) = 1 - \left(\frac{\beta}{x}\right)^\alpha$$

При дослідженні мережевого трафіку найчастіше використовується випадок  $1 < \alpha < 2$  (з кінцевим середнім, рівним  $m = \frac{\alpha\beta}{\alpha-1}$ ).

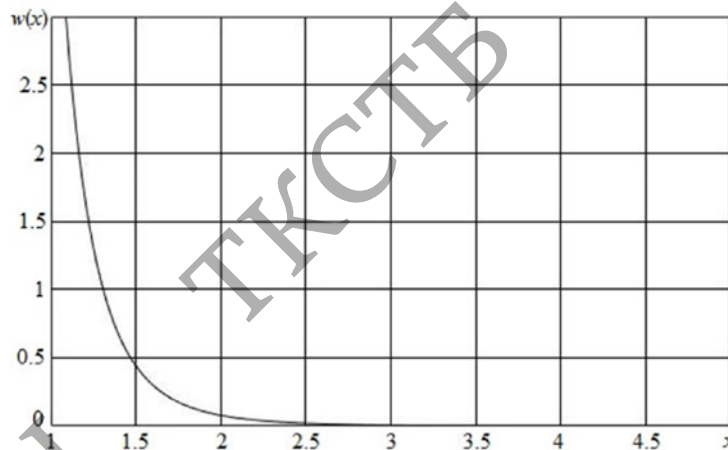


Рисунок 2.3 - Розподіл Парето з параметрами  $\alpha = 5, \beta = 1$

З іншими розподілами з важкими хвостами (зокрема, з розподілом Вейбулла та логнормальним розподілом) можна ознайомитись у довідниках, наприклад, у роботах [1, 6].

Для подальшого дослідження цікавить встановити взаємозв'язок моделей трафіку, заснованих на завданні виду розподілу ймовірностей для випадкових величин  $X_i, i = 1, 2, \dots, i$ , суть яких – інтервали часу між пакетами, з моделями як

тимчасового ряду, тобто . кількістю пакетів на момент часу  $t$ . Встановити взаємозв'язок цих моделей можна, ґрунтуючись на роботах [2, 3, 4].

Введемо до розгляду кількість подій  $N_t$  в інтервалі  $(0, t]$ , що починається з моменту настання довільної події (іншими словами – з моменту приходу довільного пакета на вхід вузла мережі), але не включає його. Процес  $N_t$  є нестационарним, тому що інтервал аналізу починається з нульового моменту часу. Зв'язок між послідовністю  $X_i, i=1, 2, \dots$  і процесом  $N_t$  задається відношенням [4]

$$P(N_t < r) = P(X_1 + X_2 + \dots + X_r > t), r = 1, 2 \quad (2.16)$$

(див. рис. 2.4 для випадку  $r = 4$ ).

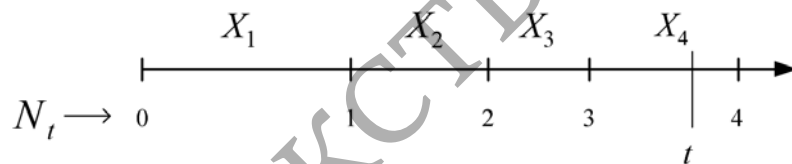


Рисунок 2.4 - До пояснення формули (2.16)

Використовуючи результати роботи [4], можна записати деякі співвідношення, необхідні надалі:

Середнє значення величини  $N_t$

$$E(N_t) = \sum_{r=1}^{\infty} rP(N_t = r) = \sum_{r=1}^{\infty} P(N_t \geq r) = \sum_{r=1}^{\infty} F_r(t) \quad (2.17)$$

де  $F_r(t)$  - інтегральна функція розподілу суми  $X_1 + X_2 + \dots + X_r$ .

Похідна за часу від  $E(N_t)$

$$\frac{dE(N_t)}{dt} = m_f(t) = \sum_{r=1}^{\infty} \frac{dF_r(t)}{dt} = \sum_{r=1}^{\infty} f_r(t) \quad (2.18)$$

де  $f_r(t)$  щільність ймовірності, що відповідає розподілу  $F_r(t)$ .

Для досить великих  $r$  (велике значення часового інтервалу  $t$ ), очевидно справедливо:  $\frac{X_1 + X_2 + \dots + X_r}{r} \approx E(X)$ .

Тому, навіть при нестационарному  $N_t$ , для великого  $t$  справедливо наближену рівність

$$E(N_t) \approx \frac{t}{E(X)} \quad (2.19)$$

яка для стаціонарного  $N_t$ , переходить у точну.

Отже, для стаціонарного випадку можна записати.

$$m_f(t) = m(t) = \frac{1}{E(X)} = m \quad (2.20)$$

Співвідношення між послідовностями  $X_i, i=1,2,\dots$  і  $N_t$  можна доповнити, враховуючи статистичні характеристики другого порядку (середні значення, дисперсії, кореляційні функції)

Якщо  $w(x)$  щільність ймовірності випадкової величини  $X_i$ , (при будь-якому номері  $i$ ), то справедливі відомі визначення:

$$E(X) = \int_0^{\infty} xw(x)dx - \text{середнє значення,}$$

$$\sigma^2(X) = \int_0^{\infty} x^2w(x)dx - (E(X))^2 - \text{дисперсія.}$$

Крім того, для характеристики випадкової змінної  $X$  вводиться поняття коефіцієнта варіації  $C(X)$ , що визначається співвідношенням



$$C^2(X) = \frac{\sigma^2(X)}{(E(X))^2} \quad (2.21)$$

Кореляційні властивості послідовності  $X_i, i = 1, 2, \dots$  задаються коефіцієнтом кореляції, запис якого враховує співвідношення (2.9) для кореляційної функції

$$R_k = \frac{F\{[X_i - E(X)] \cdot [X_{i+k} - E(X)]\}}{\sigma^2(X)} \quad (k = \dots, -1, 0, 1, \dots) \quad (2.22)$$

При аналізі послідовностей, володіючих самоподібними властивостями, часто розглядається індекс дисперсії інтервалів  $J_k$

$$J_x(n) = \frac{\text{Var}\left(\sum_{j=1}^n X_j\right)}{nm_x^2}, n \geq 1 \quad (2.23)$$

де використовуються позначення  $\text{Var}$  символ дисперсії,  $m_x = E(X)$ .

У разі, коли  $X_i, i = 1, 2, \dots$  є потік Пальма (тобто коли елементи послідовності незалежні), індекс дисперсії  $J_k$  має постійне значення  $C^2(X)$  при всіх  $k$ .

Аналогічно  $J_k$  вводиться  $I(t)$ - індекс дисперсії числа подій

$$I_x(t) = \frac{\text{Var}(N_x(t))}{\lambda_x t}, t > 0 \quad (2.24)$$

де  $\lambda_x$ - інтенсивність послідовності  $X_i, i = 1, 2, \dots$ , яка, як показано в [99], визначається як

$$\lambda_x = \frac{1}{m_x} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{d}{dt} E(N_x(t)) \quad (2.25)$$

Для пуассоновського потоку індекс  $I_x(t)$  дорівнює одиниці всіх  $t$ , тоді як потоків Пальма він асимптотично наближається до  $C^2(X)$ .

Якщо припустити, що є граничні значення вказаних індексів  $J_x = \lim_{t \rightarrow \infty} J_x(n)$  і  $I_x = \lim_{t \rightarrow \infty} I_x(t)$ , то, як показано в [4, 6], вони рівні і мають уявлення

$$J_x = I_x = C^2(X) \left[ 1 + 2 \sum_{j=1}^{\infty} R_x(j) \right] \quad (2.26)$$

У практичних дослідженнях індекси дисперсії використовуються шляхом оцінки їх значень за реальними спостереженнями та подальшим підбором відповідної моделі трафіку, яка узгоджується з індексом дисперсії, що спостерігається.

## 2.2 Розрахунок часу очікування заявки у черзі під час обробки корельованого трафіку у вузлі мережі типу G/G/1

Нагадаємо, класична теорія масового обслуговування при аналізі роботи вузла мережі, що моделюється системою G/G/1, передбачає, що інтервали часу між заявками, що надходять на обслуговування, утворюють послідовність незалежних випадкових величин. Аналогічне припущення про незалежність робиться й у послідовності інтервалів часу обслуговування заявок. Однак численні вимірювання, проведені на сучасних мультисервісних мережах, численні посилання на які можна знайти в роботах [6, 7] та ін, говорять про те, що припущення про незалежність зазначених послідовностей не виконується, і дані послідовності можуть мати яскраво виражені кореляційні властивостями. Крім того, розподіл даних інтервалів часу часто належать класу розподілів з «важкими хвостами». У сукупності із зазначеними кореляційними властивостями це змушує, як було показано вище, розглядати випадкові послідовності обговорюваних інтервалів як послідовності, що мають самоподібні властивості.

### 2.2.1 Моніторинг трафіку мультисервісної мережі

Будемо використовувати дані про статистику трафіку IPTV, зареєстрованого згідно зі схемою, зображеною на рис. 2.6, на рівні доступу та рівні агрегації [9, 12].

На схемі рис. 2.3 реєстрація трафіку проводиться у двох точках, що визначають функціонування мережі різних рівнях: у точці ТМ 1 (точка моніторингу) – реєстрація лише на рівні агрегації, у точці ТМ 2 – лише на рівні доступу. Так можна порівняти статистичні властивості агрегованого трафіку та трафіку, що надходить до окремих абонентів.

Істотну частину загального потоку трафіку від рівня ядра до рівня доступу сучасної телекомунікаційної мережі становить IPTV-трафік. Тому проаналізуємо агрегований у каналі передачі трафік та виділений із загального потоку відеотрафік IPTV. Потік перенаправляється методом дзеркалювання швидкості передачі 1 Гбіт/с в точку ТМ 1, де реєструється згідно зі схемою за допомогою програми WireShark. Кількість членів сумарного ряду складає 100 000 пакетів.

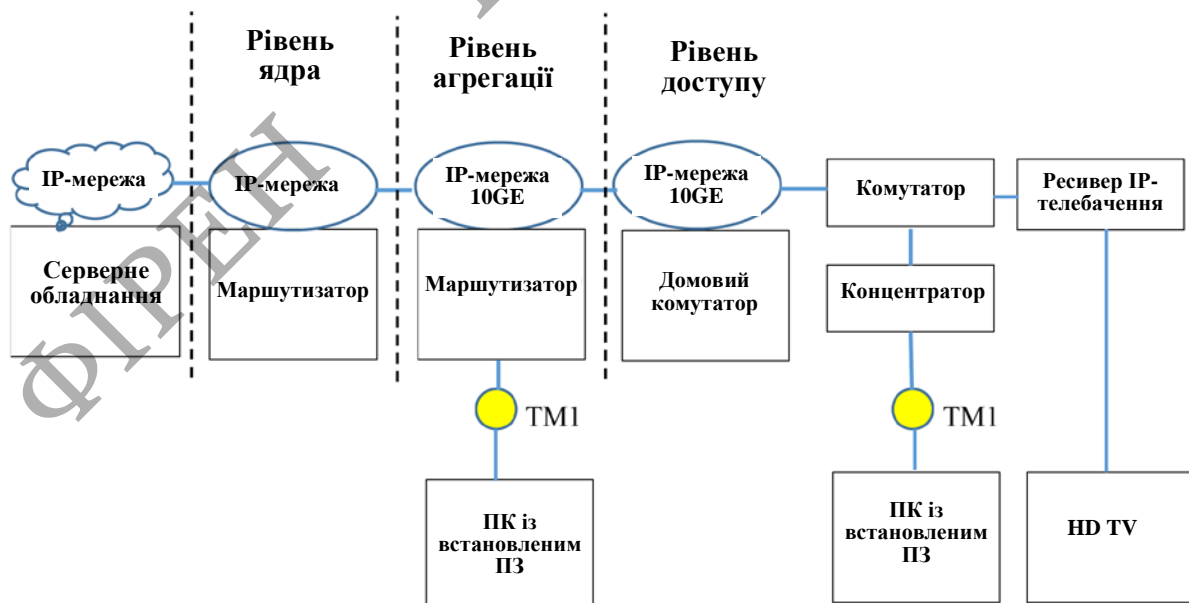


Рисунок 2.3 - Схема реєстрації інформаційного трафіку в мультисервісній корпоративній мережі

Реалізації трафіку IPTV для рівня агрегації та рівня доступу наведені у вигляді інтенсивності трафіку на рис. 2.4 та рис. 2.5 відповідно, де  $X(t)$  – кількість пакетів в одиницю часу.

Трафік рівня агрегації має більш нестабільну структуру в порівнянні з трафіком IPTV рівня доступу, оскільки останній передається користувачеві по виділеному каналу і службова інформація, що управляє, надходить лише в моменти запитів користувача, наприклад, у разі перемикання каналів (інтервал між 135 і 170 секундами, рис. 2.5).

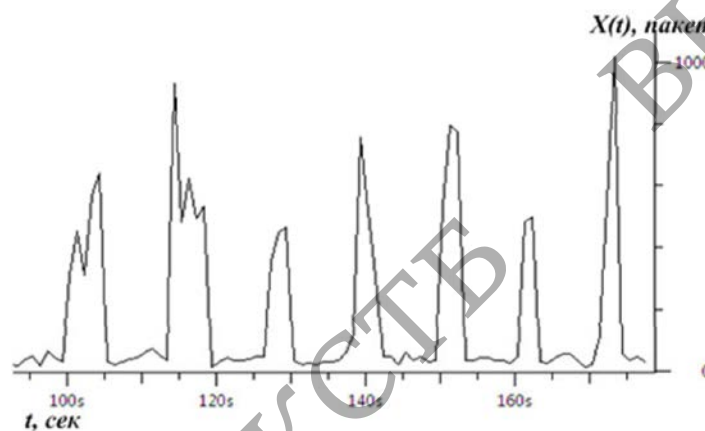


Рисунок 2.4 - Трафік рівня агрегації

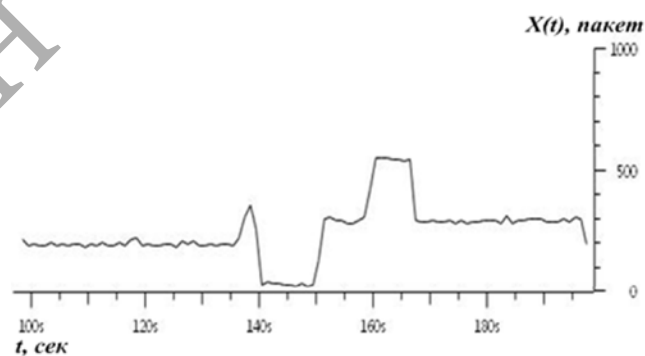


Рисунок 2.5 - Трафік рівня доступу

Для трафіку рівня агрегації характерне регулярне надходження службових пакетів поруч із інформаційними, трафік передається у загальному потоці

коїться з іншими видами трафіку Internet, що потребує постійного керування та контролю.

Коефіцієнти кореляції інтервалів часу між пакетами, що надходять, і розмірів пакетів (що еквівалентно тривалості пакетів) для рівня доступу наведені на рис. 2.9 і рис. 2.10. Для порівняння на рис. 2.11 наведено графік коефіцієнта кореляції, побудований за формулою (2.10) за значенням коефіцієнта Херста  $H = 0,65$ . Цей графік характеризує кореляційні властивості строго самоподібного випадкового процесу другого порядку.

Порівняння графіків рис. 2.6, рис. 2.7 і рис. 2.8 дозволяє стверджувати, що послідовності інтервалів часу між пакетами та інтервалів часу довжин пакетів мають самоподібні властивості.

Статистичні властивості інтервалів між пакетами характеризуються гістограмою, представленою на рис. 2.9.

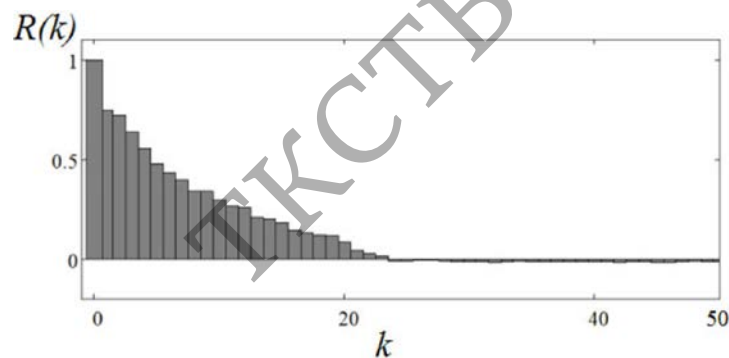


Рисунок 2.6 - Послідовність коефіцієнтів кореляції інтервалів часу між пакетами рівня доступу

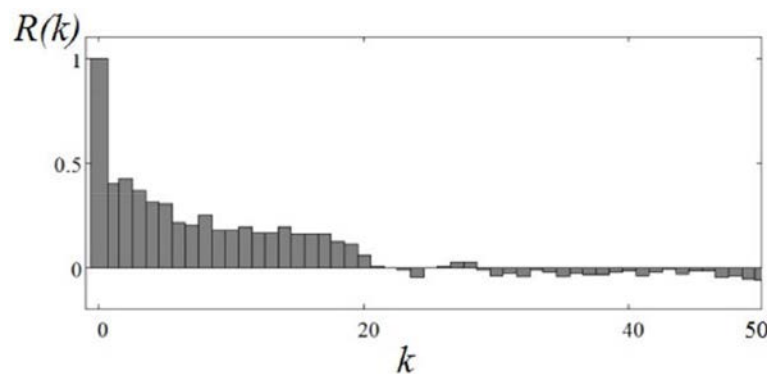


Рисунок 2.7 - Послідовність коефіцієнтів кореляції інтервалів тривалості пакетів рівня доступу

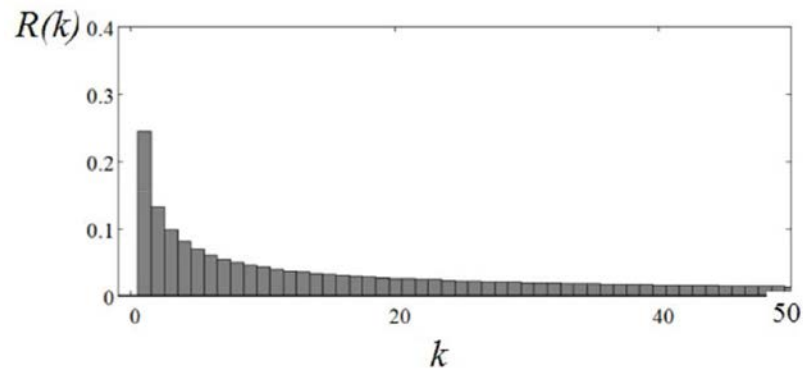


Рисунок 2.8 - Графік коефіцієнта кореляції  $R(k)$  самоподібного випадкового процесу з  $H = 0,650$

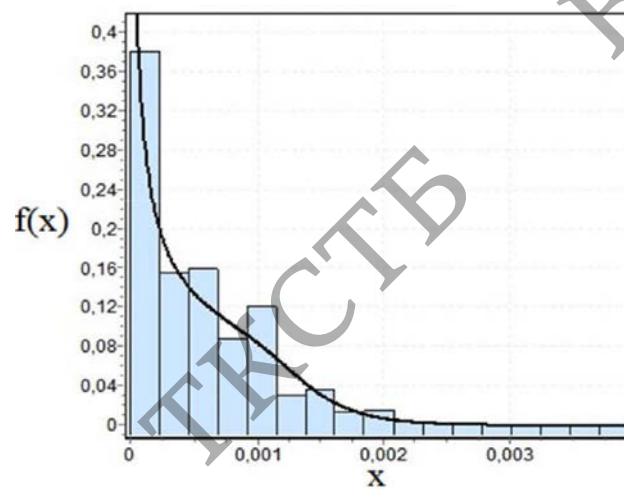


Рисунок 2.9 - Щільність ймовірностей інтервалів між пакетами

На рис. 2.9 суцільною лінією представлена апроксимація гістограми, побудована програмою EasyFit, за критерієм Колмогорова - Смирнова. Апроксимуюча щільність  $f(x)$  належить розподілу Дагума:

$$f(x) = \frac{\alpha k x^{ak-1}}{\beta^{ak} \left( 1 + \left( \frac{x}{\beta} \right)^a \right)^{k+1}} \quad (2.27)$$

де:  $k$  та  $a$ - параметри форми ( $k = 7.41$ , а  $a = 2.35$ ),  $\beta$  - масштабний коефіцієнт  $\beta = 0.00144$  область визначення функції:  $0 \leq x < +\infty$ .

Розподіл Дагума - розподіл, що рідко використовується, Обчислення параметрів цього розподілу можна знайти в роботі [7].

Гістограма довжин пакетів виділеного IPTV трафіку, представлена на рис. 2.13, має два явні піки, рознесених до областей малих та великих довжин пакетів, зосереджених в інтервалах: 60-145, 1360-1500 байт.

При цьому для апроксимуючої щільності доцільно використовувати розподіл суміші у вигляді

$$f(y) = P_1 \cdot f_1(y) + P_2 \cdot f_2(y) \quad (2.28)$$

причому як  $f_1(y)$  використовувати розподіл  $\chi^2$  (Хі-квадрат):

$$f_1(y) = \frac{y^{n/2-1} \exp(-y/2)}{2^{n/2} \Gamma(n/2)} \quad (2.29)$$

з  $n$  ступенями свободи (тут  $n=2$ ) і вагою  $P_1 = 0.19$ , а в якості  $f_2(y)$  використовувати  $\delta(y - y_2)$  дельта-функцію в точці  $y_2 = 1400$ , що відповідає другому піку, з вагою  $P_2 = 0.81$ . Тут  $\Gamma(\cdot)$ -символ гамма-функції.

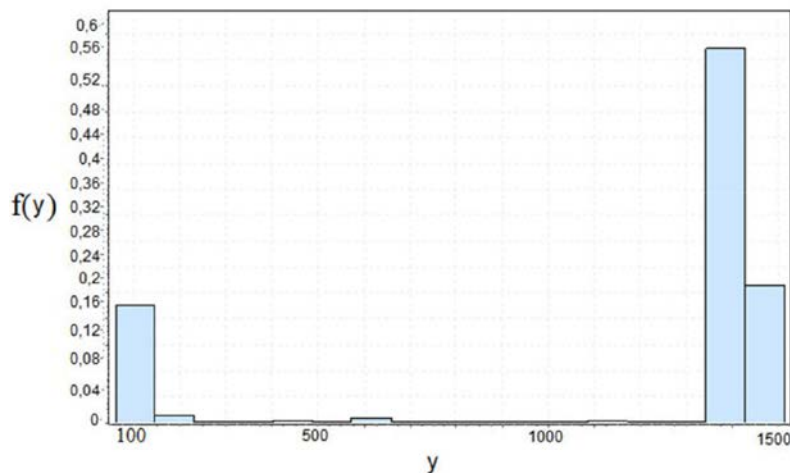


Рисунок 2.10 - Гістограма довжин пакетів виділеного IPTV трафіку

## 2.2.2 Аналіз імовірісно-часових характеристик вузла мультисервісної мережі

З матеріалів попереднього пункту випливає, що IPTV трафік на рівні доступу має самоподібні властивості, що пояснюється видом кореляційної функції послідовностей інтервалів часу між приходом пакетів та інтервалів довжин пакетів (рис. 2.9, 2.10) та відповідними щільностями ймовірностей розглянутих інтервалів.

Розрахуємо тепер середній час очікування пакета в черзі при обробці трафіку, що розглядається, системою G/G/1.

Спочатку визначимо параметри отриманих розподілів (2.27) та (2.28). Для розподілу Дагума згідно [7] маємо

$$E(x) = \bar{x} = m_x = \frac{\beta \Gamma(k+1/\alpha) \Gamma(1-1/\alpha)}{\Gamma(k)} \quad (2.30)$$

$$\sigma_x^2 = \frac{\beta^2}{\Gamma^2(k)} [\Gamma(k) \Gamma(k+2/a) \Gamma(1-2/a) - \Gamma^2(k+1/a) \Gamma^2(1-1/a)]$$

де  $E(x)$  - середнє,  $\sigma_x^2$  - дисперсія.

Відомо, що для розподілу Хі-квадрат  $E(y_1) = \bar{y}_1 = n$ , а дисперсія визначається як  $\sigma_{y_1}^2 = 2n$ , тому для розподілу можна записати

$$E(y) = \bar{y} = P_1 n + P_2 y_2$$

$$\sigma_y^2 = \bar{y}^2 - (\bar{y})^2 = P_1(\sigma_{y_1}^2 + (\bar{y}_1)^2) + P_2 y_2^2 - (P_1 n + P_2 y_2)^2 = 2P_1 n + P_1 P_2 (n - y_2)^2 \quad (2.31)$$

Далі необхідно врахувати, що результати експерименту представлені для різних одиниць вимірювання параметрів трафіку: проміжки між заявками, що надходять на обробку, представлені умовними одиницями часу, а тривалості обробки заявок охарактеризовані байтами. Дослідження системи доцільно провести, оперуючи одиницями часу, тому переведемо байти в умовні одиниці часу, ґрунтуючись на характеристиці системи, що визначає її завантаження



$p = \frac{\lambda_x}{\mu_y}$  де  $\lambda_x$ , і  $\mu_y$  - середня інтенсивність надходження заявок і середня

інтенсивність обробки заявок відповідно.

Зазвичай для реальних систем потрібно виконання умови  $0 < p < 1$ . Вибравши значення  $p$  із зазначеного діапазону, можна перейти до єдиної розмірності послідовностей  $X$  і  $Y$ . Коефіцієнтпереведення байт в умовні одиниці часу позначимо  $K_p$ . Тому вирази (2.31) перепишемо як

$$E(y) = \bar{y} = (P_1 n + P_2 y_2) K_p$$

$$\sigma_y^2 = 2P_1 n K_p + P_1 P_2 \left( (n - y_2) K_p \right)^2 \quad (2.32)$$

Отже, аналізована система типу  $G/G/1$  має відомі статистичні характеристики, що визначаються виразами (2.30) – (2.32) та графіками зміни коефіцієнтів кореляції відповідних послідовностей.

Як було показано вище, для того, щоб використовувати рівняння Ліндлі для визначення середнього часу очікування заявки в черзі в системі  $G/G/1$  з відомими кореляційними властивостями трафіку, необхідно корелювати послідовності використовуваних інтервалів «замінити» еквівалентними процесами, що оновлюють, у яких реальні щільності ймовірностей апроксимувати гіперекспоненційними розподілами, параметри яких враховують кореляційні властивості трафіку.

Апроксимуємо вихідний одновимірний розподіл миттєвих значень інтервалів часу між заявками (розподіл Дагума) гіперекспоненційним розподілом  $a_H(\tau)$  виду

$$a_H(\tau) = p \cdot \gamma_1 e^{-\gamma_1 \tau} + (1 - p) \cdot \gamma_2 e^{-\gamma_2 \tau}$$

Апроксимацію проведемо, прирівнюючи моменти вихідного розподілу Дагума і розподіл (2.33), використовуючи формули, в яких  $\lambda_x = \frac{1}{m_x}$  - і  $m_x$  -

середнє значення розподілу Дагума. При визначенні параметра  $A_H = \frac{C_x^2 - 1}{2} + C_x^2 \sum_{i=1}^{\infty} R_x(i)$  припустимо для простоти обчислень, що послідовність  $R_x(j), j = 1, 2, \dots$  (рис. 2.9) апроксимується арифметичною прогресією з кроком 0,05 починаючи з  $R_x(1) = 0.75$ . Тоді в сумі  $\sum_j R_x(j)$  можна залишити 15 членів, і використовуючи таблиці [22] для обчислення значень гамма-функції, знайдемо

$$A_H = 95.5$$

Це впливає з того, що  $\sum_j R_x(j) = 6$  і для розподілу Дагум при заданих значеннях параметрів розподілу (див. (2.27) та (2.30)).  $C_x^2 = \frac{\sigma_x^2}{m_x^2} \approx 14.7$  і  $\lambda_x = 192.3$

Декремент зміни дисперсії оновлюючого процесу визначаємо за формулою

$$a_H = \frac{2\lambda_x}{2A_H + 1} = 2.01$$

Знайдені значення  $A_H$  та  $a_H$  дозволяють визначити параметри розподілу оновлюючого процесу:

$$\gamma_1 = 1,01 \quad \gamma_2 = 384,35 \quad p = 0,99$$

При значенні  $p = 0,99$  вихідний розподіл Дагума корельованої послідовності інтервалів між заявками моделюється фактично однією експонентою.

Так можна звести завдання аналізу системи G/G/1 з корельованою послідовністю інтервалів часу між заявками із щільністю Дагума до аналізу системи  $H_2/G/1$  з некорельованою послідовністю інтервалів часу між заявками при гіперекспоненційній щільності ймовірностей миттєвих значень.

Так як послідовність інтервалів часу обробки заявок також мають виражені кореляційні властивості, то її можна аналогічним чином «замінити» оновлюючим процесом з гіперекспоненційним розподілом  $H_2$ , параметри якого враховуватимуть кореляцію апроксимірусної послідовності. Вважатимемо, що кореляція на осі умовних одиниць часу і осі байт однакова.

Тут гіперекспоненційний розподіл запишемо у вигляді

$$b_B(\tau) = q\mu_1 e^{-\mu_1 \tau} + (1-q)\mu_2 e^{-\mu_2 \tau}$$

Послідовність коефіцієнтів кореляції, що відповідає рис. 2.10, також представимо арифметичною прогресією, починаючи з першого відліку  $R_y(1) = 0.45$  з тим самим кроком 0,05, так, що в сумі  $\sum_j R_y(j)$  буде 9 доданків.

Для того, щоб розрахувати коефіцієнт варіації  $C_y^2$ , що відповідає розподілу суміші (2.28), необхідно знати коефіцієнт  $K_p$ , значення якого визначається параметром завантаження системи  $\rho = \frac{\lambda_x}{\mu_y}$ .

Візьмемо для визначеності  $\rho = 0.45$ . Тоді при відомих  $\lambda_x$ , і  $\mu_y$ , отримаємо

$$K_p = 0.29 \cdot 10^{-6}, \text{ і для } C_y^2 = \frac{\sigma_y^2}{m_y^2} - \text{відповідно до співвідношення (2.32) маємо } C_y^2 = 2.61$$

Далі, надходячи аналогічно попередньому можна отримати:

$$q = 0.98, \mu_1 = 5939.4, \mu_2 = 121.2.$$

Отже, замість системи  $G/G/1$  з корельованими послідовностями інтервалів часу, де обом символам  $G$  відповідали розподіли не експоненціального виду, отримана система  $H_2/H_2/1$  з гіперекспоненціальними розподілами для некорельованих послідовностей інтервалів часу. Аналіз отриманої системи  $H_2/H_2/1$  може бути легко здійснений шляхом вирішення інтегрального рівняння Ліндлі методом.

Можна показати, що середній час очікування заявки у черзі може бути розрахований за формулою [3]

$$\bar{T} = \frac{(z_2 - \mu_1) + \frac{z_2 \cdot \mu_1}{z_1 \mu}}{\mu_1 z_2} \quad (2.33)$$

де  $z_1$  і  $z_2$  - це від'ємні нулі функції  $H(S) = \left[ \sum_{i=1}^2 \frac{a_i}{s - \gamma_i} + \sum_{j=1}^2 \frac{b_j}{\mu_j + s} \right]$ , а коефіцієнти  $a_i$  і  $b_j$  знаходять за формулами

$$a_1 = \frac{\mu_1 p q}{\gamma_1 + \mu_1} + \frac{\mu_2 p (1 - q)}{\gamma_1 + \mu_2}, a_2 = \frac{\mu_1 (1 - p) q}{\gamma_2 + \mu_1} + \frac{\mu_2 (1 - p) (1 - q)}{\gamma_2 + \mu_2}$$

$$b_1 = \frac{\gamma_1 p q}{\gamma_1 + \mu_1} + \frac{\gamma_2 p (1 - q)}{\gamma_2 + \mu_1}, b_2 = \frac{\gamma_1 (1 - p) q}{\gamma_1 + \mu_2} + \frac{\gamma_2 (1 - p) (1 - q)}{\gamma_2 + \mu_2}$$

Нулі функції  $H(S)$  визначаються рішення алгебраїчного рівняння третього ступеня щодо змінної  $s$ . Для розрахованих вище значень параметрів  $\gamma_1, \gamma_2, \mu_1, \mu_2$ ,  $p$  та  $q$  середній час очікування у черзі становить  $\bar{T} = 0,039$  умовних одиниць часу.

Оцінимо вплив кореляційних залежностей  $R_x(j)$  та  $R_y(j)$  на час очікування заявки у черзі.

Якщо обидві послідовності  $X$  і  $Y$  не мають кореляційних властивостей, то для того, щоб скористатися формулою (2.33), необхідно просто апроксимувати систему  $G/G/1$  системою  $H_2/H_2/1$ . Для реалізації такої апроксимації можна скористатися вище наведеною методикою, розрахувавши спочатку параметри  $\gamma_1, \gamma_2, \mu_1, \mu_2$ ,  $p$  та  $q$ .

При цьому для  $C_x^2 = 14.7$  отримаємо  $\gamma_1 = 3746.4$ ,  $\gamma_2 = 1786.3$ ,  $p = 0.63$  і для  $C_y^2 = 2.61$ , відповідно -  $\mu_1 = 5060.6$ ,  $\mu_2 = 1000$ ,  $q = 0.835$ .

Розрахунки за формулою (2.33) дають значення часу очікування заявки в черзі, що дорівнює  $\bar{T} = 0,005$ .

Порівняння двох значень  $\bar{T}$  показує, що наявність кореляційних зв'язків усередині послідовностей інтервалів часу між заявками та інтервалів часу обробки заявок у даному конкретному прикладі збільшує середній час очікування у черзі майже у 8 разів.

### 2.3 Висновки до розділу 2

1. Розглянуто методи аналізу статистичних властивостей трафіку. Показано, що адекватний опис трафіку, як випадкового процесу, сучасних (і проєктованих) МСП може бути дано із застосуванням методів теорії фракталів, зокрема з використанням самоподібних випадкових процесів, параметри часових інтервалів яких описуються розподілами з «важкими» хвостами. Введення на розгляд поняття «параметр Херста» дозволило класифікувати залежність відліків часового ряду, що описує мережевий трафік.

2. Встановлено взаємозв'язок моделей трафіку, заснованих на завданні виду розподілу ймовірностей для випадкових величин, суть яких – інтервали часу між пакетами, що надходять на вхід мережевого вузла, з моделями у вигляді часового ряду, тобто. кількістю пакетів за одиницю часу. Дано опис властивостей самоподібного трафіку, що має виражені кореляційні властивості, з використанням понять «індекс дисперсії інтервалів часу між подіями» та «індекс дисперсії числа подій».

3. З використанням методів регресійного аналізу встановлено вплив коефіцієнта кореляції інтервалів між пакетами на статистику черги пакетів (процес формування пачок) на вході мережевого вузла. Показано, що позитивні значення аналізованого коефіцієнта кореляції свідчить про тенденцію утворення пачки, тоді як негативні значення – вказують на зворотну тенденцію.

4. Показано, що обчислення часу очікування пакета в черзі вузла МСП при довільних розподілах ймовірностей інтервалів між пакетами та інтервалів обслуговування пакетів за умови їх незалежності може бути проведене на основі рішення інтегрального рівняння Ліндлі. Наведено алгоритм розв'язання рівняння

Ліндлі спектральним методом. Обґрунтовано доцільність використання апроксимацій розглянутих розподілів ймовірностей сумами загасаючих експонентів, зокрема – гіперекспоненційними розподілами.

5. Наведено докладний аналіз часу очікування пакета у черзі під час обробки корелированого трафіку. Введено поняття оновлюючого випадкового процесу (поток) з гіперекспоненційним розподілом миттєвих значень, що дозволяє врахувати кореляційні властивості реального трафіку, що дозволило використовувати для аналізу часу очікування пакета в черзі рівняння Ліндлі. Показано важливу роль індексу дисперсії у формуванні оновлюючого потоку. Наведено необхідні розрахункові формули для одержання чисельних значень середнього часу очікування пакета у черзі.

6. Запропоновано апроксимацію аналізованих розподілів ймовірностей корелюваних часових інтервалів, засновану на використанні розподілу Ерланга.

7. Для реально зареєстрованого трафіку IPTV на рівні доступу та на рівні агрегації проведено статистичний аналіз ймовірностно-часових параметрів трафіку (розрахунок послідовності коефіцієнтів кореляції, підбір за критерієм згоди розподілів ймовірностей), на основі якого проведено аналіз середнього часу очікування пакета в черзі. Показано, що наявність кореляційних зв'язків для послідовності інтервалів часу між пакетами і послідовності інтервалів часу обслуговування пакетів призводить до істотного збільшення (у конкретному прикладі майже на порядок) часу очікування пакета в черзі.

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ СЕГМЕНТУ КОРПОРАТИВНОЇ РАДІОМЕРЕЖІ

#### 3.1 Постановка задачі моделювання

Здамося метою отримати модель впливу сигналів, що створюють міжканального перешкоду на цільовій сигнал стандарту IEEE 802.11 [3].

На рисунку 3.1 показана спектральна маска, тобто максимально допустима спектральна щільність енергії сигналу передачі, виражена як функція частоти [11] OFDM-модульованих каналів типу ERP, HT і VHT відповідно стандартів IEEE 802.11g / n / ac [3]. У таблиці 3.1 наведені її параметри.

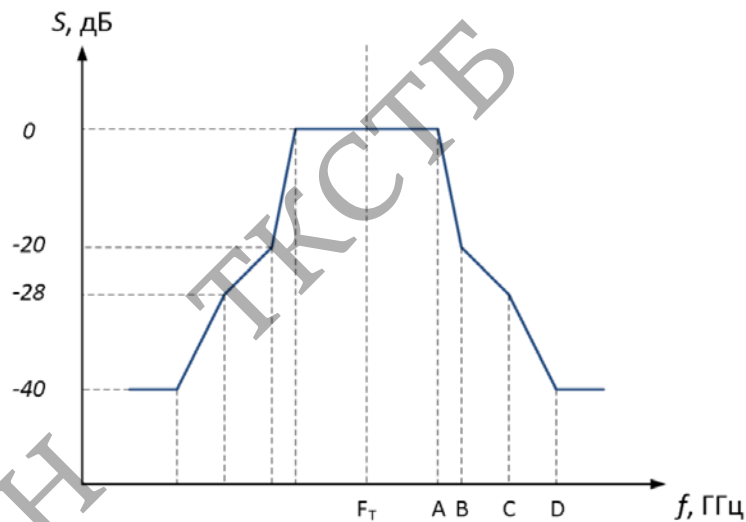


Рисунок 3.1 - Спектральна маска каналів (a) / ERP (g) / HT (n, 5) / VHT (ac)

Звернемо увагу, що сюди не відносяться сигнали стандарту IEEE 802.11b, оскільки на їх PMD-SAP рівні QAM модуляція не використовується. Маска буде також відмінна для каналів HT в діапазоні 2,4 ГГц, оскільки їх спектральна маска при тій же формі має відмінний від наведеного рівень для нижнього порога (-45 дБ, замість -40 дБ) діаграми, а також для каналів режиму VHT80 + 80 через інший форми їх спектра.

Таблиця 3.1 – Параметри спектральної маски каналу

Тип каналу ERP/HT/VHT	МГц			
	A, дБ	B, дБ	C, дБ	D, дБ
20	9	11	20	30
40	19	21	40	60
80	39	41	80	120
160	79	81	160	240

Будемо вважати, що з ввідних даних ми володіємо інформацією про рівень прийому цільового сигналу (дБм), його центральній частоті (МГц), а також аналогічними характеристиками всіх інших доступних в даній точці простору сигналів від осередків мереж IEEE 802.11. Розрахунки наведемо для обох робочих діапазонів - 5 ГГц і 2,4 ГГц.

Припустимо, що горизонтальні (азимутальні) проекції діаграм спрямованості всіх джерел сигналу говорять про ізотропності випромінювання, тобто антени є «всеспрямованими», а коефіцієнти підсилення антен всіх пристроїв рівні між собою. Будемо також вважати, що на приймачі не перевищено граничний рівень прийому, який визначається в стандарті (-30 дБм для діапазону 5 ГГц і -20 дБм для діапазону 2,4 ГГц). Відзначимо, що через відсутність внутріканальних перешкод, в розглянутих умовах на каналному рівні не будуть задіяні механізми CCA (Clear Channel Assessment), включення яких визначено в стандарті [3] для різних доступних ширини каналу через завдання порогових рівнів прийому.

Припустимо, що зона радіопокриття є плоскою, тобто просторове положення кожного з учасників мережевої взаємодії однозначно описується однією парою координат.

Припустимо також, що відмінності, які визначаються функціональністю RRM контролера, між ТД цільової мережі і сторонніми мережами відсутні і ефекти міжканальних перешкод, породжуваних цими двома типами джерел на цільову комірку, однакові і визначаються тільки параметрами моделі.



Припустимо, що приймач має ідеальну вибірковість, а його АЧХ має прямокутну форму.

Будемо вважати, що в радіосереді мають місце лише перешкоди від мереж IEEE 802.11, тобто перешкод сторонньої природи немає.

Прийmemo, що клієнтський складу розглянутих осередків однорідний, тобто всі клієнти мають однакову базову функціональність.

Канали, що створюють внутрішньоканальні перешкоди, в рамках даного наближення враховувати не будемо, оскільки, алгоритм роботи функції доступу до середовища для мережі стандарту IEEE 802.11 принципово відрізняється для випадку внутріканальних перешкод (преамбула кадру демодулювати) і міжканальних перешкод (сигнал практично не пізнаний як сигнал IEEE 802.11). Тобто вважатимемо, що частотне планування БЛОМ виконано ідеально і внутрішньоканальні перешкоди відсутні.

Будемо вважати, що рівень прийому цільового сигналу стабільний і становить -60 дБм, а шумовий поріг в заданих умовах роботи дорівнює -90 дБм.

У моделі не будемо враховувати завмирання сигналу, що впливають на характер випадкової величини загасання. В даному аналізі будемо враховувати лише взаємне розташування джерел що перешкоджають сигналів і приймача цільового сигналу. Розподіл джерел по території вважатимемо рівномірним.

### 3.2 Модель міжканальних завад

Побудуємо модель, яка буде кількісно враховувати ефекти міжканальних перешкод. Найбільш суворий підхід вимагає змоделювати вплив на приймач всіх створюють перешкоди сигналів з їх гармоніками, з урахуванням багатьох приватних характеристик, наприклад вибірковості приймача. Але таке завдання зажадає детального розгляду частотних характеристик модульованого сигналу з глибоким розглядом спектральної картини з позицій радіофізики. В рамках поточної роботи, присвяченій верхнім щодо PMD-SAP рівням, будемо, де це можливо, спрощувати погляд на нижній фізичний рівень БЛОМ. Тому в рамках

даної роботи обмежимося розглядом спектральних густин потужності для всіх сигналів, що взаємодіють в розглянутій смузі частот.

В рекомендації МСЕ-R SM.337-5 «Частотне і територіальне рознесення» в рамках методики визначення частотно / територіального розносу для радіосистем при розрахунку перешкоди цільового сигналу вводиться поняття спектрального фактора, який залежить від ступеня перекриття площ спектрів смугою пропускання приймача і спектром потужності заважає сигналу. З великим розносом по частоті ступінь такого перекриття зменшується, що призводить до зменшення потужності перешкоди, з урахуванням амплітудно-частотної характеристики приймача (АЧХ) [15].

Такий параметр залежить від спектральних характеристик перешкоди і приймача, що зазнає перешкоду, і для практичних розрахунків необхідно мати точні відомості щодо спектральної щільності потужності сигналу, що заважає, яка залежить від таких факторів, як використовуваний метод модуляції і ширина смуги інформаційного сигналу для аналогових систем і швидкість передачі даних в разі цифрових систем. Однак, оскільки спектральна маска сигналу для нас визначена від самого початку (рисунок 3.1.), Ми можемо відразу враховувати ефекти перекриття спектральних масок цільового каналу (на якому йде робота) з центральною частотою  $F_T$  і каналу, що створює перешкоду, з центральною частотою  $F_i$ ,  $n$ . Де  $n \in \mathbb{R}$  число ідентифікує канал, що створює міжканального перешкоду.

Визначимо  $S_T(f)$ , як розподілення рівня потужності корисного сигналу на спектрі, а  $S_{In}(f)$  - як розподілення рівня потужності сигналу, який створює завади. Спектральна маска каналу приведена на рисунку 3.1. Аналітично функцію розподілення рівня сигналу  $S(f)$  для каналу відповідного типу (див. таблицю 3.1), визначимо як:

$$S(f) = \begin{cases} -40 \\ \frac{12}{D-C} \cdot f + \frac{12 \cdot D}{D-C} - 40 & f \leq -D \\ \frac{8}{C-B} \cdot f + \frac{8 \cdot C}{C-B} - 28 & -D < f \leq -C \\ \frac{20}{B-A} \cdot f + \frac{20 \cdot A}{B-A} & -C < f \leq -B \\ 0 & -B < f \leq -A \\ -\frac{20}{B-A} \cdot f + \frac{20 \cdot A}{B-A} & -A < f \leq -A \text{ (дБ)} \\ -\frac{8}{C-B} \cdot f + \frac{8 \cdot C}{C-B} - 28 & A < f \leq B \\ -\frac{12}{D-C} \cdot f + \frac{12 \cdot D}{D-C} - 40 & B < f \leq C \\ -40 & C < f \leq D \\ & f > D \end{cases} \quad (3.1)$$

Окремо розглянемо спектральну маску для каналу IEEE 802.11n (НТ) в діапазоні 2,4 ГГц:

$$S(f) = \begin{cases} -45 \\ \frac{17}{D-C} \cdot f + \frac{17 \cdot D}{D-C} - 45 & f \leq -D \\ \frac{8}{C-B} \cdot f + \frac{8 \cdot C}{C-B} - 28 & -D < f \leq -C \\ \frac{20}{B-A} \cdot f + \frac{20 \cdot A}{B-A} & -C < f \leq -B \\ 0 & -B < f \leq -A \\ -\frac{20}{B-A} \cdot f + \frac{20 \cdot A}{B-A} & -A < f \leq -A \text{ (дБ)} \\ -\frac{8}{C-B} \cdot f + \frac{8 \cdot C}{C-B} - 28 & A < f \leq B \\ -\frac{17}{D-C} \cdot f + \frac{17 \cdot D}{D-C} - 45 & B < f \leq C \\ -45 & C < f \leq D \\ & f > D \end{cases} \quad (3.2)$$

У подальшому, залежно від частотного діапазону і умов роботи будемо оперувати формулами (3.1) і (3.2) без окремих уточнень. Отримавши, таким чином, аналітичний вигляд для маски каналу в відносних величинах (дБ),

зробимо абсолютну (дБм) прив'язку до реального значення вимірюючого рівня для каналу, що створює міжканальну перешкоду.

$$SI_n(f) = P_n + S(f - F_{in}) \text{ (дБм)} \quad (3.3)$$

$$S_T(f) = P_T + S(f - F_T) \text{ (дБм)} \quad (3.4)$$

де:  $P_n$  (дБм) – вимірюючий рівень сигналу для  $n$  – го сигналу, який створює заваду.

$P_T$  (дБм) – вимірюючий рівень цільового сигналу.

При цьому:

$$P_n = P_{rad} - M(L) \text{ (дБм)} \quad (3.5)$$

де:  $P_{rad}$  - рівень випромінювання (дБм) джерела сигналу, який створює заваду, а  $M(L)$  - середнє затухання (дБ) завадостійкого сигналу. Тобто:

$$SI_n(f) = P_{rad} + S(f - F_{in}) - M(L) \text{ (дБм)} \quad (3.6)$$

Кількість міжканальних завад будемо оцінювати шляхом оцінки площі пересічення спектру потужності цільового сигналу  $S_T(f)$  (дБм) та спектру потужності сигналу  $SI_n(f)$  (дБм), який створює завади. При цьому для цільового сигналу будемо враховувати тільки площу симетричної фігури, обмеженої по осі абсцис відміткою  $A$ , у вигляді обмеженості частот на яких передаються піднесучі. Перетин площ спектрів приведено на рисунку 3.2, де:  $A_T$  (МГц) – напівширина основної частини спектральної маски цільового сигналу (частота для точки  $A$ ) (див. таблиця 3.1, рисунок 3.1);

- $F_T$  (МГц) – центральна частота цільового каналу, на якому йде передача;
- $F_{in}$  (МГц) – центральна частота каналу номер  $n$ , створюючого завади;

Рисунок 3.2 зображує випадок для  $F_{in} > F_T$

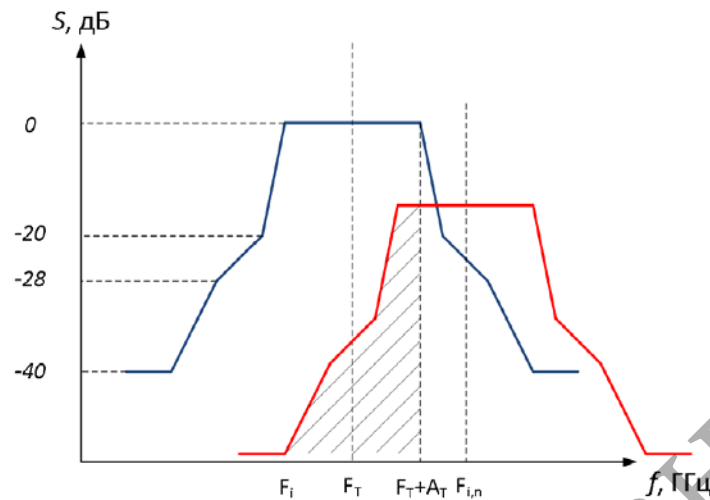


Рисунок 3.2 – Модель міжканальної завади в робочому спектрі

Ми прийняли, що приймач володіє ідеальною вибірковістю, а його АЧХ має прямокутну форму на ділянці спектру  $F_T$  на проміжку  $[F_T - A_T, F_T + A_T]$ .

Таким чином, ми розглядаємо площу перетину спектральних масок, як кількісну характеристику радіочастотного впливу каналів, що створюють міжканальну перешкоду на цільовій канал в даній точці простору.

### 3.3 Модель енергетичної характеристики радіосигналу

Опишемо затухання сигналу моделлю, рекомендованою [14] для застосування всередині приміщень (ITU-R 1238):

$$L(d) = 20 \lg(f) + N \lg(d) + L_f(m) - 28 \text{ (дБ)} \quad (3.7)$$

де:

$d$  - відстань між передатчиком і приймачем (м);

$f$  - частота (МГц);

$N$  - дистанційний коефіцієнт втрат потужності;

$m$  - кількість перешкод;

$L_f(m)$  - коефіцієнт втрат за рахунок проходження сигналу через перешкоди (дБ). Даний коефіцієнт застосовується, якщо має місце згасання сигналу в міжповерховому перекритті, коли йде мова про багатоповерхові будівлі. В випадку, який розглядається  $L_f(m) = 0$ .

Таким чином, рівень прийому завадостійкого сигналу на його центральній частоті визначається як:

$$P_n = P_{rad} - (20 \lg(F_{in}) + N \lg(d) + L_f(m) - 28) \text{ (дБм)} \quad (3.8)$$

В загальному випадку, джерело завадостійкого сигналу розподілені по обслуговуючій території випадковим чином, відповідно, величина відстані  $d$  і згасання  $L(d)$  сигналу між ними також являється випадковою величиною [16].

Переформулюємо (3.7):

$$L(d) = \begin{cases} 0 & d < 0 \\ 20 \lg(F_{in}) + N \lg(d) + L_f(m) - 28 & 0 \leq d \leq R \text{ (дБ)} \\ 0 & d > R \end{cases} \quad (3.9)$$

де  $n$  – номер джерела завади.

Так як рівень прийому являється функцією від випадкової величини (координат), то функція розподілення величини  $L$  може бути визначена як:

$$F(L) = \iint_{D_L} f(x, y) dx dy \quad (3.10)$$

де  $D_L$  - область визначення  $L$ , а  $f(x, y)$  - функція розподілення користувачів на крузі радіусу  $R$ . Щільність ймовірності  $L$  визначається як:

$$F(L) = \frac{dF(L)}{dL} \quad (3.11)$$

Математичне очікування  $L$  визначається як:

$$M(L) = \int_{L_{MIN}}^{L_{MAX}} L \cdot f(L) dL \quad (\text{дБ}) \quad (3.12)$$

Розглянемо рівномірний розподіл ймовірності розподілення джерел завад по території.

Припускаємо, що рівномірний розподіл задано на колі, площа якого рівна  $S$ , радіус  $R$ , на інтервалі  $0 \leq r \leq R$ . Радіус зони  $R$  визначається як  $R = \arg \{P_{rad} - L_{MAX} = -82 \text{ дБм}\}$  (м), де  $L_{MAX}$  - максимальне затухання сигналу до рівня граничної чутливості приймача  $-82$  дБм, яка визначається стандартом [3], тобто  $L_{MAX} = L(R)$ , а  $P_{rad}$  - рівень потужності випромінювання джерела сигналу.

Функція щільності ймовірності для рівномірного розподілення на колі являється константою  $f(x, y) = \text{Const}$ :

$$f(x, y) = \frac{1}{S} = \frac{1}{\pi R^2} \quad (3.13)$$

$$L(r) = 20 \lg(F_{i,n}) + N \lg(r) + L_f(m) - 28 \quad (\text{дБ}) \quad (3.14)$$

Позначимо  $20 \lg(F_{i,n}) + N \lg(r) + L_f(m) - 28 = G, G = \text{Const}$

Тоді після перетворення отримаємо:

$$r = 10^{\frac{G+L(r)}{N}} \quad (3.15)$$

Функція розподілення затухання сигналу  $L$  на колі  $R$ , у відповідності з (3.10):

$$F(L) = \int_0^{2\pi} \int_{\frac{G+L(r)}{10^{\frac{2G}{N}}}}^R \frac{1}{S} r dr d\theta = 1 - \frac{1}{R^2} \cdot 10^{\frac{2G}{N}} \cdot 10^{\frac{2L(r)}{N}} \quad (3.16)$$

Графік функції розподілення приведенний на рисунку 3.3.

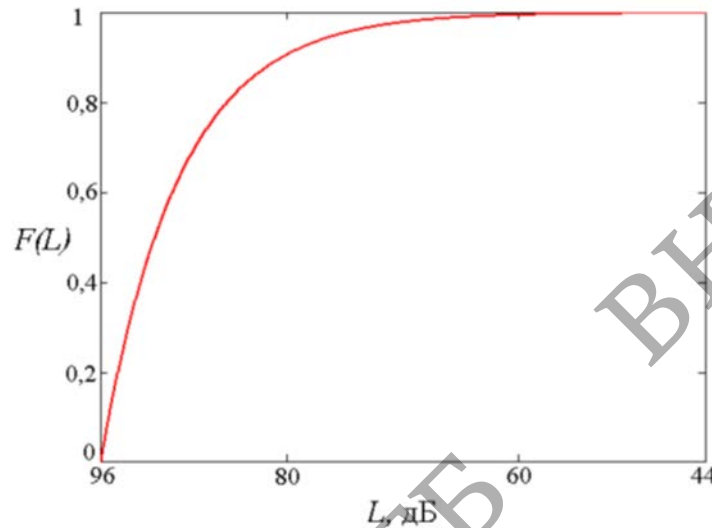


Рисунок 3.3 - Графік функції розподілу загасання

Функція щільності ймовірності, відповідно до (3.11):

$$f(L) = \frac{dF(L)}{dL} = \frac{2 \ln 10}{N \cdot R^2} \cdot 10^{\frac{2G}{N}} \cdot 10^{\frac{2L(r)}{N}} \quad (3.17)$$

Графік щільності ймовірностей приведенний на рисунку 3.4.

Визначимо область значень величини затухання сигналу  $L$ . Максимальному  $L$  відповідає мінімальний рівень прийому, який являється граничним з точки зору чутливості приймаючої сторони. В стандарті [3] він приймається за  $-82$  дБ. Якщо  $P_{rad} = 14$  дБм, то  $L_{MAX} = 14 - (-82) = 96$  дБ.



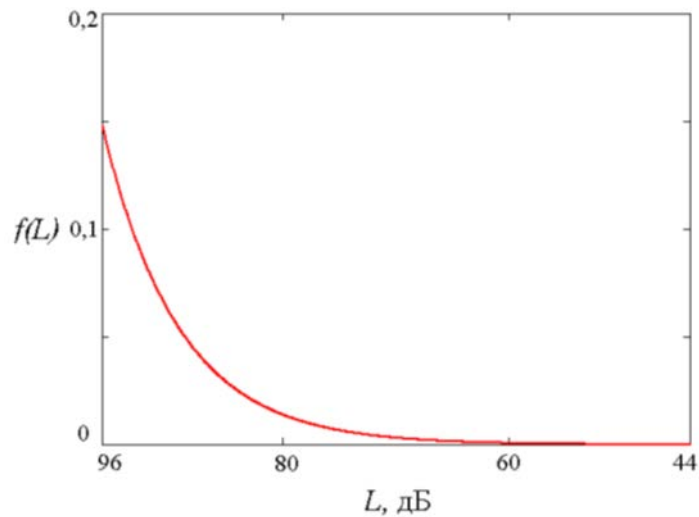


Рисунок 3.4 – Графік функції щільності ймовірності розподілу загасання

Мінімальному  $L$  відповідає рівень прийому, який являється максимальним з точки зору стандарту [3]. Для діапазону 5 ГГц, найбільшим рівнем прийому являється величина в -30 дБм. Тому

$$L_{MIN} = 14 - (-30) = 44 \text{ (дБ)}$$

Аналогічно, для діапазону 2,4 ГГц:

$$L_{MIN} = 14 - (-20) = 34 \text{ (дБ)}$$

Математичне очікування затухання  $M(L)$  завадостійкого сигналу в зоні зв'язку (на колі  $R$ ), у відповідності з (3.12) буде визначатись як:

$$M(L) = \int_{L_{MIN}}^{L_{MAX}} L \cdot \frac{2 \ln 10}{N \cdot R^2} \cdot 10^{\frac{2G}{N}} \cdot 10^{\frac{2L(r)}{N}} \cdot dL \text{ (дБ)} \quad (3.18)$$

З рисунку 3.3 видно, що оскільки

$$f(L_{min}) \approx f(0),$$

Зручно прийняти  $L_{\min} = 0$ , що дає можливість спростити вираз. Тоді після інтегрування і перетворень:

$$M(L) = L_{\text{MAX}} + \frac{N}{2 \ln 10} \left( 10^{\frac{-2L_{\text{MAX}}}{N}} - 1 \right) \text{ (дБ)} \quad (3.19)$$

А оскільки  $10^{\frac{-2L_{\text{MAX}}}{N}} = 6.4 \cdot 10^{-7} \approx 0$ , то:

$$M(L) = L_{\text{MAX}} - \frac{N}{2 \ln 10} \text{ (дБ)} \quad (3.20)$$

Тобто останнє затухання визначається тільки вибраним в моделі (3.7) дистанційним коефіцієнтом втрат потужності  $N$ . Коректність прийнятого допущення в рівності нулю величини  $L_{\min}$  зручно перевірити численними розрахунками в пакеті MathCAD згідно формулі (3.14) для 5 ГГц:

$$M(L) = \int_0^{44} L \cdot f(L) dL = 0.016 \text{ (дБ)}$$

і для 2.4 ГГц:

$$M(L) = \int_0^{34} L \cdot f(L) dL = 0.002 \text{ (дБ)}$$

Таким чином, прийняте допущення вносить додаткову помилку в 0.016 дБ на частотах діапазону 5 ГГц, і 0.002 дБ на частотах діапазону 2,4 ГГц, що є допустимим в рамках даного підходу. Тепер проведемо розрахунок для отриманої аналітичної форми (3.20). У частині параметра  $N$  відзначимо, що для офісних приміщень для частот 5 ГГц  $N = 31$ , а для діапазону 2,4 ГГц,  $N = 30$ .

В якості прикладу, який характеризує затухання в міжповерховому перекритті, оскільки ми розглядаємо плоску зону покриття, даний коефіцієнт в нашому випадку рівний нулю,  $L_f(m) = 0$ . Оскільки рівень випромінення  $P_{rad} = 14$  дБм, відповідної потужності, рівній 25 мВт являється типовим для корпоративних мереж [14], оцінимо граничний радіус комірки. Так, раніше було отримано:

$$r = 10^{\frac{L(r) - 20 \lg(F_{i,n}) - L_f(m) + 28}{N}} \quad (\text{м})$$

Оскільки  $L_{MAX} = 96$  дБ, то:

$$R = 10^{\frac{124 - 20 \lg(F_{i,n})}{N}} \quad (\text{м})$$

$$G = -20 \lg(F_{i,n}) + 28$$

Так, для частоти 5,2 ГГц,  $R = 40,048$  м. Це граничне відстань, на якому ТД може створювати перешкоду для роботи інших осередків мережі. Однак, розмір самої комірки, тобто радіус цільової області покриття, якість сигналу в якій відповідає заданим вимогам, на практиці [5, 8, 14, 16] являє собою істотно меншу величину і становить близько 9-12 м [3, 25]. Це неважко пояснити з точки зору загасання цільового сигналу, так  $R$  для рівня прийому рівного -60 дБм складає 7,8 м [14], що говорить навіть про деяку надмірності обраної моделі загасання сигналу для практики. Проте, подібний погляд видається непоганим наближенням в рамках поставленого завдання.

Таким чином, для обраних умов, згідно з (3.20) для діапазону 5 ГГц,  $M(L) = 89,268$  дБ і  $M(L) = 89,486$  дБ для діапазону 2,4 ГГц.

### 3.4 Імітаційна модель енергетичної характеристики радіоканалу

Перевіримо коректність отриманого розрахунку шляхом імітаційного моделювання розподілу джерел сигналу. Для цього змодельюємо випадковий розподіл джерел перешкод по цільовій площі радіуса  $R = 40$  м. Після цього розрахуємо загасання перешкод для отриманих відрізків і побудуємо гістограму для отриманого розподілу. На рисунку 3.5 наведені результати для розрахунку по імітаційної і аналітичної (3.20) моделям для діапазону 5 ГГц для 10000 випробувань.

При цьому середнє значення загасання по імітаційної моделі становить 89,263 дБ, що добре співвідноситься з аналітичним розрахунком, виконаним вище.

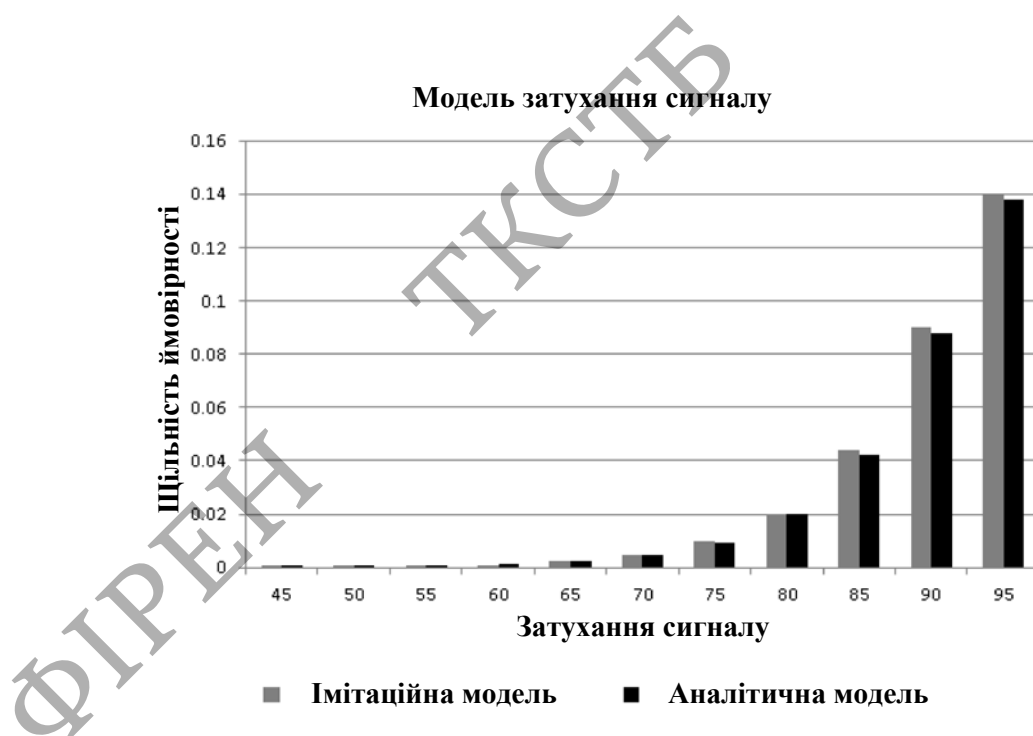


Рисунок 3.5 – Порівняння щільності ймовірності розподілу загасання для імітаційної і аналітичної моделей

При числі випробувань  $N$  рівній 10000, відносна похибка імітаційної моделі рівна  $\frac{2}{\sqrt{N}} = 0.02$ . Тобто похибка складає порядку 0.012%, що знаходиться в межах похибки імітаційної моделі, рівній 2% (1.785 дБ)

Таким чином, показано, що запропонований розрахунок середнього загасання що перешкоджають сигналу коректний в рамках обраної моделі загасання і, таким чином, може бути використаний в подальших розрахунках.

### 3.5 Модель деградації відношення сигнал/шум

Оскільки, ключовим параметром, що визначає вибір режиму модуляції і кодування (MCS) є ставлення сигнал / шум (ВСП), а також з огляду на те, що основним результатом міжканальних перешкод є його погіршення (деградація) [14, 40], розглянемо в цьому світі сигнал, що створює перешкоду. Як було показано раніше в (5.6), спектральна маска цього сигналу в дБм визначається як:

$$SI_n(f) = P_{rad} + S(f - F_{i,n}) - M(L) \text{ (дБ)}$$

Виразимо спектри потужності в мВт. Тоді формула (3.6) прийме вигляд:

$$SIW_n(f) = 10^{\frac{P_{rad} + S(f - F_{i,n}) - M(L)}{10}} \text{ (мВт)} \quad (3.21)$$

І аналогічно для формули (3.4):

$$Sw_T(f) = 10^{\frac{P_T + S(f - F_T)}{10}} \text{ (мВт)} \quad (3.22)$$

Позначимо за  $n$  - номер каналу, при їх загальному числі рівній  $k$ , а за  $m_n$  - число ТД каналу  $n$ , чий сигнал доступний для прийому. За  $F_{i,n}$  позначимо частоту каналу з номером  $n$ . Позначимо за  $Q$  - ймовірність зайнятості каналного

ресурсу і будемо вважати її однаковою для всіх ТД, які створюють завади. Відмітимо, що  $Q$  являє собою фактично долю часу, на протязі якого часовий ресурс каналу зайнятий. Оскільки ми прийняли, що внутрішньоканальні завади відсутні, то  $m_n=0$  для  $n$  рівного номеру цільового каналу.

У вигляді адитивності потужності завад в спектрі, загальна спектральна маска всіх завад буде рівна:

$$SIW_n(f) = NF + Qm_n \sum_{n=1}^k 10^{\frac{P_{rad} + S(f - F_{i,n}) - M(L)}{10}} \quad (\text{мВт}) \quad (3.23)$$

де  $NF$  - шумовий поріг, мВт.

Визначимо відношення сигнал/шум для цільового каналу як відношення площ спектральних масок:

$$SNR = 10 \lg \frac{\int_{F_T - A_T}^{F_T + A_T} Sw_T(f) df}{\int_{F_T - A_T}^{F_T + A_T} SIW(f) df} \quad (\text{дБ}) \quad (3.24)$$

При цьому відношення сигнал/шум у відсутності міжканальних завад складає:

$$SNR_0 = 10 \lg \frac{\int_{F_T - A_T}^{F_T + A_T} Sw_T(f) df}{NF \cdot 2A_T} \quad (\text{дБ}) \quad (3.25)$$

Звідки, погіршення ВСШ, яке викликане міжканальними завадами складає:

$$\Delta SNR = SNR_0 - SNR \quad (\text{дБ}) \quad (3.26)$$

Отримана величина  $\Delta SNR$  є модельне значення, на яке зменшиться ВСШ для цільового сигналу, тобто дозволить оцінювати зменшення пропускної здатності каналу в зв'язку з необхідністю для ТД працювати в режимах, відповідних меншим індексам MCS.

### 3.6 Модель частотної характеристики тракту передавання

Тепер розглянемо, як впливає зменшення ВСШ на фактичну швидкість передачі, яка визначається індексом MCS.

Позначимо за  $PHYRate$  [37] швидкість передачі згідно MCS, коли:

$$PHYRate = \frac{N_{DBPS}}{T_{SYM}} \quad (3.27)$$

де  $T_{SYM}$  - тривалість передачі символу з урахуванням міжсимвольного захисного інтервалу (Guard Interval - GI) (мкс).

Залежність числа біт від корисного навантаження на символ відношення сигнал/шум, як було раніше, зручно прийняти наступний вигляд:

$$N_{DBPS}(SNR) = \begin{cases} 0; SNR < 2 \\ 26; 2 \leq SNR < 5 \\ 52; 5 \leq SNR < 9 \\ N_{DBPS\_MAX} \left( 1 - \exp\left(-\frac{SNR^2}{2a^2}\right) \right); SNR > 9 \end{cases}, \text{ (біт)} \quad (3.28)$$

Де параметр  $a$  - напівширина гаусоїди, апроксимуючий цільову дискретну функцію, а  $N_{DBPS\_MAX}$  - найбільше число біт даних на символ, визначений в стандарті. Це число рівне 312 біт для IEEE 802.11aс біт для 802.11 In.

Тепер розглянемо залежність  $\Delta PHYRate(SNR)$  для області  $SNR > 9$  дБ.

$$PHYRate = \frac{N_{DBPS\_MAX} \left( 1 - \exp\left(-\frac{SNR^2}{2a^2}\right) \right)}{T_{SYM}} \text{ (Мбіт/с)} \quad (3.29)$$

Оскільки функція (3.24) являється монотонно зростаючою [31], то значення  $\Delta PHYRate$ , яке відповідає величині  $\Delta SNR$ , буде визначатись як:

$$\Delta PHYRate(SNR) = PHYRate_0 - PHYRate(SNR) \text{ (Мбіт/с)} \quad (3.30)$$

де  $PHYRate$  - це швидкість передачі при відношенні сигнал/шум, рівна  $SNR_0^2$  (дБ). І після перетворення:

$$\Delta PHYRate = \frac{N_{DBPS\_MAX}}{T_{SYM}} \left( \exp\left(\frac{SNR_0 - \Delta SNR^2}{2a^2}\right) - \exp\left(-\frac{SNR_0^2}{2a^2}\right) \right) \quad (3.31)$$

Таким чином, якщо робота йде при значеннях величини відносини сигнал / шум великих ніж 9 дБ, то зручно скористатися формулою (3.31) для оцінки фактичного значення деградації бітової швидкості передачі як функції від зниження значення відносини сигнал шум.

### 3.7 Сценарії використання мереж IEEE 802.11

Робочою групою IEEE 802.11n Task Group в 2004 році були розроблені різні моделі (сценарії) використання, засновані на актуальних для індустрії завданнях надання послуг БЛОМ [175].

Для доповнення стандарту IEEE 802.11ac, аналогічний документ був затверджений [19] в травні 2011 року робочою групою IEEE 802.11ac Task Group [9]. Він включає в себе 20 основних сценаріїв використання в шести категоріях.

Описи моделей використання включають в себе опис програм, навколишнього середовища, характеристик трафіку, і типових дій користувача,



характерних для даного випадку. В даному випадку, найбільш підходящим міг би бути сценарій 2d (бездротова мережа в офісі), найбільш точно відповідає заданим вступним. Зокрема, в документі [9] відзначається, що типовий розмір зони покриття однієї ТД зазвичай становить менше, ніж площа квадрата зі стороною рівною 40 м., Що співвідноситься з заданими раніше характеристиками та рекомендаціями виробників [5, 14, 16]. Однак запропоновані сценарії не описуються з таких точок зору як: схема радіочастотного планування, - ЕІВП ТД, антена конфігурація ТД, і ін. Параметрів, з яких можна було б зробити висновок про можливість застосування обраного проектного рішення в даному випадку.

Тому при виборі розрахункових сценаріїв ми, опускаючи опис поведінки користувачів, розглянемо більш докладно саме питання радіочастотного планування та їх впливу з точки зору міжканальних перешкод в БЛОМ і, як наслідок, на показники пропускну здатності осередку даної БЛОМ.

Маючи в нашому розпорядженні модель, що характеризує зменшення ЗСШ як модельну міру міжканальних перешкод, тепер оцінимо роботу мереж IEEE 802.11 в різних сценаріях їх роботи. Розглянуті сценарії і їх параметри наведені в таблиці 3.2.

Пояснимо вибір параметрів з таблиці 3.2. Серед розглянутих умов ми будемо враховувати:

- Версія стандарту. Так, в кожному з діапазонів ми будемо розглядати тільки найбільш сучасний працездатний режим роботи: 802.11n для 2,4 ГГц, і 802.11ac 5 ГГц. Сигнали, що відповідають режимам роботи IEEE 802.11a / b / g ми розглядати не будемо. - Частотний план є найважливішою відправною точкою.

Таблиця 3.2 – Параметри сценаріїв роботи БЛОМ

	Версія стандарту IEEE 802.11	Діапазон	Номер і тип цільового каналу	Частотний план	Суміжні мережі	Тип каналу-завади
1	802.11n	2,4 ГГц	6, HT20	1,6,11	Ні	HT20
2	802.11n	2,4 ГГц	6, HT20	1,6,11	Так	HT20
3	802.11n	2,4 ГГц	6, HT20	1,6,11	Так	HT40
4	802.11n	2,4 ГГц	5, HT20	1,5,9,13	Ні	HT20
5	802.11n	2,4 ГГц	4, HT20	1,4,8,11	Ні	HT20
6	802.11ac	5 ГГц	44, VHT20	UNTII 1-2	Так	VHT20
7	802.11ac	5 ГГц	44, VHT20	UNTII 1-2	так	VHT80

Тому для діапазону 2,4 ГГц ми розглянемо три найбільш популярних частотних плану, позначивши їх як «1, 6, 11», «1, 5, 9, 13», «1, 4, 8, 11». При цьому числа через кому позначають номери частотних каналів згідно [3]. Перший з них є типовими, рекомендованим для частотно-територіального планування мереж IEEE 802.11 у всьому світі, оскільки забезпечує працездатність ячеистої БЛОМ в будь-якому регуляторному домені [4]. Два інших частотних плану часто розглядають з метою організувати покриття чотирма каналами в різних регуляторних умовах. При цьому план «1, 5, 9, 13» є кращим при доступності каналу №13, а план «1, 4, 8, 11» при його недоступності [14] [42]. - Перешкоди від сторонніх мереж, тобто є чи ні в радіусі дії осередку інших мереж, що створюють для цільової осередку ефекти міжканального перешкоди. Будемо при цьому вважати, що в разі істотного їх впливу, перешкоди є в кожному каналі, тобто відповідний діапазон зашумлен сторонніми мережами рівномірно. - Тип каналу-перешкоди. Так, для діапазону 2,4 ГГц, будемо розглядати канали HT20 і HT40. Такий вибір пояснюється необхідністю продемонструвати кількісний вплив каналу шириною 40 МГц для мережі 802.11n в діапазоні 2,4 ГГц. У діапазоні 5 ГГц для мережі 802.11ac, доступні ширші режими агрегування, тому в цьому випадку ми будемо враховувати вплив каналів VHT20 і VHT80 В даному випадку в перших 5 сценаріях (таблиця 3.2) розглядається робота в діапазоні 2,4 ГГц в різних умовах. У сценаріях 6 і 7

розглядаємо частотний план, в якому використовуються тільки піддіапазони UNII-1 і UNII-2 (канали з номерами від 36 до 64). При цьому для сценарію 7, будемо вважати, що агрегованих (VHT80) каналів, що створюють перешкоду, використовується три:  $(36 + 40 + 44 + 48)$ ,  $(44 + 48 + 52 + 56)$  і  $(52 + 56 + 60 + 64)$ .

Відзначимо, що пропонуванний підхід дозволяє реалізувати оцінку для самих різних сценаріїв роботи БЛОМ, не обмежуючись пропонованими.

### 3.8 Результати розрахунків і їх аналіз

Раніше було показано, що середнє загасання  $L$  з формули (3.6) що перешкоджають сигналу для діапазону 5 ГГц відповідно до моделі становить 89,26 дБ. Що стосується діапазону 2,4 ГГц, то це значення відрізняється незначно і становить 89,48 дБ в рамках прийнятої в роботі моделі.

Будемо вважати, що рівень прийому цільового сигналу стабільний і становить -60 дБм, а шумовий поріг в умовах роботи дорівнює -90 дБм, тобто  $SNR_0 = 30$  дБ. Це типове значення для відносини сигнал / шум, часто пред'являється як вимога в корпоративних мережах радіодоступу, зважаючи на вимоги стандарту до основним сценаріями роботи (канал HT20, один просторовий потік) [3, 31]. Енергетичний спектр сумарною перешкоди для сценаріїв 1, 2, 3, 4 і 5 наведено на рисунках 3.6 - 3.10. Для зручності сприйняття, обраний логарифмічний масштаб за шкалою потужності сигналу (в мВт).

У таблиці 3.3 наведені основні результати розрахунків. Наведені значення деградації відносини сигнал / шум  $\Delta SNR$  згідно (3.26) і модельного зниження бітової швидкості передачі  $\Delta RHYRate$  згідно (3.31).

Особливо відзначимо практична відсутність деградації відносини сигнал / шум для рекомендованих частотних планів в типових впровадженях БЛОМ (сценарії 1 і 4).

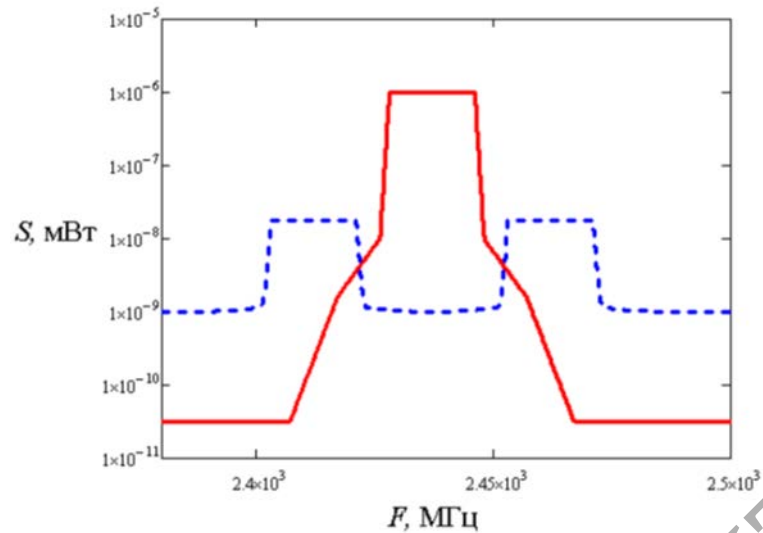


Рисунок 3.6 - Енергетичний спектр інформаційного сигналу на тлі сумарної перешкоди для сценарію 1

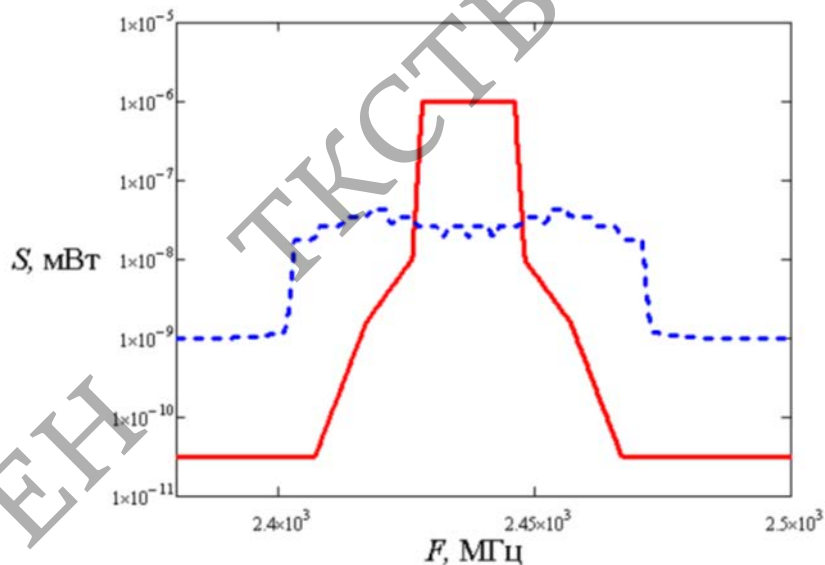


Рисунок 3.7 - Енергетичний спектр інформаційного сигналу на тлі сумарної перешкоди для сценарію 2

З таблиці 3.3 видно, що частотний план в діапазоні 2,4 ГГц з вибором каналів 1,4,8,11 (сценарій №5) є небажаним, оскільки в порівнянні зі сценаріями 1 і 4 дає помітне (на 7,4 Мбіт / с) зниження середньої швидкості передачі.

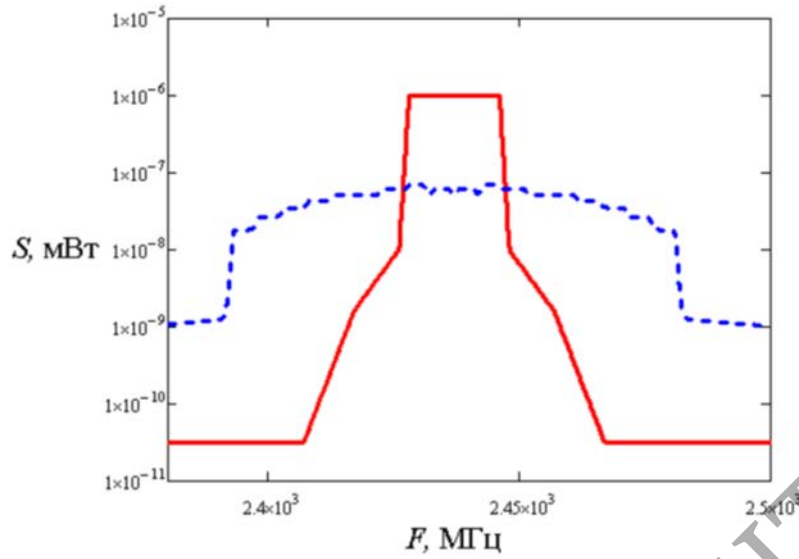


Рисунок 3.8 - Енергетичний спектр інформаційного сигналу на тлі сумарної перешкоди для сценарію 3

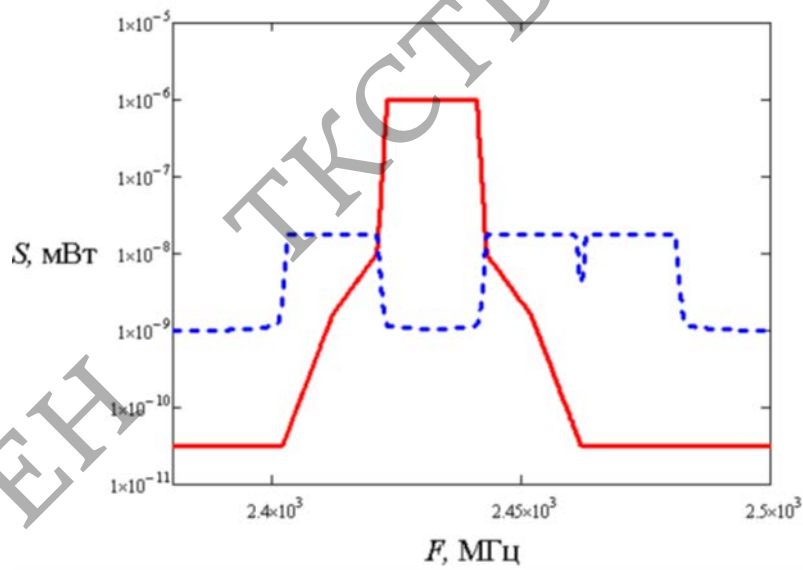


Рисунок 3.9 - Енергетичний спектр інформаційного сигналу на тлі сумарної завади для сценарію 4

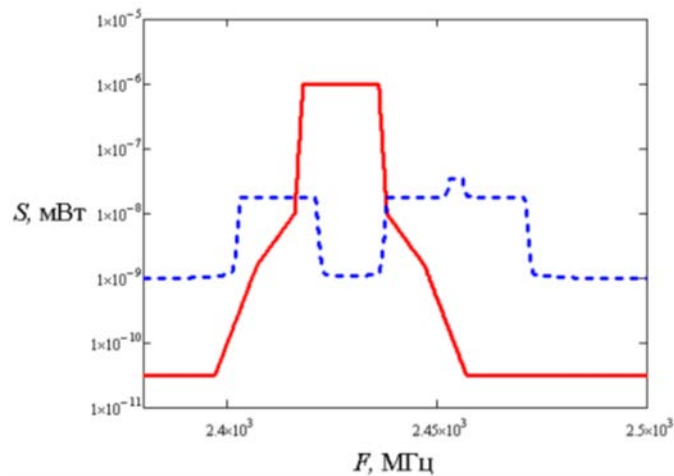


Рисунок 3.10 - Енергетичний спектр інформаційного сигналу на тлі сумарної завади для сценарію 5

У той же час частотний план №4 з номерами каналів 1,5,9,13 для діапазону 2,4 ГГц, є прийнятним за умови коректної підтримки абонентськими пристроями роботи в каналі №13 [8].

Таблиця 3.3 – Результати розрахунків

№	Стандарт	Суміжні мережі	Тип каналу-завади	$m_n$	Q	$\Delta SNR$ , дБ	$\Delta PHYRat$ , Мбіт/с
1	IEEE 802.11n	Ні	НТ20	2	0,3	0,11	0,08
2	IEEE 802.11n	Так	НТ20	2	0,3	13,98	26,94
3	IEEE 802.11n	Так	НТ40	1	0,3	17,93	40,75
4	IEEE 802.11n	Ні	НТ20	2	0,3	0,35	0,25
5	IEEE 802.11n	Ні	НТ20	2	0,3	6,33	7,45
6	IEEE 802.1ac	Так	VНТ20	1	0,3	0,21	0,18
7	IEEE 802.1ac	так	VНТ80	1	0,3	12,75	27,63

Однак варто зазначити, що збільшення числа доступних каналів з трьох до чотирьох принципово не вирішує існуючі проблеми нестачі доступної смуги спектра для більшості інсталяцій в діапазоні ISM. Причина тому полягає в тому, що між трьох- і чотирьох-канальною схемою радіочастотного планування практично немає різниці с точки зору повторного використання каналів, оскільки

осередки, в яких ТД працюють на одних і тих же каналах в обох випадках розділені тільки одним осередком.

У той же час, наявність можливості застосовувати даний підхід розширить проектні ресурси для вирішення конкретного завдання з побудови радіопокриття.

Для роботи в діапазоні 5 ГГц, видно практична відсутність негативного впливу сторонніх мереж, оскільки при роботі в цьому діапазоні, центральні частоти каналів мають крок рівний 20 МГц (4 номери каналів), що частково виключає характерну для діапазону 2,4 ГГц ситуацію, коли нерідко мають місце суміжні мережі з вільним вибором каналів.

### 3.9 Висновки до розділу 3

Отримано аналітичну модель, що дозволяє оцінити середнє загасання сигналів, що створюють перешкоди на цільовій площі радіопокриття при рівномірному розподілі джерел. Аналітична модель загасання сигналу з урахуванням всіх припущень перевірена імітаційною моделлю, що підтвердило її з точністю до порядку 0,012%.

Запропоновано підхід, що дозволяє оцінювати ефекти міжканальних перешкод з урахуванням повної форми спектральної маски як цільового сигналу, так і що перешкоджають сигналів суміжних мереж.

Запропоновано метод оцінки погіршення відносини сигнал / шум в умовах міжканальних перешкод для сучасних мереж IEEE 802.11. Розроблено модель для кількісної оцінки впливу міжканальних перешкод на бітову швидкість передачі. Запропоновано метод розрахунку і отримані кількісні оцінки роботи мережі IEEE 802.11n / ac в різних режимах, що зустрічаються в інженерній практиці.

Отримано кількісну оцінку практичної можливості використання чотирьохканального частотного плану для роботи в діапазоні 2,4 ГГц, з урахуванням міжканальних завад.

## 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВУЗЛІВ МУЛЬТИСЕРВІСНОЇ МЕРЕЖІ МЕТОДОМ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

### 4.1 Огляд засобів моделювання мереж зв'язку

Найбільш докладна, але компактно викладена інформація з цього питання міститься в роботах [8, 17]. Для створення надійно функціонуючої мережі зв'язку необхідно на етапі проектування знання потенційних характеристик вузлів мережі, т.к. діапазон зміни аналізованих характеристик визначається апріорною варіацією параметрів трафіку, що обробляється. Якість роботи мережі багато в чому зумовлено різними факторами, багато з яких носять випадковий характер і можуть не піддаватися строгому математичному аналізу. Основним інструментом аналізу може бути імітаційне моделювання в комп'ютерних програмах-симуляторах без застосування реального устаткування. На етапі побудови моделі виникає питання про вибір інструментарію. Критеріями створення ефективної моделі є: - детальна реалізація протоколів функціонування мереж, - можливість написання та підключення власних модулів, можливість зміни параметрів моделювання під час проведення експериментів - платформна незалежність - розвинений графічний інтерфейс - ціна продукту. Найбільш популярними середами імітаційного моделювання є:

1) The Network Simulator (NS-2) – об'єктно-орієнтований програмний продукт, ядро якого реалізовано мовою C++. На базі NS2 можлива організація наочної демонстрації функціонування протоколів та мережевих механізмів.

2) OPNET Modeler Suite (OPNET) – засіб для проектування та моделювання локальних та глобальних мереж, комп'ютерних систем, додатків та розподілених систем. Включає такі продукти: Netbiz (проектування та оптимізація обчислювальної системи), Modeler (моделювання та аналіз продуктивності мереж, комп'ютерних систем, додатків та розподілених систем), ITGuru (оцінка продуктивності комунікаційних мереж та розподілених систем).



3) OMNet++ - модульний пакет, що розширюється, на основі компонентів бібліотеки C++, що використовується для побудови моделей мережі, являє собою симулятор дискретних подій. У системі OMNeT++ закладено детальну реалізацію протоколів, починаючи від мережевого рівня, можливість написання та підключення власних модулів, розвинений графічний інтерфейс.

NS2 розроблявся як програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом (open source code software – OSS). Таке ПЗ поширюється безкоштовно – без будь-яких обмежень право використання, модифікації та розповсюдження третіми особами. З цієї ж причини безкоштовні і завжди доступні on-line всі оновлення та доповнення (нові бібліотеки, протоколи тощо).

Ще однією властивістю програмного забезпечення є гнучке налаштування відповідно до вимог конкретного користувача. Однією з відмінних властивостей NS2 з погляду гнучкості є мультиопераційність. Повні версії, що включають всі функції, на даний момент працездатні під управлінням наступних операційних систем: SunOS, Solaris, Linux, FreeBSD, Windows XP/NT/2000/Vista [9].

Наведені дані дозволяють надати перевагу мережному симулятору NS2.

#### 4.2 Характеристики симулятора NS2

The Network Simulator (NS-2) – об'єктно-орієнтований програмний продукт, ядро якого реалізовано мовою C++. Як інтерпретатор використовується мова скриптів (сценаріїв) OTcl (Object oriented Tool Command Language). NS2 повністю підтримує ієрархію класів C++ (називається в термінах NS2 ієрархією, що компілюється) і подібну ієрархію класів інтерпретатора OTcl (названу інтерпретованою ієрархією). Використання двох мов програмування в NS2 пояснюється такими причинами. З одного боку, для детального моделювання протоколів необхідно використовувати системну мову програмування, що забезпечує високу швидкість виконання та здатний маніпулювати досить великими обсягами даних. З іншого боку, для зручності користувача та швидкості реалізації та модифікації різних сценаріїв моделювання привабливіше

використовувати мову програмування вищого рівня абстракції. Такий підхід є компромісом між зручністю використання та швидкістю. В NS2 як системна мова використовується C++, що дозволяє забезпечити: - високу продуктивність, - роботу з пакетами потоку на низькому рівні абстракції моделі; - Модифікацію ядра NS2 з метою підтримки нових функцій та протоколів. Як мову програмування високого рівня абстракції використовується мова скриптів OTcl, що дозволяє забезпечити ряд позитивних властивостей, властивих мові Tcl/Tk (бо OTcl є об'єктно-орієнтованим розширенням мови Tcl): - простота синтаксису, - простота побудови сценарію моделювання, - можливість з'єднання воедино блоків, виконаних системними мовами програмування і просту маніпуляцію ними.

В імітаційному моделюванні мережа є сукупністю мережевих об'єктів, які певним чином реагують на безліч подій. Мережеві об'єкти сповіщаються про ці події планувальником подій. Кожна подія має набір атрибутів: час наступу та мережевий об'єкт, до якого належить ця подія. Планувальник, виходячи з хронологічної таблиці, вибирає відповідні мережеві об'єкти та повідомляє про настання подій.

Основними компонентами моделювання NS2 є планувальник подій, мережеві об'єкти та події (at-події та пакети).

Основою моделювання в NS2 є планувальник подій (event scheduler). Основні користувачі планувальника подій – компоненти мережі, які моделюють затримку на обробку пакетів або потрібні таймери.

Планувальник подій реального часу використовується для емуляції, коли пакет моделювання взаємодіє із реальною мережею.

Інше важливе використання планувальника подій – це планування подій моделювання, такі як, наприклад, старт програми FTP, закінчення моделювання, генерація сценарію моделювання до запуску самого моделювання.

Мережеві об'єкти можуть бути простими (черги, лінії затримки, мультиплексори/демультиплексори, агенти, додатки) та складовими, які утворюються шляхом об'єднання простих об'єктів (вузли, дуплексні лінії,

локальні мережі 802.3 Ethernet, 802.11 Wi-Fi). Вузол у NS2 є абстракцією мережного рівня. Він може приймати пакети та класифікувати їх за адресою та портом, що є полями IP-заголовка. Лінії зв'язку є складовими об'єктами (2 протилежно спрямовані симплексні лінії, які складаються з черги, Null-агента, лінії затримки та об'єкта). Якщо модель орієнтована на трасування подій, ланка також міститиме об'єкти трасування.

Агенти в NS2 є абстракцією транспортного рівня і служать для забезпечення передачі пакетів між мережевими об'єктами. Для створення з'єднання з використанням протоколу TCP необхідна наявність двох агентів – TCP-передавачі: TCP, TCP/Tahoe, TCP/Reno, TCP/Vegas та TCP-приймач: TCPSink. Передавач має можливість відповідати по-різному на повідомлення про отримання пакетів від адресатів. Приймач приймає пакети та надсилає квитанцію про отримання. При створенні з'єднання з UDP протоколом повідомлення про отримання не передбачені, тому для передачі використовується UDP-агент, а для прийому – Null-агент, який приймає та знищує всі пакети.

Програми NS2 відповідають за мережевий рівень. Додаток прикріплюється до агента та служить для створення трафіку. FTP, Telnet, CBR можна використовувати як додатки. FTP та Telnet моделюють трафік, характерний для реальних протоколів прикладного рівня. CBR є абстрактним генератором трафіку із постійним темпом видачі пакетів.

Типи черг задаються під час створення ланки передачі, до них належать:

- DropTail (аналог FIFO з відкиданням пакетів, що знову надходять при переповненні черги); - FQ (рівний розподіл пропускної спроможності між потоками); SFQ (рівний розподіл пропускної спроможності між обмеженою кількістю черг); здібності між усіма класами), - CBQ (розподіл пропускної спроможності відбувається відповідно до класу пріоритету). У NS2 пакети складаються з набору заголовків та поля даних. Формат заголовка пакета визначається під час створення об'єкта Simulator. Для зручності користувача всі пакети мають однаковий формат. Для прискорення процесу моделювання рекомендується вказувати, які протоколи будуть використовуватися в моделі для

того, щоб виключити заголовки протоколів, що не використовуються, із заголовка пакета.

У пакет NS2 входить засіб анімації результатів моделювання Nam [38], за допомогою якого можна спостерігати роботу моделюваної мережі, її топологію, анімацію руху пакетів каналами зв'язку або їх втрати, вести візуальний моніторинг стану черг і проводити аналіз даних. Повна версія NS2 також містить візуалізатор Xgraph, за допомогою якого можна зобразити графічно отримані результати моделювання, що знаходяться у відповідному файлі, який записуються дані в процесі симуляції.

У NS2 існує і математична підтримка, що дозволяє створювати різні види трафіку, як, наприклад, трафіку пуассонівського, самоподібного і т.д.

Гнучка архітектура NS2 дає можливість її користувачам реалізовувати власні математичні функції та закони на C++.

У NS2 також реалізована можливість моделювання виникнення помилок (спотворення чи втрата інформації) на каналному рівні, лише на рівні бітів чи пакетів.

Є можливість реалізації своєї моделі помилок.

#### 4.3 Моделювання та обробка самоподібного трафіку симулятором NS2

Як зазначено в попередньому розділі, NS2 дозволяє описати для моделі топологію, конфігурацію джерел і приймачів трафіку, параметри з'єднань (смугу пропускання, затримку, ймовірність втрати пакетів) та інші параметри. При моделюванні є можливість керувати параметрами буферів, проводити моніторинг прийнятих, відправлених та втрачених пакетів, здійснювати збір статистики та ін. За допомогою генерації вихідних трасефайлів може бути отримана інформація про динаміку трафіку, стан з'єднань та об'єктів мережі, а також роботу протоколів.

Для створення трафіку в системі NS2 призначені об'єкти типу Traffic. Вони створюються методами Traffic/type, де type – Expoo, Pareto чи Trase.

Об'єкт Traffic/Pareto – ON/OFF генератор трафіку згідно з розподілом Парето (в NS2 є генератори та інших розподілів з «важкими» хвостами – розподіл Вейбулла, гамма-розподіл). Проста ON/OFF модель передбачає, що джерела перемикаються між двома станами: ON стан, у якому джерела генерують трафік з постійною швидкістю, OFF-стан, у якому трафік не генерується.

У роботі [41] наведено приклад генерації методом ON/OFF трафіку Парето з параметрами: пакети розміром 128 байт із постійною бітовою швидкістю 20000 біт/с протягом ON-періоду із середньою тривалістю 500 мс. Середня тривалість OFF-періоду становить 1,5 с, параметр форми дорівнює 1,2. Рис. 4.1 пояснює створення генератора трафіку з розподілом Парето із заданими параметрами.

```
set traffic [new Traffic/Pareto]
Traffic set packet-size_ 128
Traffic set burst-time_ 500ms
Traffic set idle-time_ 1.5s
Traffic set rate_ 20000.0
Traffic set shape_ 1.2
```

Рисунок 4.1 - Генератор трафіку Парето

Для керування якістю обслуговування у маршрутизаторах r1 та r2 використовується алгоритм FIFO. Принцип роботи цього алгоритму ґрунтується на процедурі відкидання всіх пакетів, що прийшли після досягнення заздалегідь встановленого максимального розміру черги. Ця процедура отримала назву "відкидання хвоста" (tail drop). Ефективність такої процедури досить низька, т.к. про навантаження стає відомо лише за факті переповнення черги [6]. Таким чином, механізм FIFO не може зменшити реальний розмір черги, щоб зменшити час затримки пакета.

З урахуванням відомого співвідношення [3], справедливого для розподілу Парето, між параметром Херста  $H$  і параметром форми  $a$

$$H = \frac{3-a}{2} \quad (4.1)$$

можна стверджувати, що згідно з рис. 4.1 генеруватиметься трафік з явно вираженими самоподібними властивостями ( $H = 0.9$ ).

Для аналізу ступеня впливу самоподібності трафіку рівень втрати пакетів (packetloss) при негарантованій доставці даних (best-effort service) проведемо експеримент за схемою, представленою на рис. 4.2.

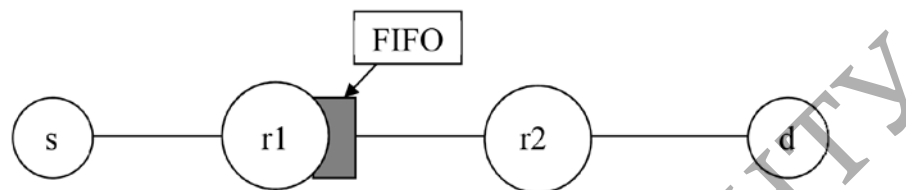


Рисунок 4.2 - Схема негарантованої доставки даних

При генерації трафіку для випадкових інтервалів часу використовувався розподіл Парето зі змінним параметром Херста. Значення параметра Херста змінювалося від 01 до 09. Для перетворення досліджуваних реалізацій у вид, необхідний використання як джерела трафіку в NS2, використовувалася програма `vega.tcl`, розроблена F.Vega. Отримані таким чином самоподібні потоки, що упаковувалися в UDP-пакети і передавалися у бік одержувача (d).

Для спостереження роботи алгоритму FIFO пропускна здатність віртуального каналу між маршрутизаторами (r1 та r2) вибиралася меншою за швидкість потоку трафіку. Таким чином, частина трафіку губилася і спрацьовувала стандартна процедура керування чергою Tail Drop. Тривалість кожного експерименту – 3 години. Результати експерименту подано на рис. 3.3. пунктирною (згладженою) лінією.

Деякі програми не здатні нормально функціонувати або функціонують вкрай неефективно у разі втрати пакетів. Такі програми вимагають від мережі гарантії надійної доставки всіх пакетів.

Відкидання пакетів є неминучим явищем у разі негарантованої доставки трафіку. Слід також зазначити, що відкинуті пакети вказують на неефективне

використання ресурсів мережі, частина яких була витрачена на доставку пакетів у точку, де їх було втрачено.

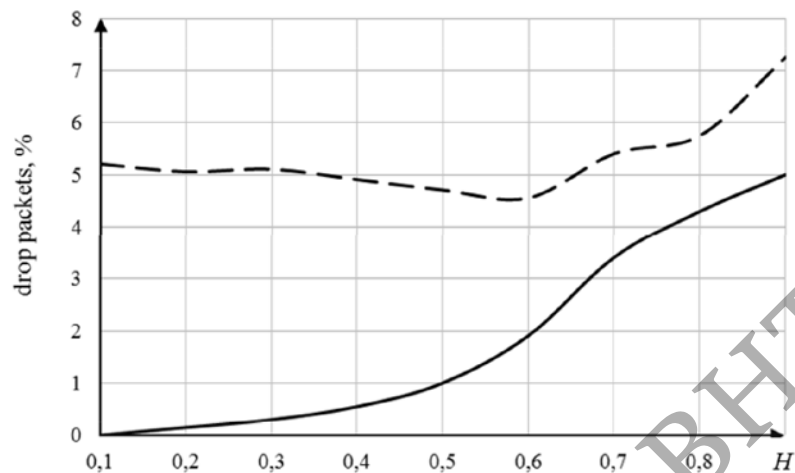


Рисунок 4.3 - Залежність відсотка відкинутих пакетів від коефіцієнта Херста

У моделі негарантованої доставки даних при використанні алгоритму обслуговування черг стандартної процедури FIFO основною причиною відкидання пакета є переповнення буфера черги. Тому результат експерименту певною мірою може бути інтерпретований як ймовірність блокування системи G/D/1 з кінцевим розміром буфера за умови, що символ G в даному випадку означає розподіл Парето. З графіка рис. 4.3 видно, що з значень H від 0,1 до 0,6 спостерігається плавне зменшення кількості відкинутих пакетів. Подальше збільшення параметра Херста призводить до значного зростання кількості втрат пакетів. Мінімальний відсоток втрат спостерігається на  $H = 0,6$  – 4,66%, максимальний відсоток – на  $H = 0,9$  – 7,26%. Таким чином, збільшення втрат пакетів із зростанням параметра Херста свідчить про неефективність роботи алгоритму FIFO для потоків із самоподібністю.

За аналогічною схемою було проведено експеримент моделі диференційованого обслуговування, коли якість обслуговування визначалося зваженим механізмом довільного раннього виявлення (WRED) [4]. У схемі рис. 4.2 замість алгоритму FIFO слід у разі записати алгоритм WRED. Плавне

регулювання розміру черги алгоритмом WRED в даному експерименті характеризується наступними параметрами: при розмірі черги рівної 10 пакетів ймовірність відкидання пакетів дорівнює 0, при зміні черги від 10 до 30 пакетів ймовірність відкидання пакетів лінійно зростає до величини 0,0.

Результат експерименту представлений на рис. 4.3 суцільною (згладженою) кривою. Порівняння кривих на рис. 4.3 переконливо показує перевагу керування трафіком алгоритмом WRED.

Проаналізуємо ситуацію, пов'язану із спільною передачею TCP та UDP трафіку [9]. І тому розглянемо схему, подану на рис. 4.4.

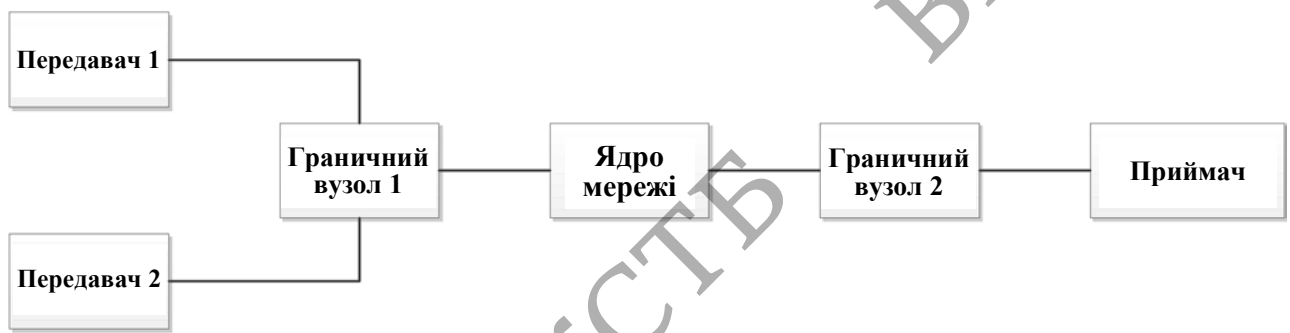


Рисунок 4.4 – Структура імітаційної моделі сегменту корпоративної телекомунікаційної мережі

Джерело 1 є генератором трафіку UDP із постійною швидкістю (CBR). Джерело 2 генерує трафік TCP за моделлю ON/OFF з використанням розподілу Парето при різних значеннях параметра форми. Обробка результатів моделювання (трейс-файлу) здійснювалася за допомогою програми TraceGraph. З її допомогою була зібрана статистика, що показує величини затримки (мінімальну, середню, максимальну) та джиттера між джерелом 2 та одержувачем [9]. Цей експеримент дозволяє з'ясувати характер залежностей даних параметрів розміру пакета, швидкості потоку та параметра форми трафіку Парето [5]. Деякі результати наведені нижче на рис. 4.5, 4.6, 4.7.



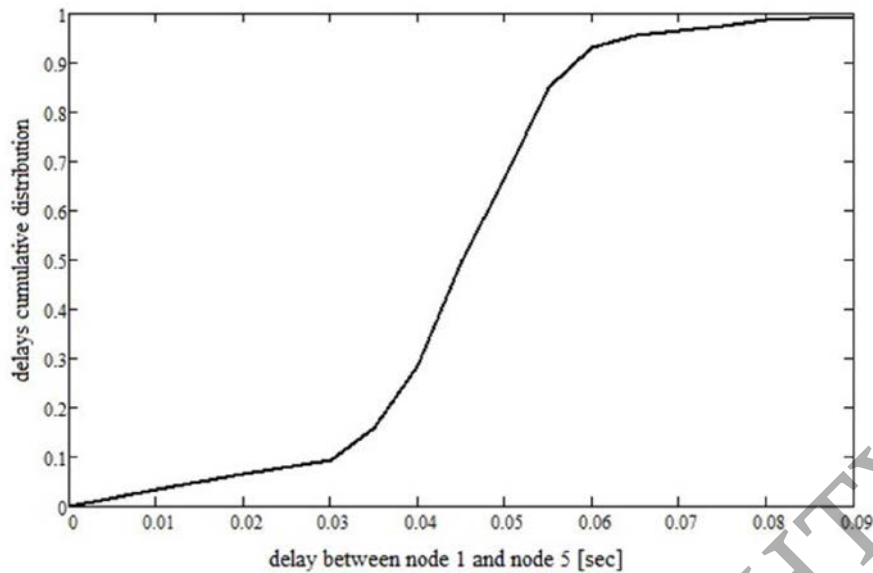


Рисунок 4.5 - Функція розподілу затримки: швидкість потоку 20 Мбіт/с, довжина пакета 1500 байт, параметр форми 3,5

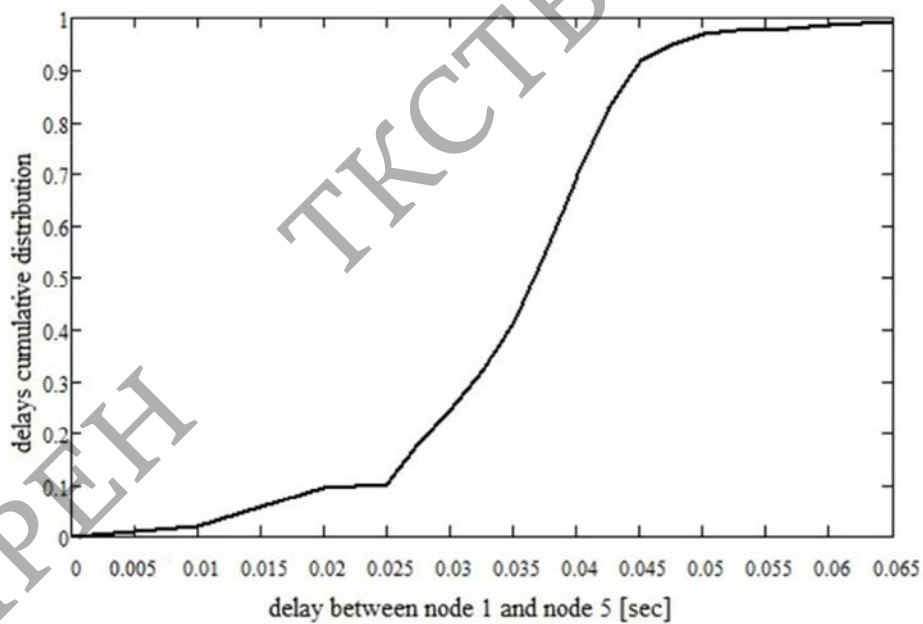


Рисунок 4.6 - Функція розподілу затримки: швидкість потоку 10 Мбіт/с, довжина пакета 1000 байт, параметр форми 1,5

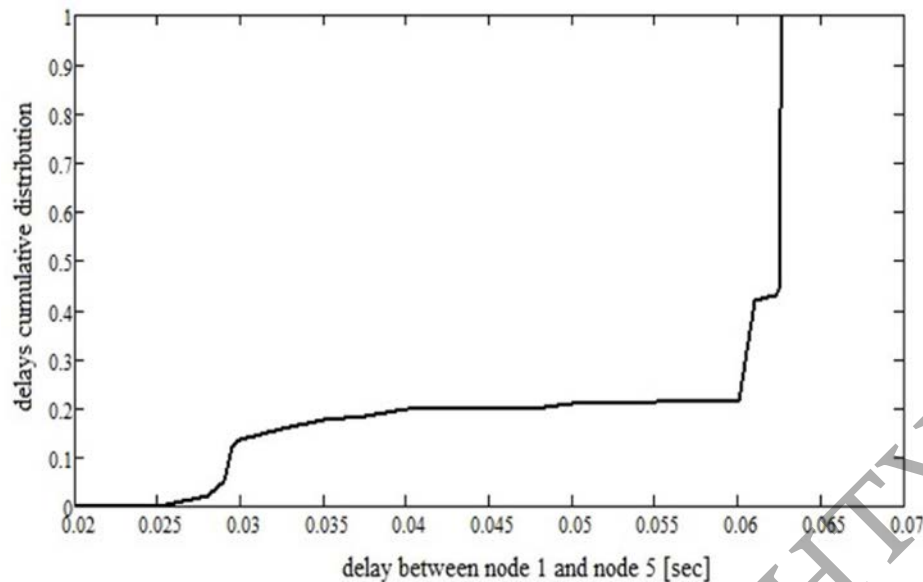


Рисунок 4.7 - Функція розподілу затримки: швидкість потоку 5 Мбіт/с, довжина пакета 1500 байт, параметр форми 1,5

З аналізу наведених графіків випливає, що для швидкості потоку 20 Мбіт/с і 10 Мбіт/с величини затримки розподілені досить рівномірно в діапазоні від 0,03 до 0,07 с для різних довжин пакетів. При цьому параметр форми (що приймає значення 1,5; 3,5) не помітно впливає на аналізовану характеристику. Для швидкості потоку 5 Мбіт/с виявилось, що функція розподілу затримки має нерівномірний характер. Чим менша довжина пакета, тим менша величина затримки. Параметр форми практично не впливає на цю характеристику.

Цікавим є аналіз залежності затримки між джерелом і одержувачем від часу відправлення пакетів (або, фактично, часу моделювання). Нижче на рис. 4.8 – 4.12 представлені ці залежності для різних поєднань параметрів, що моделюються. З наведених результатів випливає, що затримка між одним із джерел і одержувачем має періодичний (пилоподібний) характер із змінною «частотою» прямування і «амплітудою». Це пов'язано насамперед із генеруванням трафіку Парето On/Off періодами. На вищих швидкостях потоку характер поведінки приблизно однаковий. На розкид значень затримок впливає параметр форми та довжина пакета.

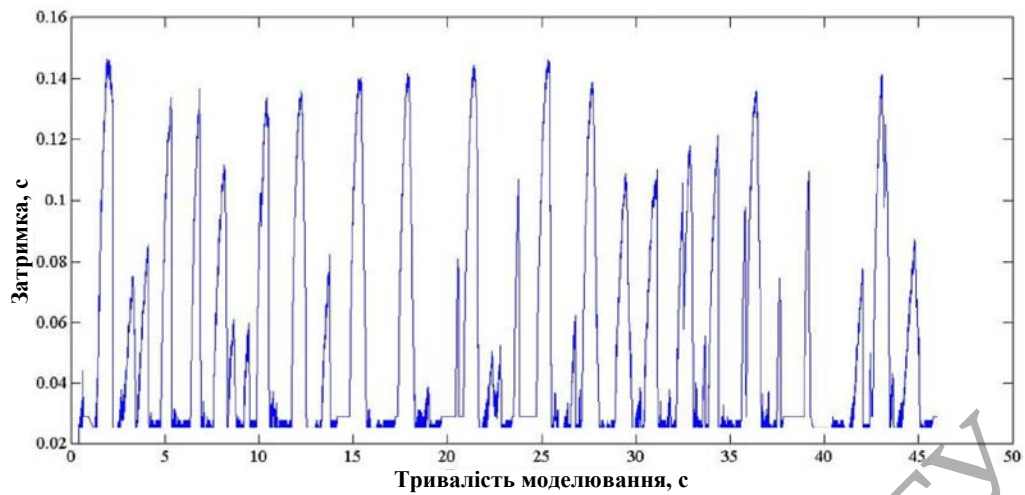


Рисунок 4.8 - Затримка між джерелом та одержувачем: швидкість потоку 20 Мбіт/с, довжина пакета 1500 байт, параметр форми 1,5

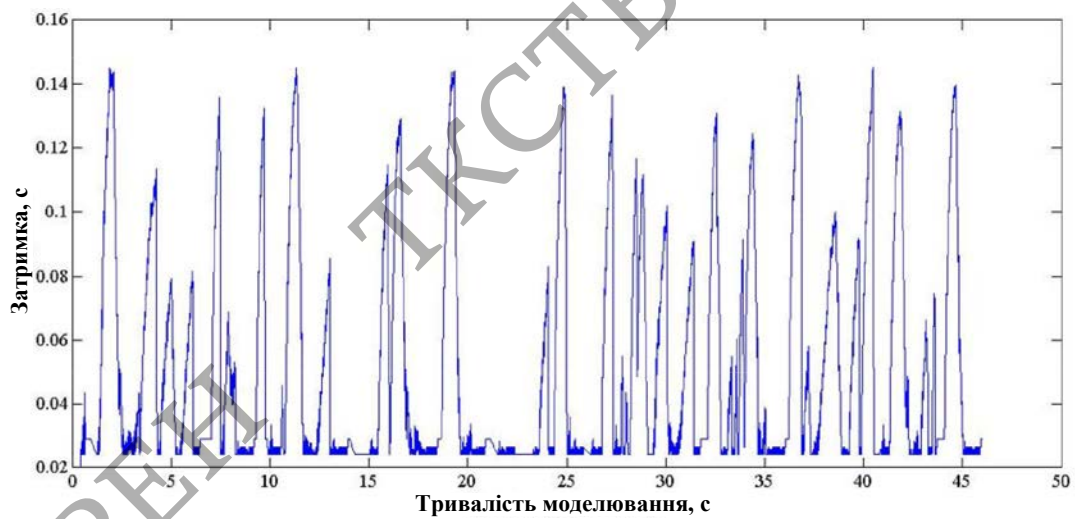


Рисунок 4.9 - Затримка між джерелом та одержувачем: швидкість потоку 20 Мбіт/с, довжина пакета 1500 байт, параметр форми 3,5

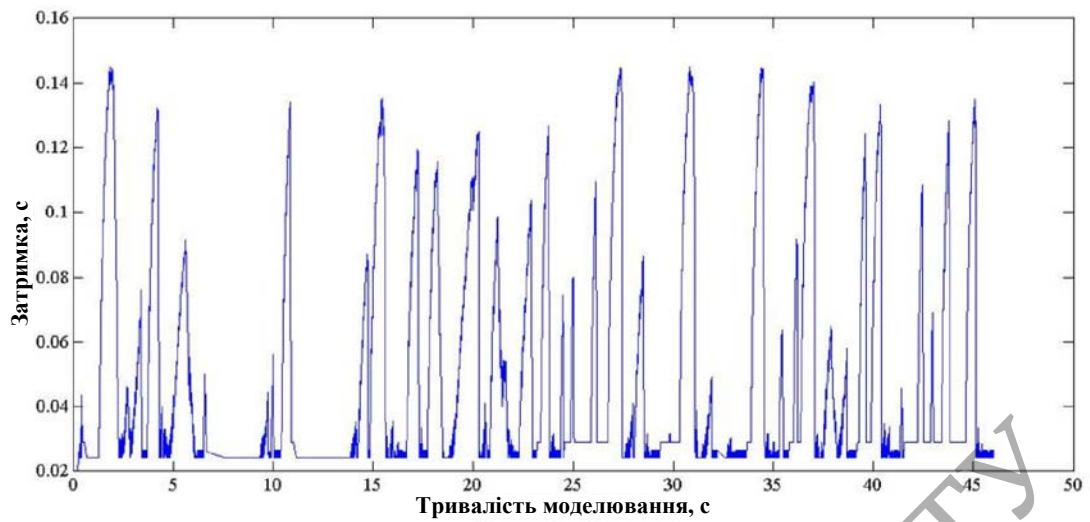


Рисунок 4.10 - Затримка між джерелом та одержувачем: швидкість потоку 10 Мбіт/с, довжина пакета 1500 байт, параметр форми 1,5

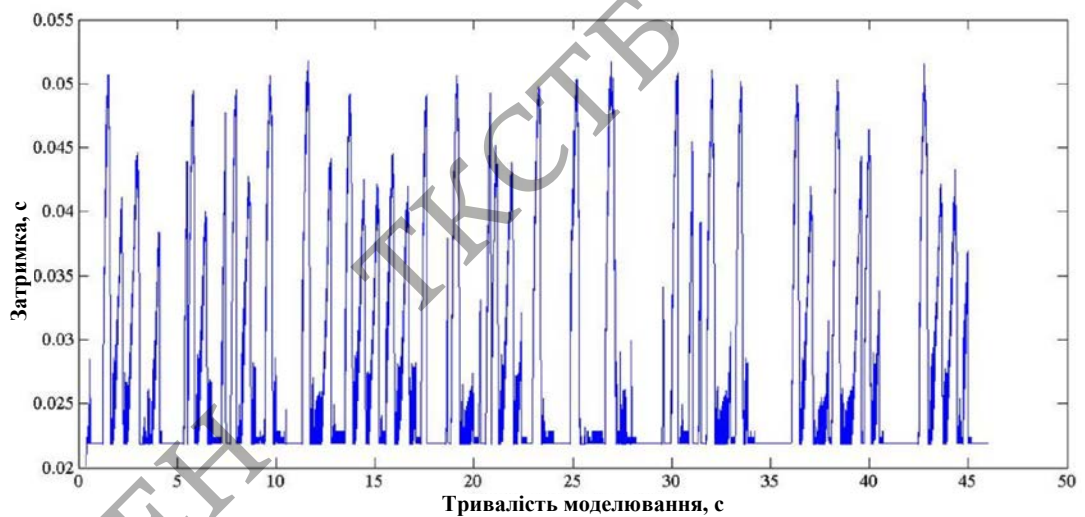


Рисунок 4.11 - Затримка між джерелом та одержувачем: швидкість потоку 10 Мбіт/с, довжина пакета 500 байт, параметр форми 1,5

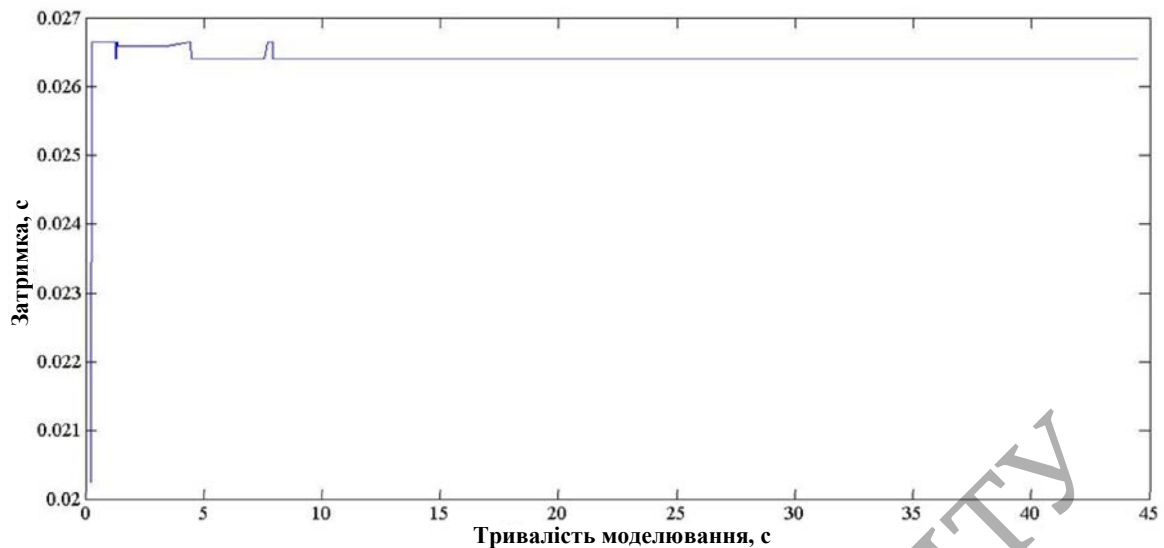


Рисунок 4.12 - Затримка між джерелом та одержувачем: швидкість потоку 5 Мбіт/с, довжина пакета 1000 байт, параметр форми 1,5

Слід зазначити, що зміна затримки залежить від швидкості потоку. Якщо для швидкостей 20 Мбіт/с та 10 Мбіт/с відмінності в затримці непомітні для ока, то за швидкості 5 Мбіт/с вони очевидні. Об'єктивну оцінку зазначених змін дає лише статистична обробка результатів моделювання, наведена на рис. 4.5 – 4.7.

Узагальнюючи висновок по рис. 4.8 – 4.12 можна назвати, що з збільшенні довжини пакета однієї і тієї ж швидкості спостерігається як збільшення величини затримки, а й розкид її значень між максимальним і мінімальним значеннями. Отже, при виборі довжини пакета необхідно керуватися типом трафіку, що передається, його класом обслуговування і чутливістю до затримок. Крім того, для невеликого завантаження мережі (при малих швидкості передачі та довжині пакета) характерна сталість затримки протягом усього часу передачі пакетів [9]. Тепер промодельюємо роботу фрагмента мережі, представленого на рис. 4.13 [5].

Для імітації ситуації у реальній мережі разом із обробкою досліджуваного трафіку обробляється фоновий трафік. Фоновим для основного є поєднання CBR (Constant Bit Rate) трафіку з постійною бітовою швидкістю та ON/OFF-трафіку з розподілом Парето ON та OFF періодів.

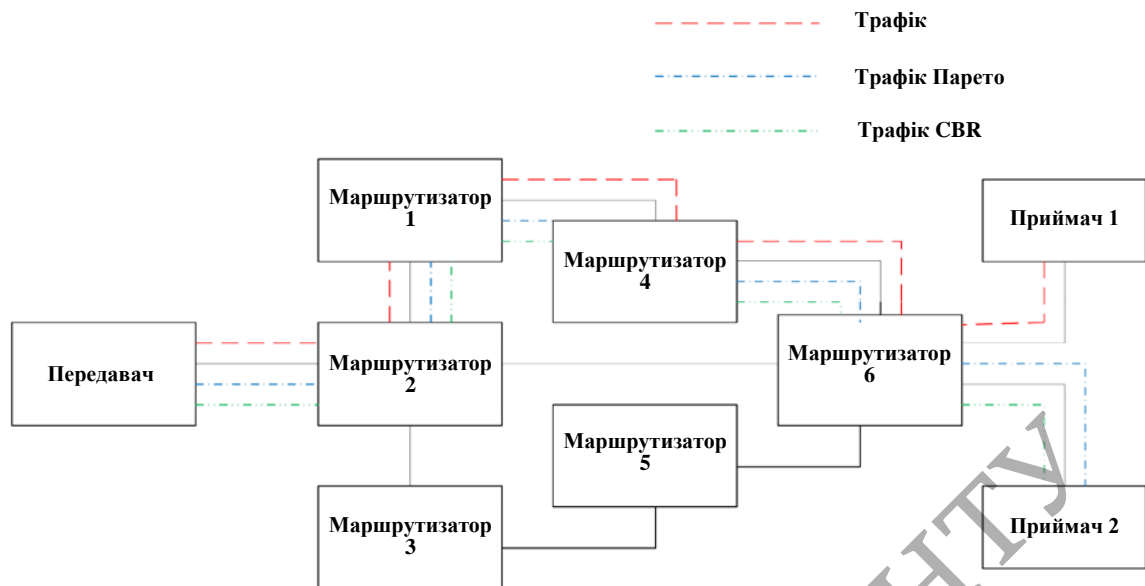


Рисунок 4.13 – Структурна схема імітаційної моделі сегменту корпоративної мережі підвищеної захищеності

Досліджуваний трафік передається між джерелом та одержувачем 1. Конкуруючий з цим потоком фоновий трафік передається від джерела до одержувача 2 і реалізується генерацією CBR та ON/OFF-трафіку. Як основний потік обробляється трафік IPTV. Цей трафік, зафіксований у реальній лінії зв'язку, імпортований у симулятор NS2.

Подана схема дозволяє проаналізувати вплив кореляційних властивостей довжин пакетів (через завдання параметра форми розподілу Парето, який задає значення параметра Херста  $i$ , отже, кореляційні властивості трафіку) результати обробки трафіку одержувачем. В експерименті аналізувалися такі параметри якості обслуговування: затримка, джиттер та частка втрачених пакетів.

Для трафіку IPTV зміна затримки пакетів у часі та джиттера у часі наведено на рис. 4.14 та 4.15, відповідно.

Аналіз результатів моделювання показав, що в процесі обробки трафіку параметри QoS, які традиційно використовуються для оцінки ефективності обробки потоків, мало відрізняються для різних моделей трафіку. Найбільш наближені параметри QoS при обробці реального трафіку отримані для фонові

моделі у вигляді ON/OFF процесу з розподілом Парето. При цьому такий параметр, як ймовірність скидання пакета для корелованого трафіку, значно перевищує допустимі значення QoS.

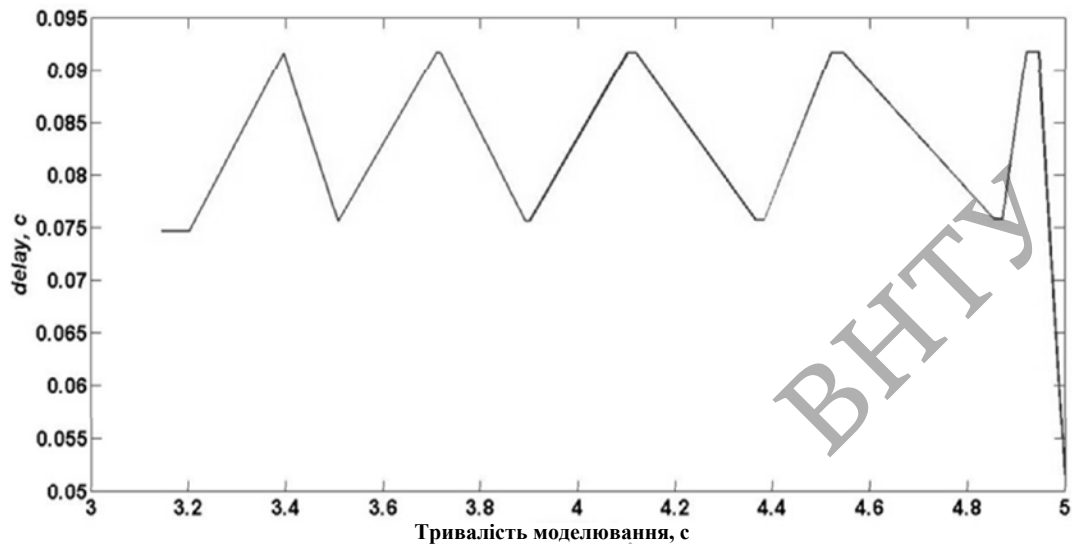


Рисунок 4.14 - Зміна затримки для трафіку мережі IPTV

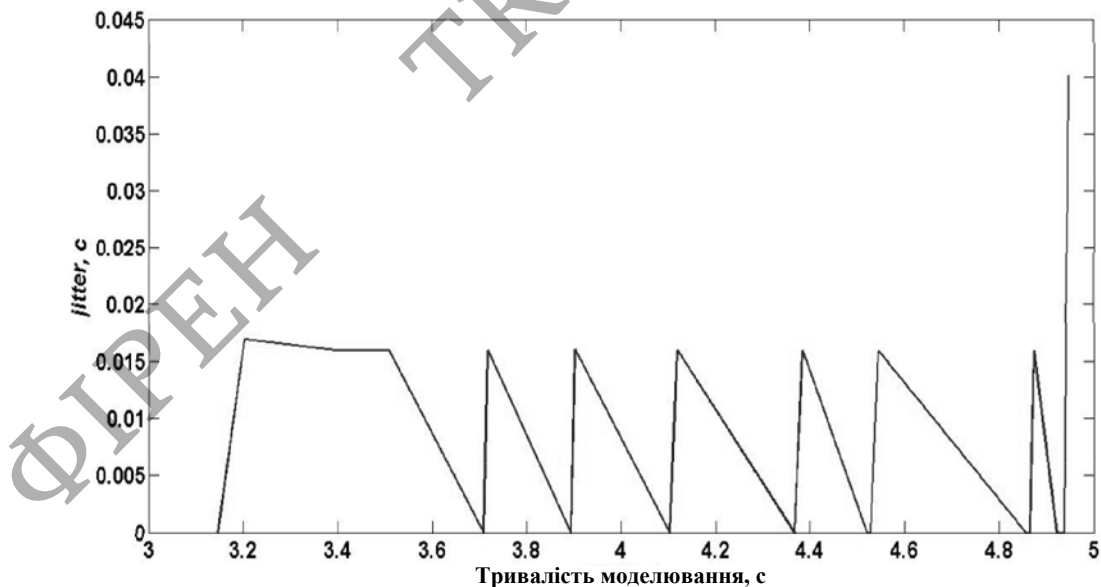


Рисунок 4.15 - Зміна джиттера для трафіку IPTV

Результати моделювання представлені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. - Результати моделювання

Параметри QoS	Тип трафіку		
	CBR	ON/OFF з розподілом Парето	IPTV
Затримка, мс	80	91	82
Джитер, мс	5	0,51	8
Ймовірність втрат, %	0	5	0,3
Ймовірність скиду, %	6,5	0,3	12

Як зазначено в документах, що регламентують параметри якості обслуговування в операторських мережах [7], при передачі VoIP трафіку втрати пакетів не повинні перевищувати 0,25%, а при передачі потокового відео – не більше ніж 1%.

Знання цих характеристик дає інформацію для покращення параметрів мережевого керування та підвищення рівня якості обслуговування в мережі.

#### 4.4 Висновки до розділу 4

1. Для експериментальної перевірки теоретичних результатів, отриманих у підрозділах 1 та 2, здійснено вибір платформи моделювання фрагментів МСП виходячи з критеріїв: - детальна реалізація протоколів функціонування мереж; - можливість написання та підключення власних модулів; - можливість зміни параметрів моделювання під час проведення експериментів - платформна незалежність - розвинений графічний інтерфейс - ціна продукту. У результаті як платформа моделювання обраний об'єктно-орієнтований програмний продукт NS2, що вільно розповсюджується, ядро якого реалізовано мовою C++.

2. Для аналізу ступеня впливу самоподібності трафіку на рівень втрати пакетів поставлено експеримент для моделі негарантованої доставки даних (з керуванням черги алгоритмом FIFO) та моделі диференційованого обслуговування (з керуванням чергою алгоритмом WRED). При використанні розподілу Парето для інтервалів між пакетами та постійним часом



обслуговування пакетів у моделі негарантованої доставки даних показано, що при збільшенні параметра Херста  $H$  в інтервалі значень від 0,1 до 0,6 спостерігається збільшення кількості втрачених пакетів. Мінімальний відсоток втрат спостерігається на  $H = 0,6$  – 4,66%, максимальний відсоток – на  $H = 0,9$  – 7,26%. Збільшення втрат пакетів із зростанням параметра Херста свідчить про неефективність роботи алгоритму FIFO для потоків із самоподібністю. У моделі диференційованого обслуговування при  $H = 0,6$  втрачається загалом 2% пакетів, при  $H = 0,9$  – 5%.

3. Моделювання варіанта спільної передачі TCP і UDP (CBR) трафіку (TCP – трафік Парето) показало, що затримка пакетів у моделюваному фрагменті мережі в діапазоні швидкостей потоку від 20 Мбіт/с до 10 Мбіт/с затримки розподілені рівномірно в діапазоні від 0,03 с до 0,07 с за різних довжин пакетів. Значення параметра форми розподілу Парето при цьому істотно не впливає на затримку. Для швидкості потоку 5 Мбіт/с інтегральна функція розподілу затримки має нерівномірний характер, що характеризує, можливо, стрибкоподібний характер зміни затримки. Залежність затримки між джерелом та одержувачем від часу відправлення пакетів має циклічний характер із змінною «частотою» прямування та «амплітудою».

4. Розглянуто схему експерименту, в якій фоновий трафік, що конкурує з основним IPTV-трафіком, передається від джерела до одержувача і реалізується генерацією CBR та ON/OFF-трафіку (трафік IPTV імпортований у NS2 з реальної лінії зв'язку). Аналіз зміни затримки пакетів та джиттера показав, що в процесі обробки трафіку ті параметри QoS, які традиційно використовуються для оцінки ефективності обробки потоків, мало відрізняються для різних моделей трафіку (IPTV, CBR та ON/OFF-трафіку). Найбільш наближені параметри QoS при обробці реального трафіку отримані для фонові моделі у вигляді ON/OFF процесу з розподілом Парето. При цьому такий параметр, як ймовірність скидання пакета, для корельованого трафіку IPTV значно перевищує допустимі значення QoS.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Виконання науково-дослідної роботи завжди передбачає отримання певних результатів і вимагає відповідних витрат. Результати виконаної роботи завжди дають нам нові знання, які в подальшому можуть бути використані для удосконалення та/або розробки (побудови) нових, більш продуктивних зразків техніки, процесів та програмного забезпечення.

Дослідження на тему «Методи та моделі прогнозування завадозахищеності корпоративних телекомунікаційних мереж» може бути віднесено до фундаментальних і пошукових наукових досліджень і спрямоване на вирішення наукових проблем, пов'язаних з практичним застосуванням. Основою таких досліджень є науковий ефект, який виражається в отриманні наукових результатів, які збільшують обсяг знань про природу, техніку та суспільство, які розвивають теоретичну базу в тому чи іншому науковому напрямку, що дозволяє виявити нові закономірності, які можуть використовуватися на практиці.

Для цього випадку виконаємо такі етапи робіт:

- 1) здійснимо проведення наукового аудиту досліджень, тобто встановлення їх наукового рівня та значимості;
- 2) проведемо планування витрат на проведення наукових досліджень;
- 3) здійснимо розрахунок рівня важливості наукового дослідження та перспективності, визначимо ефективність наукових досліджень.

### 5.1 Оцінювання наукового ефекту

Основними ознаками наукового ефекту науково-дослідної роботи є новизна роботи, рівень її теоретичного опрацювання, перспективність, рівень розповсюдження результатів, можливість реалізації. Науковий ефект НДР на тему «Методи та моделі прогнозування завадозахищеності корпоративних телекомунікаційних мереж» можна охарактеризувати двома показниками: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного опрацювання.

Значення показників ступеня новизни і рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи в балах наведені в табл. 5.1 та 5.2.

Таблиця 5.1 – Показники ступеня новизни науково-дослідної роботи виставлені експертами

Ступінь новизни	Характеристика ступеня новизни	Значення ступеня новизни, бали		
		Експерти (ПШБ, посада)		
		1	2	3
Принципово нова	Робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження. Результати дослідження відкривають новий напрям в даній галузі науки і техніки. Отримані принципово нові факти, закономірності; розроблена нова теорія. Створено принципово новий пристрій, спосіб, метод	0	0	0
Нова	Отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних значень (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту). Проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів	0	55	60
Відносно нова	Робота має елементи новизни в постановці задачі і методах дослідження. Результати дослідження систематизують і узагальнюють наявну інформацію, визначають шляхи подальших досліджень; вперше знайдено зв'язок (або знайдено новий зв'язок) між явищами. В принципі відомі положення розповсюджені на велику кількість об'єктів, в результаті чого знайдено ефективне рішення. Розроблені більш прості способи для досягнення відомих результатів. Проведена часткова раціональна модифікація (з ознаками новизни)	40	0	0
Традиційна	Робота виконана за традиційною методикою. Результати дослідження мають інформаційний характер. Підтверджені або поставлені під сумнів відомі факти та твердження, які потребують перевірки. Знайдено новий варіант рішення, який не дає суттєвих переваг в порівнянні з існуючим	0	0	0
Не нова	Отримано результат, який раніше зафіксований в інформаційному полі, та не був відомий авторам	0	0	0
<b>Середнє значення балів експертів</b>		51,7		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів ступінь новизни характеризується як нова, тобто отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних знань (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту) та проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів.

Таблиця 5.2 – Показники рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи виставлені експертами

Характеристика рівня теоретичного опрацювання	Значення показника рівня теоретичного опрацювання, бали		
	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
Відкриття закону, розробка теорії	0	0	0
Глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу	60	0	60
Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	0	55	0
Елементарний аналіз зв'язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо	0	0	0
Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	0	0	0
<b>Середнє значення балів експертів</b>	58,3		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів рівень теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи характеризується як розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини.

Показник, який характеризує рівень наукового ефекту, визначаємо за формулою [24]:

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}}, \quad (5.1)$$

де  $k_{нов}$ ,  $k_{теор}$  - показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи,  $k_{нов} = 51,7$ ,  $k_{теор} = 58,3$  балів;

0,6 та 0,4 – питома вага (значимість) показників ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи.

$$E_{нау} = 0,6 \cdot k_{нов} + 0,4 \cdot k_{теор} = 0,6 \cdot 51,7 + 0,4 \cdot 58,33 = 54,33 \text{ балів.}$$

Визначення характеристики показника  $E_{нау}$  проводиться на основі висновків експертів виходячи з граничних значень, які наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Граничні значення показника наукового ефекту

Досягнутий рівень показника	Кількість балів
Високий	70...100
Середній	50...69
Достатній	15...49
Низький (помилкові дослідження)	1...14

Відповідно до визначеного рівня наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Методи та моделі прогнозування завадозахищеності корпоративних телекомунікаційних мереж», даний рівень становить 54,33 балів і відповідає статусу - середній рівень. Тобто у даному випадку можна вести мову про потенційну фактичну ефективність науково-дослідної роботи.

## 5.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Методи та моделі прогнозування завадозахищеності корпоративних телекомунікаційних мереж», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

### 5.2.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

#### Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників ( $Z_o$ ) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [24]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (5.2)$$

де  $k$  – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

$M_{ni}$  – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

$t_i$  – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

$T_p$  – середнє число робочих днів в місяці,  $T_p=21$  дні.

$$Z_o = 12000,00 \cdot 21 / 21 = 12000,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.4 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник дослідження	12000,00	571,43	21	12000,00
Науковий співробітник	11000,00	523,81	12	6285,71
Інженер	10000,00	476,19	21	10000,00
Лаборант	6500,00	309,52	15	4642,86
Всього				32928,57

### Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників ( $Z_p$ ) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Методи та моделі прогнозування заводозахищеності корпоративних телекомунікаційних мереж» розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.3)$$

де  $C_i$  – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

$t_i$  – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду  $C_i$  можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.4)$$

де  $M_M$  – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo  $M_M=2379,00$  грн;

$K_i$  – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [24];

$K_c$  – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

$T_p$  – середнє число робочих днів в місяці, приблизно  $T_p = 21$  дн;

$t_{зм}$  – тривалість зміни, год.

$$C_l = 2379,00 \cdot 1,10 \cdot 1,5 / (21 \cdot 8) = 23,37 \text{ грн.}$$

$$Z_{pl} = 23,37 \cdot 1,00 = 23,37 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
монтаж офісного обладнання	1,00	2	1,10	23,37	23,37
інсталяція програмного забезпечення	1,50	5	1,70	36,11	54,16
інсталяція імітаторів завад	2,35	4	1,50	31,86	74,87
налагодження системи	1,50	5	1,70	36,11	54,16
Всього					206,57

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{дод}}}{100\%}, \quad (5.5)$$

де  $H_{\text{дод}}$  – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 10%.

$$Z_{\text{дод}} = (32928,57 + 206,57) \cdot 10 / 100\% = 3313,51 \text{ грн.}$$

### 5.2.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \quad (5.6)$$



де  $H_{zn}$  – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (32928,57 + 206,57 + 3313,51) \cdot 22 / 100\% = 8018,70 \text{ грн.}$$

### 5.2.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Методи та моделі прогнозування завадозахищеності корпоративних телекомунікаційних мереж».

Витрати на матеріали ( $M$ ), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej}, \quad (5.7)$$

де  $H_j$  – норма витрат матеріалу  $j$ -го найменування, кг;

$n$  – кількість видів матеріалів;

$C_j$  – вартість матеріалу  $j$ -го найменування, грн/кг;

$K_j$  – коефіцієнт транспортних витрат, ( $K_j = 1,1 \dots 1,15$ );

$B_j$  – маса відходів  $j$ -го найменування, кг;

$C_{ej}$  – вартість відходів  $j$ -го найменування, грн/кг.

$$M_1 = 3,00 \cdot 115,00 \cdot 1,1 - 0,000 \cdot 0,00 = 379,50 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.6 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Папір канцелярський офісний А4	115,00	3,00	0,000	0,00	379,50
Папір для заміток А5	65,00	2,00	0,000	0,00	143,00
Начиння канцелярське	186,00	4,00	0,000	0,00	818,40
Органайзер офісний	246,00	4,00	0,000	0,00	1082,40
Картридж для принтера HP-1600	1260,00	1,00	0,000	0,00	1386,00
Диск оптичний (CD-R)	15,00	3,00	0,000	0,00	49,50
FLASH-пам'ять (16 ГБ)	269,00	1,00	0,000	0,00	295,90
Всього					4154,70

#### 5.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі ( $K_6$ ), які використовують при проведенні НДР на тему «Методи та моделі прогнозування заводо захищеності корпоративних телекомунікаційних мереж», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою:

$$K_6 = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (5.8)$$

де  $H_j$  – кількість комплектуючих  $j$ -го виду, шт.;

$C_j$  – покупна ціна комплектуючих  $j$ -го виду, грн;

$K_j$  – коефіцієнт транспортних витрат, ( $K_j = 1,1 \dots 1,15$ ).

$$K_6 = 1 \cdot 9750,00 \cdot 1,1 = 10725,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.7 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Сервер	1	9750,00	10725,00
Всього			10725,00

### 5.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.}i} \cdot K_i, \quad (5.9)$$

де  $C_i$  – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{\text{пр.}i}$  – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

$K_i$  – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ( $K_i = 1, 10 \dots 1, 12$ );

$k$  – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 1280,00 \cdot 1 \cdot 1,11 = 1420,80 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.8 – Витрати на придбання спеціалізованого обладнання по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Роутер	1	1280,00	1420,80
Термінальне обладнання	1	4300,00	4773,00
Набір інтерфейсів	1	920,00	1021,20
Всього			7215,00

### 5.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{прг}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{прг}} \cdot C_{\text{прг.}i} \cdot K_i, \quad (5.10)$$

де  $C_{\text{прг}}$  – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{\text{прг.}i}$  – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

$K_i$  – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ( $K_i = 1, 10 \dots 1, 12$ );

$k$  – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{\text{прг}} = 7500,00 \cdot 1 \cdot 1,2 = 9000,00 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.9 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Windows	1	7500,00	9000,00
Microsoft Office	1	8400,00	10080,00
Програмний пакет обробки даних	1	22500,00	27000,00
Імітатори термінальних пристроїв	3	1280,00	4608,00
Всього			50688,00

### 5.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_б}{T_в} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.11)$$

де  $Ц_б$  – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$  – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_в$  – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (22500,00 \cdot 1) / (3 \cdot 12) = 625,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.10 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Програмно-аналітичний модуль	22500,00	3	1	625,00
Мікропроцесорні пристрої	8640,00	5	1	144,00
Програмний комплекс проведення досліджень	17560,00	3	1	487,78
Місце оператора спеціалізоване	7300,00	5	1	121,67
Маршрутизатор	2100,00	4	1	43,75
Оргтехніка	9750,00	25	1	32,50
Програмне забезпечення	9200,00	2	1	383,33
Генератор завод аналоговий	760,00	5	1	12,67
Генератор завод цифровий	1100,00	5	1	18,33
Приміщення лабораторії	200000,00	25	1	666,67
Всього				2535,69

### 5.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію ( $B_e$ ) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{vni}}{\eta_i}, \quad (5.12)$$

де  $W_{yi}$  – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

$t_i$  – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

$C_e$  – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo  $C_e = 4,05$  грн;

$K_{eni}$  – коефіцієнт, що враховує використання потужності,  $K_{eni} < 1$ ;

$\eta_i$  – коефіцієнт корисної дії обладнання,  $\eta_i < 1$ .

$$B_e = 0,30 \cdot 75,0 \cdot 4,05 \cdot 0,95 / 0,97 = 91,13 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.11 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Сервер	0,30	75,0	91,13
Роутер	0,12	75,0	36,45
Термінальне обладнання	0,36	75,0	109,35
Програмно-аналітичний модуль	0,64	160,0	414,72
Мікропроцесорні пристрої	0,25	75,0	75,94
Програмний комплекс проведення досліджень	0,75	160,0	486,00
Місце оператора спеціалізоване	0,50	160,0	324,00
Маршрутизатор	0,06	75,0	18,23
Оргтехніка	0,96	20,0	77,76
Генератор завод	0,02	30,0	2,43
Всього			1636,00

### 5.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Методи та моделі прогнозування заводозахисності корпоративних телекомунікаційних мереж» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cb} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cb}}{100\%}, \quad (5.13)$$

де  $H_{cb}$  – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», прийmemo  $H_{cb} = 25\%$ .

$$B_{cb} = (32928,57 + 206,57) \cdot 25 / 100\% = 8283,79 \text{ грн.}$$

5.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (5.14)$$

де  $H_{cn}$  – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», прийmemo  $H_{cn} = 35\%$ .

$$B_{cn} = (32928,57 + 206,57) \cdot 35 / 100\% = 11597,30 \text{ грн.}$$



### 5.2.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_{\text{в}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{ив}}}{100\%}, \quad (5.15)$$

де  $H_{\text{ив}}$  – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo  $H_{\text{ив}} = 55\%$ .

$$I_{\text{в}} = (32928,57 + 206,57) \cdot 55 / 100\% = 18224,33 \text{ грн.}$$

### 5.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{\text{нзв}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{нзв}}}{100\%}, \quad (5.16)$$

де  $H_{\text{нзв}}$  – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo  $H_{\text{нзв}} = 110\%$ .

$$B_{нзв} = (32928,57 + 206,57) \cdot 110 / 100\% = 36448,65 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Методи та моделі прогнозування завадозахищеності корпоративних телекомунікаційних мереж» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{доо} + Z_n + M + K_v + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_v + B_{нзв}. \quad (5.17)$$

$$B_{заг} = 32928,57 + 206,57 + 3313,51 + 8018,70 + 4154,70 + 10725,00 + 7215,00 + 50688,00 + 2535,69 + 1636,00 + 8283,79 + 11597,30 + 18224,33 + 36448,65 = 195975,82 \text{ грн.}$$

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

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (5.18)$$

де  $\eta$  - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo  $\eta = 0,85$ .

$$ZB = 195975,82 / 0,85 = 230559,79 \text{ грн.}$$

5.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи

Оцінювання та доведення ефективності виконання науково-дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру є достатньо складним процесом і часто базується на експертних оцінках, тому має вірогідний характер.

Для обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи на тему «Методи та моделі прогнозування завадозахищеності корпоративних телекомунікаційних мереж» використовується спеціальний комплексний показник, що враховує важливість, результативність роботи, можливість впровадження її результатів у виробництво, величину витрат на роботу.

Комплексний показник  $K_p$  рівня науково-дослідної роботи може бути розрахований за формулою:

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t}, \quad (5.19)$$

де  $I$  – коефіцієнт важливості роботи. Прийmemo  $I = 4$ ;

$n$  – коефіцієнт використання результатів роботи;  $n = 0$ , коли результати роботи не будуть використовуватись;  $n = 1$ , коли результати роботи будуть використовуватись частково;  $n = 2$ , коли результати роботи будуть використовуватись в дослідно-конструкторських розробках;  $n = 3$ , коли результати можуть використовуватись навіть без проведення дослідно-конструкторських розробок. Прийmemo  $n = 2$ ;

$T_c$  – коефіцієнт складності роботи. Прийmemo  $T_c = 2$ ;

$R$  – коефіцієнт результативності роботи; якщо результати роботи плануються вище відомих, то  $R = 4$ ; якщо результати роботи відповідають відомому рівню, то  $R = 3$ ; якщо нижче відомих результатів, то  $R = 1$ . Прийmemo  $R = 4$ ;

$B$  – вартість науково-дослідної роботи, тис. грн. Прийmemo  $B = 230559,79$  грн;

$t$  – час проведення дослідження. Прийmemo  $t = 0,08$  років, (1 міс.).

Визначення показників  $I, n, T_c, R, B, t$  здійснюється експертним шляхом або на основі нормативів [24].

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t} = 6,66$$

Якщо  $K_p > 1$ , то науково-дослідну роботу на тему «Методи та моделі прогнозування завадозахищеності корпоративних телекомунікаційних мереж» можна вважати ефективною з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

#### 5.4 Висновок до розділу 5

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Методи та моделі прогнозування завадозахищеності корпоративних телекомунікаційних мереж» складають 230559,79 грн. Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Методи та моделі прогнозування завадозахищеності корпоративних телекомунікаційних мереж» є середній, а дослідження актуальними, рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи  $K_p > 1$ , що свідчить про потенційну ефективність з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Сучасні технології та техніка, до яких, безперечно належать інформаційно-телекомунікаційні технології, несуть у собі певні потенційні небезпеки та шкідливий вплив. В зв'язку з цим набуває актуальності вивчення фізіологічних, психологічних, соціальних та виробничих наслідків у системі «людина-комп'ютер-середовище» та розробка і впровадження заходів щодо нормалізації праці та збереження здоров'я працівників під час роботи за комп'ютером. Ймовірність негативних наслідків від використання персонального комп'ютера така ж, як і при експлуатації інших технічних пристроїв та обладнання. Нехтування елементарними рекомендаціями має серйозні наслідки для їх власників.

У магістерській кваліфікаційній роботі досліджується методи та моделі прогнозування завадозахищеності корпоративних телекомунікаційних мереж. Всі дослідження і експериментальні процеси відбуваються з участю ПК.

На працівників, що проводять дослідження на ПК можуть впливати такі небезпечні та шкідливі фактори, у відповідності з прийнятою класифікацією за ГОСТ 12.0003.-74 [25].:

Фізичні: підвищена та понижена температура повітря робочої зони; підвищена та понижена рухливість повітря робочої зони; недостатня освітленість робочої зони; недостатність природного освітлення; небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може відбутися через тіло людини; підвищена та понижена вологість повітря; підвищений рівень електромагнітного опромінення.

Психофізіологічні: нервово – психічні перевантаження (монотонність праці, емоційні перевантаження, перенапруга аналізаторів).

## 6.1 Технічні рішення з безпечного виконання робіт

### 6.1.1 Технічні рішення з організації робочого місця під час проектування

Площа, виділена для одного робочого місця з персональним комп'ютером, повинна складати не менше 6 кв. м, а обсяг – не менше 20 куб. м. При розміщенні робочих місць з ПК необхідно дотримуватись таких вимог:

– робочі місця з ПК розміщуються на відстані не менше 1 м від стін зі світловими прорізами;

– відстань між бічними поверхнями ПК має бути не меншою за 1,2 м; – відстань між тильною поверхнею одного ПК та екраном іншого не повинна бути меншою 2,5 м;

– прохід між рядами робочих місць має бути не меншим 1 м. Вимоги цього пункту щодо відстані між бічними поверхнями ПК та відстані між тильною поверхнею одного ПК та екраном іншого враховуються також при розміщенні робочих місць з ПК в суміжних приміщеннях, з урахуванням конструктивних особливостей стін та перегородок. Усі працівники, які виконують роботи, пов'язані з експлуатацією, обслуговуванням, налагодженням та ремонтом ПК, підлягають обов'язковому медичному огляду – попередньому під час оформлення на роботу та періодичному протягом трудової діяльності. Посадові особи та спеціалісти, інші працівники підприємств, які організують та виконують роботи, пов'язані з експлуатацією, профілактичним обслуговуванням, налагодженням та ремонтом ПК, проходять підготовку (підвищення кваліфікації), перевірку знань з охорони праці, а також інструктажі.

### 6.1.2 Електробезпека виробничого приміщення

Класифікація приміщень за категоріями електробезпеки залежно від мікроклімату виробничих будівель. Допустимими визнаються умови праці у будівлях, де відносна вологість повітря не перевищує 60%, температура повітря не перевищує 35 °С, а пил та хімічно агресивне середовище – відсутні. За таких умов праці мікроклімат вважається сухим. Вологими називаються умови роботи, де відносна вологість повітря становить від 60% до 75%. Сирі – це такі умови, які характеризуються відносною вологістю повітря в будівлі більшою за 75%. Особливо сирі умови – це умови, із майже стовідсотковою відносною вологістю повітря. Гарячими умовами праці є становище, при якому температура повітря перевищує 35 °С. Запиленими визнаються умови, при яких виділяється велика кількість виробничого пилу, внаслідок чого він може залишатись на зовнішніх поверхнях або навіть проникати у середину обладнання чи апаратів. До умов праці з хімічно активним середовищем відносять умови, при яких у повітрі протягом тривалого часу залишаються гази або краплі рідин, які негативно впливають на ізолюючі властивості і струмопровідні елементи електричних інструментів.

Класифікація приміщень за рівнем електробезпеки Відповідно до ПУЕ, усі промислові приміщення (цехи, майстерні, склади) за ступенем ймовірності ураження електричним струмом можна розділити на три категорії: Будівлі з підвищеною небезпекою До цього типу будівель належать споруди, в яких наявний принаймні один із таких факторів: сирі приміщення, відносна вологість в яких протягом тривалого часу перевищує 75%; приміщення, в яких пил покриває провідники, забивається всередину машин та обладнання; приміщення зі струмопровідними підлогами (металевими, земляними, цегляними, залізобетонними); приміщення, в яких середня температура повітря зазвичай перевищує +30 °С; приміщення, в яких існує ймовірність одночасного торкання співробітника до зовнішніх елементів електричного устаткування і заземлених металевих конструкцій будівель, технологічного обладнання тощо.

Будівлі з особливо небезпечними умовами Ці будівлі характеризуються як дуже сирі приміщення зі стовідсотковою відносною вологістю. Стеля, стіни, підлога, устаткування у таких приміщеннях постійно вкриті тонким шаром крапель чи пліснявою. Слід бути вкрай обережними, оскільки при виконанні робіт з використанням електричної напруги на відкритому повітрі, всередині посудин, всередині непросохлих приміщень ймовірність ураження співробітників чи сторонніх осіб електричним струмом дуже висока. До будівель з особливо небезпечними умовами належать також споруди з хімічно активним середовищем, яке завдяки своїм властивостям завдає шкоду ізоляції та електричним матеріалам. Окрім того, будівлі, які мають одночасно дві або більше ознаки приміщень з підвищеною безпекою так само належать до будівель із особливо небезпечними умовами.

Будівлі без факторів збільшеної безпеки До цієї категорії належать будівлі, в яких немає жодної з ознак, властивих приміщенням з підвищеною або особливою безпекою [26].

Для забезпечення безпеки від ураження електричним струмом працівника необхідно дотримуватись оптимальних параметрів мікроклімату приміщення.

## 6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

### 6.2.1 Мікроклімат

Допустимі мікрокліматичні умови – поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину можуть викликати зміни теплового стану організму, що швидко минають і нормалізуються та супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції в межах фізіологічної адаптації. При цьому не виникає ушкоджень або порушень стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності [27].



Категорія робіт – розмежування робіт за важкістю на основі загальних енерговитрат організму [27]. Легкі фізичні роботи (категорія I) охоплюють види діяльності, при яких витрата енергії дорівнює 105–140 Вт (90–120 ккал/год.) – категорія Ia та 141–175 Вт (121–150 ккал/год.) – категорія Ib. До категорії Ia належать роботи, що виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження. До категорії Ib належать роботи, що виконуються сидячи, стоячи або пов'язані з ходінням та супроводжуються деяким фізичним напруженням.

Визначаємо наявну категорію робіт, як Ia.

В кабінах, на пультах та місцях керування технологічними процесами, в залах ЕОМ при виконанні робіт операторського типу повинні забезпечуватися такі оптимальні величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, що зазначені в нормативному акті НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. [28]

Оптимальні параметри мікроклімату наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Оптимальні параметри мікроклімату при виконанні робіт операторського типу на ПК для робіт категорії Ia

Період року	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м\с
Холодний	22-24	60-40	0,1
Теплий	23-25	60-40	0,1

Для створення сприятливих умов праці необхідно дотримуватись наведених параметрів мікроклімату робочого приміщення. Здійснювати провітрювання та вологе прибирання робочого приміщення, провести роботи з утеплення зовнішніх стін, провести заміну вікон.

## 6.2.2 Склад повітря робочої зони

Оточуюче нас повітря (атмосфера) є найважливішим фактором забезпечення нашого життя. Без повітря, що потрапляє через дихальні шляхи в легені, вже через декілька хвилин настає смерть. В природних умовах повітря, як правило, не забруднене отруйними речовинами і життю людини не загрожує. Тільки з того часу, коли людина почала використовувати в своїй діяльності шкідливі для її організму речовини, з'явилася загроза її життю. При цьому з'ясувалось, що наші органи чутливості не дозволяють з достатньою точністю визначати якість повітря і запобігати загрози отруєння.

Існує багато різних способів та заходів, призначених для підтримання чистоти повітря виробничих приміщень у відповідності до вимог санітарних норм. Всі вони зводяться до конкретних заходів:

1. Запобігання проникненню шкідливих речовин у повітря робочої зони за рахунок герметизації обладнання, ущільнення з'єднань, люків та отворів, удосконалення технологічного процесу.
2. Видалення шкідливих речовин, що потрапляють у повітря робочої зони, за рахунок вентиляції, аспірації або очищення і нормалізації повітря за допомогою кондиціонерів.
3. Застосування засобів захисту людини

## 6.2.3 Виробниче освітлення

Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 [30] Система природного освітлення відноситься до бокової. Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні зазначені у таблиці 6.2:

Таблиця 6.2 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізювання	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0	IV	б	середній	середній	200	500	4	1,5	2,4	0,9

При експлуатації штучного освітлення здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

Аналіз дії світла на організм людини й основних якостей зорового сприймання дозволяє сформулювати основні вимоги до виробничих приміщень, які полягають в забезпеченні достатньої освітленості робочих поверхонь, рівномірності розподілення яскравості, відсутності глибоких і різких тіней, постійної освітленості в часі.

#### 6.2.4 Виробничий шум

Основними характеристиками звукових коливань є інтенсивність (сила), частота і форма звукової хвилі. Інтенсивність визначається енергією, що переноситься за 1 с звуковою хвилею через поверхню площею 1 м<sup>2</sup>, яка перпендикулярна напрямку розповсюдження звукової хвилі. Одиниця вимірювання – Вт/м<sup>2</sup>. Інтенсивність звуку можна визначити через звуковий тиск, який являє собою різницю між миттєвим значенням тиску в даній точці середовища при проходженні через неї звукових хвиль і середнім значенням тиску, яке існує в тій же точці при відсутності звуку (Па). Діапазон тисків, що

сприймає вухо людини, дуже широкий (10-12Вт/м<sup>2</sup> – поріг больового відчуття, верхня межа), тому інтенсивність звуку виражають у логарифмічних характеристиках, використовуючи параметр, який називають рівнем звукового тиску. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є ДСН 3.3.6.037-99 [31].

Гранично-допустимі рівні шумів санітарними нормами встановлені для кожного класу:

- для високочастотних шумів (вище 800 Гц) – 75-85 дБ;
- для середньо частотних шумів (300-800 Гц) – 85-90 дБ
- для низькочастотних шумів (до 300 Гц) – 90-100 дБ.

Одним з основних технічних заходів є зменшення при експлуатації та на стадії проектування, конструювання обладнання причин шуму і вібрації в самому джерелі утворення. Досягають цього завдяки використанню раціональної конструкції обладнання, заміни ударної дії деталей і машин коливальною, з'єднання елементів гнучкими зв'язками, врівноважування обертових частин механізмів, заміни металевих деталей пластмасовими, забезпечення різних власних частот коливань механізму з частотою збуджуючої сили.

Для захисту від шуму на сьогодні можливі такі рішення:

Максимальна шумоізоляція приміщення: застосування метало пластикових вікон, шумоізолювані двері та спеціальний шар шумоізолюючого матеріалу на стінах.

Засоби захисту для органів слуху у вигляді навушників.

Використання максимально безшумних технічних засобів в роботі.

### 6.2.5 Електромагнітні випромінювання

Під час проведення роботи із використанням ПК на розробника діє підвищений рівень електромагнітного поля.

Електромагнітні випромінювання радіочастотного діапазону, що генеруються ВДТ пов'язані перш за все з частотою формування елемента

зображення, а також з інтенсивністю електронного променя, що зумовлює яскравість точок на екрані.

Допустимі рівні випромінювань моніторів ПК (за вимогами MPR II 1990:10 Шведського національного комітету з вимірювань та досліджень та нормами TCO 9295) наведені в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 - Допустимі рівні випромінювань моніторів ПК

Вид поля	TCO	MPR II
Змінне електричне поле		
5 Гц – 2 кГц	10 В/м	2,5 В/м
2 кГц – 400 кГц	1 В/м на відстані 0,3 м від центра екрана і 0,5 м навколо монітора	2,5 В/м на відстані 0,5 м навколо монітора
Змінне магнітне поле		
5 Гц – 2 кГц	250 нТл 200 мА/м	250 нТл 200 мА/м
2 кГц – 400 кГц	25 нТл 20 мА/м на відстані 0,3 м від центра екрана і 0,5 м навколо монітора	25 нТл 20 мА/м на відстані 0,3 м від центра екрана і 0,5 м навколо монітора

За кордоном застосовують наступний поділ на діапазони НВЧ: L(0,39-1,55 ГГц); S(1,55-5,20 ГГц); R,LS(1,7-2,6 ГГц); H(3,95-5,85 ГГц); C(5,85-8,20 ГГц); X(5,2-11 ГГц); XN(5,40-8,20 ГГц); W, XB(7,02-10,1 ГГц); Ku, Y(12,4-18 ГГц);

Для зменшення впливу електромагнітного випромінювання на працівника слід дотримуватися раціонального режиму роботи та відпочинку.

#### 6.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори безпеки – чинники, обумовлені особливостями фізіології та психології людини, що можуть завдати їй шкоди за певних обставин.

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [32].

Психофізіологічні фактори при роботі з ПК:

перенапруження зорових аналізаторів;

монотонність трудового процесу;

розумове перенапруження;

нервово-емоційні перевантаження.

Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження:

Зміст роботи – рішення складних завдань з вибором за алгоритмом;

Сприймання інформації та їх оцінка – сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій;

Розподіл функцій за ступенем складності завдання - обробка, контроль, перевірка завдання.

Сенсорні навантаження:

Зосередження (%за зміну) – до 50%;

Щільність сигналів (звукові за 1 год) – до 150;

Навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80 %;

Навантаження на голосовий апарат ( протягом тижня) – від 20 до 25%.

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; Ступінь ризику для власного життя – вірогідний;

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших.

Режим праці: Тривалість робочого дня – більше 8 год; Змінність роботи – однозмінна.

6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи корпоративних телекомунікаційних мереж в умовах дії загрозливих чинників НС

Корпоративні телекомунікаційні мережі спрямовані на забезпечення визначення об'єктів у військовій сфері та елементах подвійного призначення. Тому вона в основному має відповідати високим вимогам, що ставляться до військової техніки.

У зв'язку з тим, що корпоративні телекомунікаційні мережі знаходяться в складних погодних умовах і місцевостях, то на них можуть справляти значний вплив надзвичайні ситуації різного типу. До таких НС можна віднести: стихійні лиха (землетруси, зсуви, селі, повені, снігові лавини, шторми, блискавка, урагани, зливи, ожеледиця), іонізуючі випромінювання, ЕМП та багато інших. Тому при забезпеченні даної системи слід забезпечити найвищий рівень захисту від тої чи іншої НС, оскільки кожна НС справляє свій вплив на дану систему.

Таким чином, в даній частині розділу необхідно виконати дослідження безпеки роботи та розробку заходів по підвищенню стійкості роботи корпоративних телекомунікаційних мереж в умовах дії іонізуючих та електромагнітного імпульсу.

6.3.1 Дослідження безпеки роботи корпоративних телекомунікаційних мереж в умовах дії іонізуючого випромінювання

Нормальна робота мережі буде залежати від таких елементів, як транзистори, мікросхеми, резистори, конденсатори, діоди.

За критерій безпеки роботи технологічного обладнання в цих умовах приймається таке значення дози опромінення елементної бази ( $P_{зв}$ , Р) або граничне значення рівня ( $P_{зв}$ , Р/год), при якому можуть виникнути тимчасові зміни, але система буде працювати з потрібною якістю. Отримані значення занесемо до таблиці 5.5.

Таблиця 6.5 – Максимально допустимі дози опромінення корпоративні телекомунікаційні мережі

№	Блоки системи	Елементи системи	$P_{гр\ i}, P$	$P_{гр}, P$
1	Блок живлення	Мікросхема 78L05	$10^5$	$10^5$
		Конденсатор	$10^7$	
		Резистор	$10^6$	
		Діод	$10^7$	
2	Блок підсилення	Мікросхема LM386N-3	$10^5$	
		Конденсатор	$10^7$	
		Резистор	$10^6$	
3	Блок керування	Контролер A23P	$10^5$	

З наведеної таблиці слідує, що мінімальні значення допустимої дози, при яких в елементній базі можливі необоротні зміни мають мікросхема 78L05 блоку живлення, мікросхема LM386N-3 блоку підсилення та контролер A23P блоку керування –  $P_{гр}=10^5$ ,  $t_k=60000$  год,  $k_{посл}=2$ .

Визначаємо максимальний рівень радіації:

$$P_{1\ max} = \frac{P_{гр} \cdot k_{посл}}{2 \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}. \quad (6.1)$$

Підставивши відповідні числові значення в формулу (6.1) отримаємо:

$$P_{1\ max} = \frac{10^5 \cdot 2}{2 \cdot (\sqrt{60000} - \sqrt{1})} = 410 \text{ (P/год)}.$$

Визначаємо допустимий час роботи пристрою:

$$t_{доп} = \left( \frac{P_{гр} \cdot k_{посл} + 2 \cdot P_{1,max} \cdot \sqrt{t_n}}{2 \cdot P_{1,max}} \right)^2 = \left( \frac{10^5 \cdot 2 + 2 \cdot 410 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 410} \right)^2 = 59977 \text{ (год)}.$$

Таким чином, допустимий час роботи системи складатиме 59977 годин або 6 років 309 днів 1 годину при максимальному рівні радіації 410 P/год.



### 6.3.2 Дослідження безпеки роботи корпоративних телекомунікаційних мереж в умовах дії електромагнітного імпульсу

За критерій безпеки роботи корпоративних телекомунікаційних мереж в умовах дії електромагнітного імпульсу приймають коефіцієнт безпеки:

$$K_6 = 20 \lg \frac{U_d}{U_r} \geq 40 \text{ (дБ)},$$

де  $U_d$  – допустиме коливання напруги живлення, 220 В;

$U_r$  – напруга наведена за рахунок електромагнітних випромінювань у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах, В.

Допустимі коливання напруги живлення:

$$U_d = 220 + \frac{220}{100} \cdot 5 = 231 \text{ (В)}.$$

В зв'язку з тим, що окремі елементи системи можуть мати різні значення коефіцієнтів безпеки, то стійкість роботи системи в цілому визначається мінімальним значенням коефіцієнта безпеки.

З рівняння:

$$K_6 = 20 \lg \frac{U_d}{U_r} = 40 \text{ [дБ]}$$

визначаємо:

$$U_r = \frac{U_d}{10^2} = \frac{231}{100} = 2,31 \text{ (В)}.$$

Прийmemo максимальну довжину горизонтальних струмопровідних частин  $l_r=0,163$  м. Тоді вертикальна складова напруженості електричного поля визначається за формулою:

$$U_r = E_v \cdot l_r.$$

Звідси:

$$E_v = \frac{U_r}{l_r} = \frac{2,31}{0,163} = 14,17 \text{ (В/м)}.$$

Таким чином, робота корпоративних телекомунікаційних мереж можлива у випадку, якщо не перевищується норма вертикальної напруженості електричного поля 14,17 В/м.

#### 6.4 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи корпоративних телекомунікаційних мереж в умовах НС

З метою зменшення негативного впливу на розроблювану корпоративну телекомунікаційну мережу можна використати наступні методи.

Для боротьби з впливом іонізуючого опромінення використовують алюмінієві сплави, леговані елементами з високим атомним номером (лантаноїдами і рідкоземельними елементами), сплави на основі тугоплавких і рідкоземельних елементів і багатошарові матеріали. Також для боротьби з впливом іонізуючого випромінювання можна використати новітній вітчизняний метод, що полягає в захисному покритті радіоелектронної апаратури, що розміщується на поверхнях даних елементів, які піддаються впливу іонізуючого випромінювання, відмінним тим, що захисне покриття виконане у вигляді наноструктури, яка включає сукупність атомів рідкоземельних елементів, введених в структуру армованої атомно-молекулярної металічної матриці, або утворює її захисний шар.

Для боротьби з електромагнітним випромінюванням є повне укриття приміщення, в якому розміщена радіоелектронна апаратура, металічним екраном. Оскільки такий захист в ряді випадків неможливо виконати, то використовуються менш надійні засоби захисту, такі як струмопровідні сітки та плівкові покриття вікон, стільникові металічні конструкції для повітрозбірників

та вентиляційних отворів і контактні пружинні прокладки, що розміщуються по периметру дверей і люків. Для захисту від проникнення електромагнітного опромінення в апаратуру через різні кабельні вводи використовується перехід від електричних мереж зв'язку до практично не підлягають впливу ЕМІ волоконно-оптичним. Також для захисту кабельних вводів є забезпечення в їх конструкції фільтрів та встановлення вбудованих зенерівських діодів.

Таким чином, було проведено висвітлено основні методи захисту від іонізуючого та електромагнітного випромінювання.

Узагальнюючи розділ слід зазначити, що основною метою даної частини розділу було дослідження оцінки безпеки роботи системи та розробка заходів по підвищенню стійкості роботи корпоративні телекомунікаційні мережі.

#### 6.5 Висновки до розділу 6

В ході виконання було розглянуто вплив іонізуючого та електромагнітного випромінювання на компоненти схеми, виконано розрахунок дози опромінення кожного класу комплектуючих, з результатів чого видно, що ні один з класів елементів схеми не зазнає більшого впливу за граничне значення, також розраховано термін безпечної роботи системи 59977 годин або 6 років 309 днів. Що стосується впливу електромагнітного імпульсу, то з урахуванням необхідного рівня коефіцієнта безпеки було розраховано значення напруженості електричного поля.

З метою підвищення стійкості роботи корпоративні телекомунікаційні мережі наведено основні заходи боротьби з впливом вражаючих факторів, досліджених вище.

Таким чином, корпоративні телекомунікаційні мережі задовольняє всім вимогам цивільного захисту до проектування такого виду комплексів.

## ВИСНОВКИ

Відповідно до метою МКР та поставлених завдань дослідження у роботі отримано такі результати:

1. Проведено аналіз існуючих моделей трафіку та методів його обробки, заснованих на класичній теорії масового обслуговування. При цьому встановлено, що в сучасних інфокомунікаційних мережах трафік, як випадковий процес, має самоподібні властивості, що характеризується явно вираженими кореляційними властивостями інтервалів часу між заявками та інтервалів часу обробки заявок у вузлах мережі, і розподіл ймовірностей зазначених інтервалів мають «важкі» хвости.

З використанням регресійного аналізу встановлено, що позитивні значення коефіцієнтів кореляції породжують процес утворення пачок заявок, тоді як негативні значення коефіцієнтів кореляції призводять до зворотної тенденції.

2. У разі, коли послідовності зазначених інтервалів незалежні, для аналізу середнього часу очікування заявки в черзі системи масового обслуговування загального виду доцільно використовувати інтегральне рівняння Ліндлі, рішення якого спектральним методом може бути легко знайдено при апроксимації густин ймовірностей часових інтервалів рядами загасаючих експонент (зокрема, гіперекспоненційним чи ерлангівським розподілом).

3. Для обліку кореляційних властивостей часових інтервалів у роботі використані моделі трафіку у вигляді оновлюючих процесів (процесів відновлення) з гіперекспоненційними розподілами. Облік кореляційних властивостей здійснюється через індекс дисперсії часових інтервалів, який визначається сумою всіх значущих коефіцієнтів кореляції послідовності часових інтервалів.

4. Для трафіку, що має самоподібні властивості, розроблено методику оцінювання середнього часу очікування заявки в черзі для системи масового обслуговування загального виду, засновану на вирішенні інтегрального рівняння Ліндлі спектральним методом з використанням моделі самоподібного трафіку у

вигляді процесу відновлення з гіперекспоненційним розподілом миттєвих значень інтервал заявками.

5. Для оцінки впливу розміру черги на пропускну здатність системи масового обслуговування (або ймовірність блокування) використано модель самоподібного трафіку у вигляді рандомізованого пуассонівського потоку, у якого інтенсивність змінюється при зміні стану системи.

6. Встановлено аналітичну модель, що дозволяє оцінити середнє загасання сигналів, що створюють перешкоди на цільовій площі радіопокриття при рівномірному розподілі джерел.

Запропоновано підхід, що дозволяє оцінювати ефекти міжканальних перешкод з урахуванням повної форми спектральної маски, як цільового сигналу, так і що перешкоджають сигналів суміжних мереж.

Запропоновано метод оцінки погіршення відношення сигнал / шум в умовах міжканальних перешкод для сучасних мереж IEEE 802.11. Розроблено модель для кількісної оцінки впливу міжканальних перешкод на бітову швидкість передачі.

Запропоновано метод розрахунку і отримані кількісні оцінки роботи мережі IEEE 802.11n / ac в різних режимах, що зустрічаються в інженерній практиці..

Перспективний напрямок подальших досліджень з тематики магістерської кваліфікаційної роботи пов'язаний із розробкою системи оперативного моніторингу функціонального стану вузлів корпоративних мереж.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Беляев С.О., Буранова М.А. Анализ характеристик трафика сети специального назначения // XVII МНТК «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций». – 2016, Самара. - С. 260-261.
2. Буранова М. А., Карташевский В. Г. Анализ времени ожидания для узла сети типа G/D/1 при неточном знании параметров трафика // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. Том 5. № 1. С. 24–33.
4. Карташевский И.В. Модель трафика для программно-конфигурируемых сетей // Радиотехника. №6. 2016. - С.124-129
5. Легков К.Е. Организация и модели функционирования современных инфокоммуникационных сетей специального назначения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Т. 9, №8. – С. 14-20.
6. Сети и телекоммуникации: учебник и практикум для академического бакалавриата / под ред. К.Е. Самуйлова, И.А. Шалимова, Д.С. Кулябова. - М.: Издательство Юрайт, 2016. - 363 с.
7. Специальная радиосвязь. Развитие и модернизация оборудования и объектов. Монография / Под ред. А.Л. Бузова, С.А. Букашкина. – М.: Радиотехника, 2017. – 448 с. – Коллектив авторов.
8. Букашкин С.А., Буранова М.А., Сапрыкин А.В. Исследование статистических свойств мультимедийного трафика при обработке в сети MPLS // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2016. - №4. – С.34-42.
9. Букашкин С.А., Карташевский В.Г., Сапрыкин А.В. Анализ функционирования узла сети специального назначения в условиях неточного знания параметров трафика // Радиотехника. – 2017. - №4. – С. 93-97.
10. Карташевский И.В., Сапрыкин А.В. Обработка коррелированного трафика в узле сети типа G/G/1 // Радиотехника. – 2017. - №10. – С. 119-125.
11. Сапрыкин А.В. Методика анализа вероятностно-временных характеристик узлов мультисервисной сети при обработке фрактального трафика // Радиотехника. – 2018. - №4.

12. Сапрыкин А.В. Анализ времени ожидания заявки в очереди для системы массового обслуживания общего вида / И.В. Карташевский, А.В. Сапрыкин // Т-Comm. – 2018. – №2. – С.4-10.

13. Букашкин С.А., Карташевский В.Г., Буранова М.А., Фомин В.В., Сапрыкин А.В., Беляев С.О. Методы анализа качества обслуживания сетевого трафика при использовании протокола управления: Раздел монографии // Специальная радиосвязь. Развитие и модернизация оборудования и объектов. Монография / Под ред. А.Л. Бузова, С.А. Букашкина. – М.: Радиотехника, 2017. – 448 с.

14. Bukashkin S.A., Buranova M.A., Saprykin A.V. An analysis of multimedia traffic in the MPLS network in simulator ns2 // Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T), 2016. Third International Scientific-Practical Conference. – P.185-188.

15. Букашкин С.А., Самойлов М.С., Сапрыкин А.В. Методы анализа трафика инфокоммуникационных мультисервисных сетей связи // XXIII Российская научная конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ПГУТИ: Материалы конференции. - Самара, 2016. - С. 173.

16. Буранова М.А., Сапрыкин А.В. Исследование статистических свойств мультимедийного трафика при обработке в сети MPLS // Проблемы техники и технологий телекоммуникаций: Материалы XIV Международной научной конференции. – Самара, 2016. – С.139-140.

17. Буранова М.А., Сапрыкин А.В. Анализ показателей качества обслуживания мультимедийного трафика в сети MPLS // Проблемы передачи информации в инфокоммуникационных системах: Материалы VII Всероссийской научнопрактической конференции. Волгоград, 2016. - С. 21-24.

18. Буранова М.А., Сапрыкин А.В. Анализ статистической структуры мультимедийного трафика в условиях передачи по сетям специального назначения // Радиоэлектронные устройства и системы для

инфокоммуникационных технологий: Материалы 71-й Международной конференции. – М.: РНТОРЭС, 2016. – Т.2. – С. 383-386.

19. Букашкин С.А., Сапрыкин А.В. Оценка корреляционных свойств трафика МСП // XXIV Российская научно-техническая конференция профессорско– преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ПГУТИ. Материалы конференции – Самара, 2017. – С. 197.

20. Букашкин С.А., Буранова М.А., Сапрыкин А.В. Анализ вероятностновременных характеристик узла мультисервисной сети специального назначения // 19-я международная конференция «Цифровая обработка сигналов и ее применение». – М., 2017. – С.218-221.

21. Букашкин С.А., Карташевский В.Г., Сапрыкин А.В. Анализ функционирования сетевого узла при неточном знании параметров трафика // 19-я международная конференция "Цифровая обработка сигналов и ее применение". – М., 2017. – С.230-234.

22. Беляев С.О., Сапрыкин А.В. Анализ и управление сетевым трафиком в мультисервисной сети // Международная научно-техническая конференция «Радиотехника, электроника и связь». – Омск, 2017. – С.284-289.

23. Сапрыкин А.В. Разработка методики и алгоритмов анализа временных характеристик узлов мультисервисной сети при обработке фрактального трафика // XXV Российская научно-техническая конференция профессорско– преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ПГУТИ. Материалы конференции – Самара, 2018.

24. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

25. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

26. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>



27. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. ДСН 3.3.6.042–99 [Електронний ресурс]. –Режим доступу: <http://www.dnaop.com>.

28. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://sop.zp.ua/norm\\_npaop\\_0\\_00-7\\_15-18\\_01\\_ua.php](http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php)

29. СНиП 2.04.05-91\*У. Отопление, вентиляция и кондиционирование[Електронний ресурс] - Режим доступу: [https://dnaop.com/html/1671/doc-%D0%A1%D0%9D%D0%B8%D0%9F\\_2.04.05-91\\_%D0%A3](https://dnaop.com/html/1671/doc-%D0%A1%D0%9D%D0%B8%D0%9F_2.04.05-91_%D0%A3)

30. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=79885](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885)

31. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

32. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу - [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14.\\_nakazy\\_ta\\_rozpor\\_183575/248+58074-detail.html](http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14._nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html)

ФІРЕН

ТІКСТЪ

ВНТУ

ДОДАТКИ

Додаток А  
(Технічне завдання)

ФІРЕН  
ТКСТБ  
ВНТУ

Додаток Б  
(обов'язковий)

Узагальнена структура сегменту корпоративної телекомунікаційної мережі з  
додатковим інформаційним захистом

Додаток В  
(обов'язковий)

Модель взаємодії основних елементів мережі спеціального призначення

Додаток Г  
(обов'язковий)

Узагальнена інформаційна архітектура мультисервісної інфокомунікаційної  
мережі спеціального призначення

Додаток Д  
(обов'язковий)

Трирівнева мережева модель МСП

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

Додаток Е  
(обов'язковий)

Схема реєстрації інформаційного трафіку в мультисервісній корпоративній мережі



Додаток Є  
(обов'язковий)

Структура імітаційної моделі сегменту корпоративної телекомунікаційної мережі

Додаток Ж  
(обов'язковий)

Структурна схема імітаційної моделі сегменту корпоративної мережі  
підвищеної захищеності

Додаток А  
(обов'язковий)  
ВНТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав.кафедри ТКСТБ ВНТУ,  
докт. техн. наук, професор  
В.М. Кичак  
“ \_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

### **ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи  
МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ  
КОРПОРАТИВНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ  
08-34.МКР.014.00.000 ТЗ

Керівник роботи  
д.т.н., проф. кафедри ТКСТБ ВНТУ  
Кичак В.М.

Виконавець: ст. гр. ТКС-20м  
Щербацький Д.В.

Вінниця-2021

## 1 ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету від “24” 09 2021 року № 277 та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: 01.09.2021 р.

Дата закінчення: 20.12.2021 р.

## 2 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

*Метою* даної магістерської кваліфікаційної роботи є дослідження імовірно-часових характеристик вузлів телекомунікаційних корпоративних мереж спеціального призначення під час обробки самоподібного трафіку, що забезпечує можливість оперативного моніторингу інформаційного трафіку та прогнозування стану вузлів телекомунікаційних мереж.

*Задачами* магістерської кваліфікаційної роботи є:

- розробка технічного завдання;
- аналіз існуючих моделей трафіку та методів його обробки, заснованих на класичній теорії масового обслуговування;
- аналіз методів математичного моделювання трафіку з використанням самоподібних випадкових процесів;
- розробка моделей самоподібного трафіку на основі процесів відновлення, що враховують кореляційні характеристики часових інтервалів трафіку,
- розробка методу аналізу систем масового обслуговування загального виду при обробці самоподібного трафіку;
- аналіз характеристик систем масового обслуговування загального виду при обробці самоподібного трафіку методом імітаційного моделювання.

*Об'єктом дослідження є інфокомунікаційні корпоративні мережі спеціального призначення.*

*Предметом дослідження є моделі систем масового обслуговування та методи аналізу характеристик функціонування вузлів МСП при обробці самоподібного трафіку.*

*Основними завданнями роботи є:*

- техніко-економічне обґрунтування доцільності даної розробки;
- особливості побудови телекомунікаційних мереж спеціального призначення;
- дослідження статистичних властивостей трафіку корпоративних мереж зв'язку;
- дослідження характеристик вузлів мультисервісної мережі методом імітаційного моделювання;
- аналіз економічної ефективності проведеної розробки;
- дослідження питань безпеки життєдіяльності.

Теоретична значимість роботи насамперед у тому, що отримані результати дозволили побудувати методику аналізу імовірно-часових параметрів вузлів мережі спеціального призначення, які обробляють трафік, що характеризується самоподібністю, тобто складовими цієї методики є результати, що пояснюють виникнення пачечності трафіку сучасних МСП, моделі трафіку, засновані на синтезі оновлювального процесу, який враховує кореляційні властивості трафіку та довільні розподіли ймовірностей часових параметрів трафіку, моделі, які дозволили використовувати методи класичної теорії масового обслуговування для визначення масового обслуговування – середнього часу перебування заявки у черзі. Значним результатом є продемонстрована можливість оцінки іншого важливого параметра системи масового обслуговування – ймовірності блокування системи, розрахувати яку вдалося з використанням моделі корельованого трафіку на основі пуассонівського рандомізованого потоку. Практична значущість роботи, як і

більшості робіт у галузі теорії телетрафіку, полягає у забезпеченні процесу проектування мереж адекватними моделями трафіку та методиками його аналізу.

### 3 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МКР

Робота базується на результатах звіту із переддипломної практики “Методи та моделі прогнозування завадозахищеності корпоративних телекомунікаційних мереж”, який виконувався у ВНТУ у 2021/2022 н. р. Під час підготовки магістерської кваліфікаційної роботи будуть використані матеріали цього звіту.

Список використаних джерел розробки:

3.1 Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и применение / Бернард Скляр ; [пер. с англ]. – М.: Изд. Дом “Вильямс”, 2003. – 1104с.

3.2 Сети и телекоммуникации: учебник и практикум для академического бакалавриата / под ред. К.Е. Самуйлова, И.А. Шалимова, Д.С. Кулябова. - М.: Издательство Юрайт, 2016. - 363 с.

3.3 Специальная радиосвязь. Развитие и модернизация оборудования и объектов. Монография / Под ред. А.Л. Бузова, С.А. Букашкина. – М.: Радиотехника, 2017. – 448 с.

3.4 Букашкин С.А., Карташевский В.Г., Буранова М.А., Фомин В.В., Сапрыкин А.В., Беляев С.О. Методы анализа качества обслуживания сетевого трафика при использовании протокола управления: Раздел монографии // Специальная радиосвязь. Развитие и модернизация оборудования и объектов. Монография / Под ред. А.Л. Бузова, С.А. Букашкина. – М.: Радиотехника, 2017. – 448 с.

3.5 Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. А. О. Семенов, Л. П. Громова, Т.В. Макарова, Сердюк О.В. – Вінниця: ВНТУ, 2021 – 60 с.

3.6 Кухарчук В.В., Ігнатенко О.Г., Обертюх Р.Р. Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) для студентів всіх спеціальностей.- В.: ВДТУ, 2002.

3.7 Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – В.: ВДТУ, 2003.

3.8 ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація, звіти у сфері науки і техніки.- К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

3.9 Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры. Справочник. Под ред. Э.Т.Романьчевой.- М: Радио и связь, 1989.

3.10 Бортник Г.Г., Васильківський М.В. Методичні вказівки до підготовки магістерських кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка» усіх форм навчання.- Вінниця:ВНТУ, 2018.- 50 с.

#### 4 ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра телекомунікаційних систем та телебачення, студент групи ТКС-20 м Щербацький Д.В.

#### 5 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Пропонується виконати дослідження імовірно-часових характеристик вузлів телекомунікаційних корпоративних мереж спеціального призначення під час обробки самоподібного трафіку, що забезпечує можливість оперативного моніторингу інформаційного трафіку та прогнозування стану вузлів телекомунікаційних мереж.

Технічні вимоги, яким повинна відповідати розробка, наступні:

- діапазон зміни затримки оброблення інформаційних даних – 80-91 мс;

- діапазон значень джитеру інформаційних сигналів – 0,51-8 мс;
- діапазон зміни ймовірності втрат інформаційних даних – 0-5 %;
- діапазон зміни ймовірності скидання інформаційних повідомлень – 0,3-12 %;
- значення втрат інформаційних пакетів при передаванні VoIP трафіку – 0,25 %;
- значення втрат інформаційних пакетів при передаванні IPTV трафіку – 1 %;
- діапазон значень затримки передавання спільного інформаційного трафіку за різних довжин пакетів та в діапазоні зміни швидкості інформаційного потоку від 10 до 20 Мбіт/с – 0,03-0,07 с

При розробці телекомунікаційних систем та мереж слід максимально використовувати стандартні та уніфіковані деталі.

#### 6 ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

№	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Очікувані результати	Звітна документація
		початок	закінчення		
1.	Розробка технічного завдання (ТЗ)	01.09.2021р.	10.09.2021р.	Розроблене ТЗ	Додаток А
2.	Техніко-економічне обґрунтування розробки	11.09.2021р.	17.09.2021р.	Розроблене ТЕО	Вступ. Розділ 1.
3.	Особливості побудови телекомунікаційних мереж спеціального призначення	18.09.2021р.	01.10.2021р.	Проведений аналіз	Розділ 2
4.	Дослідження статистичних властивостей трафіку корпоративних мереж зв'язку	02.10.2021р.	29.10.2021р.	Розроблений метод	Розділ 3



5.	Дослідження характеристик вузлів мультисервісної мережі методом імітаційного моделювання	30.10.2021р.	19.11.2021р.	Характеристики і параметри	Розділ 4
6.	Аналіз економічної ефективності	20.11.2021р.	30.11.2021р.	Економічна частина МКР	Розділ 5
7.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	01.12.2021р.	06.12.2021р.	Частина ОТ та БНС	Розділ 6
8.	Оформлення пояснювальної записки (ПЗ) та графічної частини	07.12.2021р.	13.12.2021р.	Оформлена документація	ПЗ та графічна частина
9.	Нормоконтроль, попередній захист, опонування МКР	14.12. 2021р.	17.12.2021р.	Позитивні відзиви	Відгуки
10.	Захист МКР ЕК		20.12.2021р.	Позитивний захист	Протокол ЕК

## 7 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть розроблені:

- узагальнена структура сегменту корпоративної телекомунікаційної мережі з додатковим інформаційним захистом;
- модель взаємодії основних елементів мережі спеціального призначення;
- узагальнена інформаційна архітектура мультисервісної інфокомунікаційної мережі спеціального призначення;
- трирівнева мережева модель МСП;
- схема реєстрації інформаційного трафіку в мультисервісній корпоративній мережі;

- структура імітаційної моделі сегменту корпоративної телекомунікаційної мережі;
- структурна схема імітаційної моделі сегменту корпоративної мережі підвищеної захищеності;
- економічна частина МКР;
- розділ ОП та БНС;
- рекомендації щодо подальшого використання розробленого методу.

Результати, отримані в процесі виконання даної роботи, будуть впроваджені в галузі телекомунікацій:

- Регіональний Центр експлуатації телекомунікаційної мережі України шляхом впровадження розробленої математичної моделі самоподібного трафіку у вигляді рандомізованого пуассонівського потоку, у якого інтенсивність змінюється при зміні стану системи для оцінки впливу розміру черги на пропускну здатність системи масового обслуговування (або ймовірність блокування);

- ПАТ “Укртелеком” шляхом використання системи оперативного моніторингу трафіку стану вузлів мереж спеціального призначення.

## 8 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЕТАПІВ

За результатами виконання МКР до ЕК подаються пояснювальна записка, графічна частина МКР, відзив і рецензія.

## 9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

Поетапно результати виконання МКР розглядаються керівником роботи та обговорюються на засіданні кафедри.

Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ЕК.

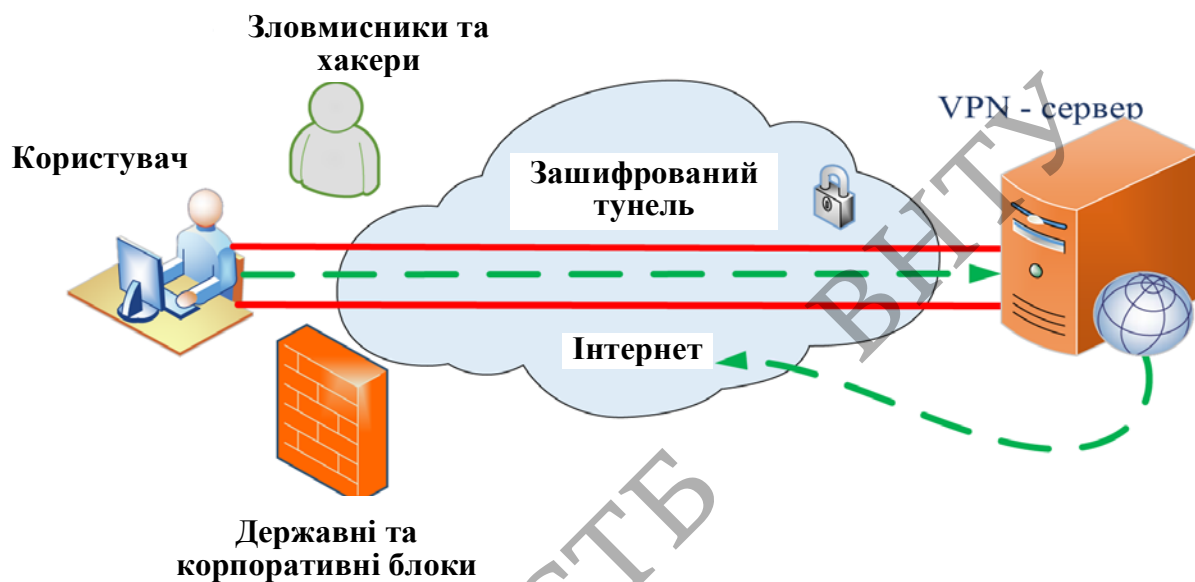
## 10 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання досліджень повинна містити:

- техніко-економічне обґрунтування розробки;
- узагальнену структуру сегменту корпоративної телекомунікаційної мережі з додатковим інформаційним захистом;
- модель взаємодії основних елементів мережі спеціального призначення;
- узагальнену інформаційну архітектуру мультисервісної інфокомунікаційної мережі спеціального призначення;
- тривірневу мережеву модель МСП;
- схему реєстрації інформаційного трафіку в мультисервісній корпоративній мережі;
- структуру імітаційної моделі сегменту корпоративної телекомунікаційної мережі;
- структурну схему імітаційної моделі сегменту корпоративної мережі підвищеної захищеності;
- економічну частину та розділ БЖД і ЦЗ;
- рекомендації щодо подальшого використання методу та моделей.

## 11 ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

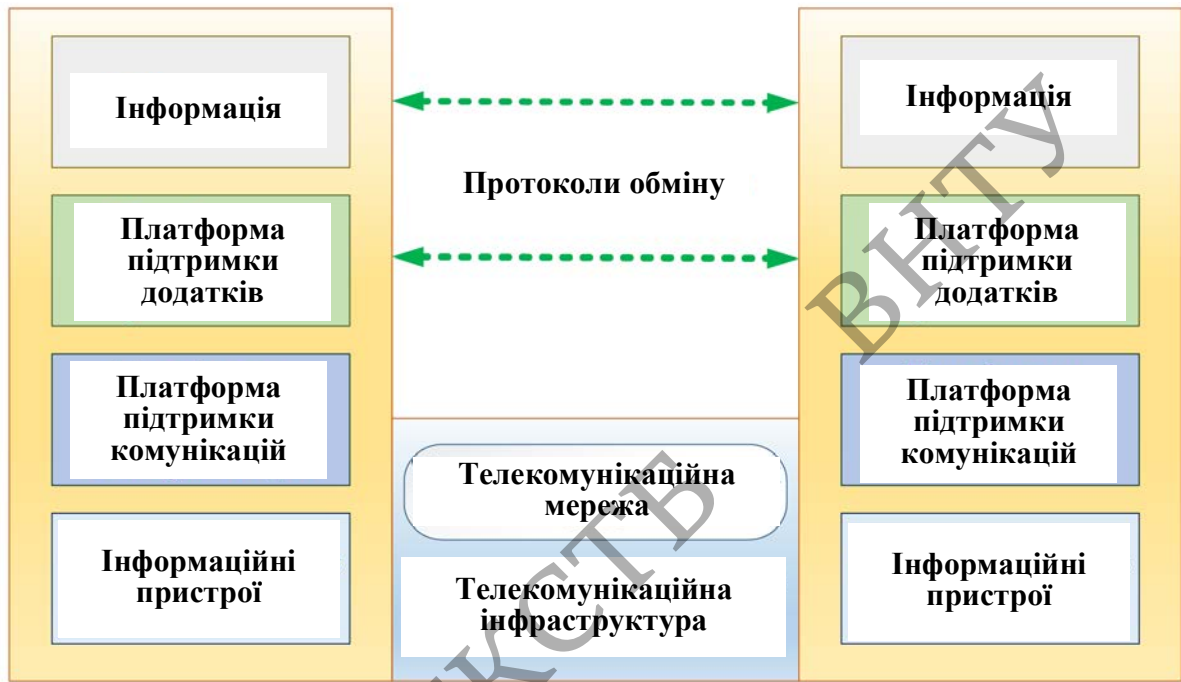
У зв'язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її технічного захисту не передбачаються.



ФІРЕН

ТКСТБ

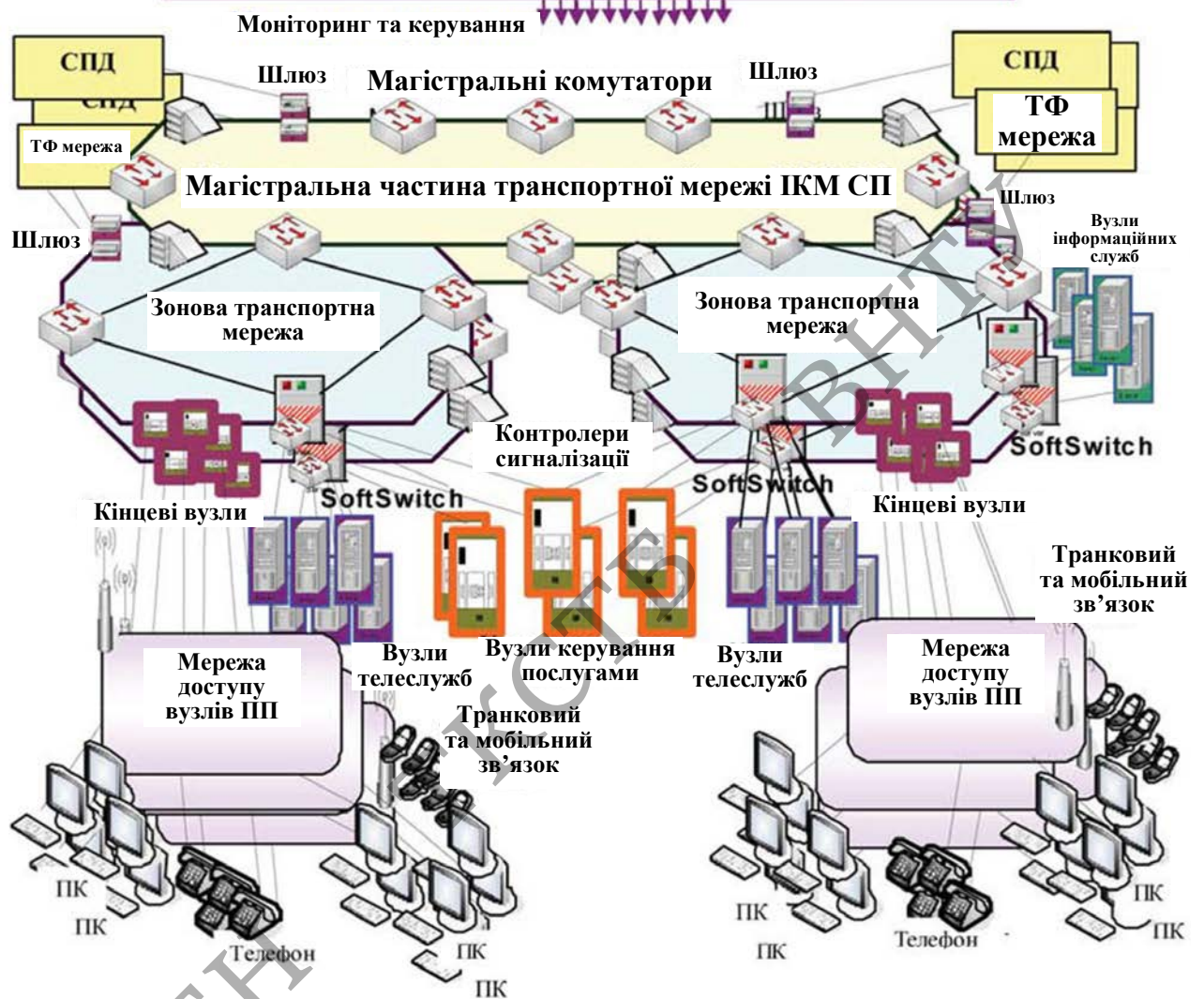
					08-34. МКР.014.00.000 Е8			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Узагальнена структура сегменту корпоративної телекомунікаційної мережі з додатковим інформаційним захистом	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Щербацький Д.В.					1	1
Перевір.		Кичак В.М.				ВНТУ, гр. ТКС-20м		
Реценз.								
Н. Контр.		Кичак В.М.						
Затверд.		Кичак В.М.						



ФІРЕН

					08-34. МКР.014.00.000 Е8			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Модель взаємодії основних елементів мережі спеціального призначення	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Щербацький Д.В.					1	1
Перевір.		Кичак В.М.				ВНТУ, гр. ТКС-20м		
Реценз.								
Н. Контр.		Кичак В.М.						
Затверд.		Кичак В.М.						

# Автоматизована система керування ІКМ СП



ФІРЕН

					08-34. МКР.014.00.000 Е8			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Узагальнена інформаційна архітектура мультисервісної інфокомунікаційної мережі спеціального призначення	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Щербацький Д.В.					1	1
Перевір.		Кичак В.М.				ВНТУ, гр. ТКС-20м		
Реценз.								
Н. Контр.		Кичак В.М.						
Затверд.		Кичак В.М.						

**Інфраструктурний рівень  
(IL) МСП**

**Проміжний рівень (MWL)  
МСП**

**Базовий рівень (BL) МСП**

Атаки + зовнішні впливи

Мережа послуг ІР ІКМ СП



Атаки + зовнішні впливи

Мережа послуг ІР ІКМ СП



Атаки + зовнішні впливи

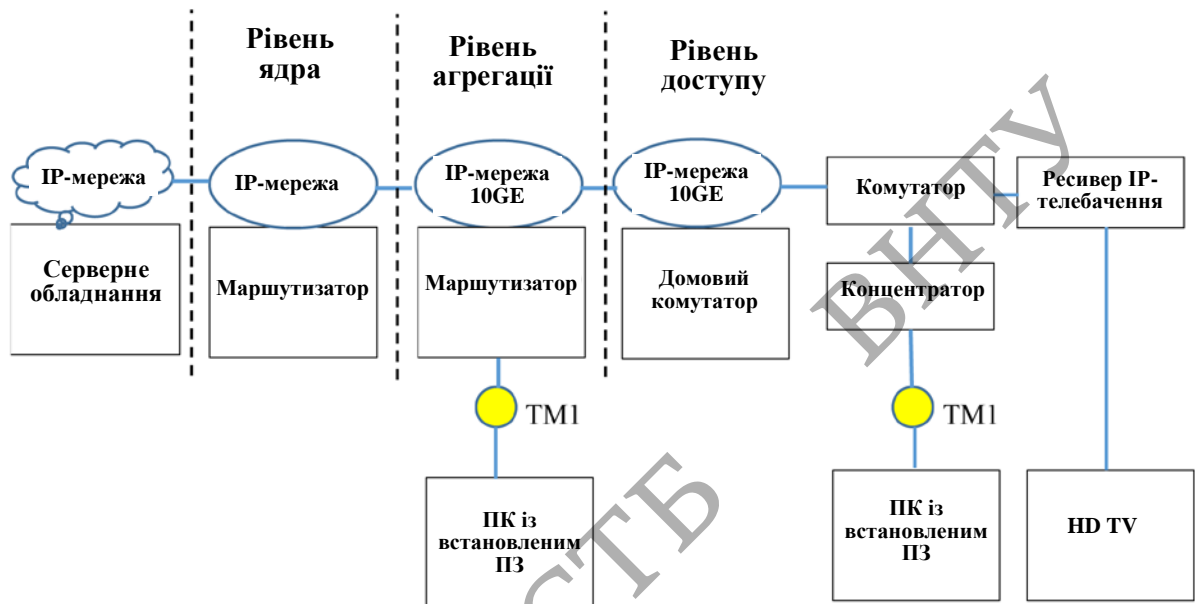
Мережі послуг передавання БР ІКМ СП



ФІРЕН

08-34. МКР.014.00.000 Е8

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Щербацький Д.В.			Трирівнева мережева модель МСП	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кичак В.М.					1	1
Реценз.						ВНТУ, гр. ТКС-20м		
Н. Контр.		Кичак В.М.						
Затверд.		Кичак В.М.						



ФІРЕН

ТКС-20

ВНТУ

					08-34. МКР.014.00.000 Е8			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Щербацький Д.В.			Схема реєстрації інформаційного трафіку в мультисервісній корпоративній мережі	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кичак В.М.					1	1
Реценз.						ВНТУ, гр. ТКС-20м		
Н. Контр.		Кичак В.М.						
Затверд.		Кичак В.М.						



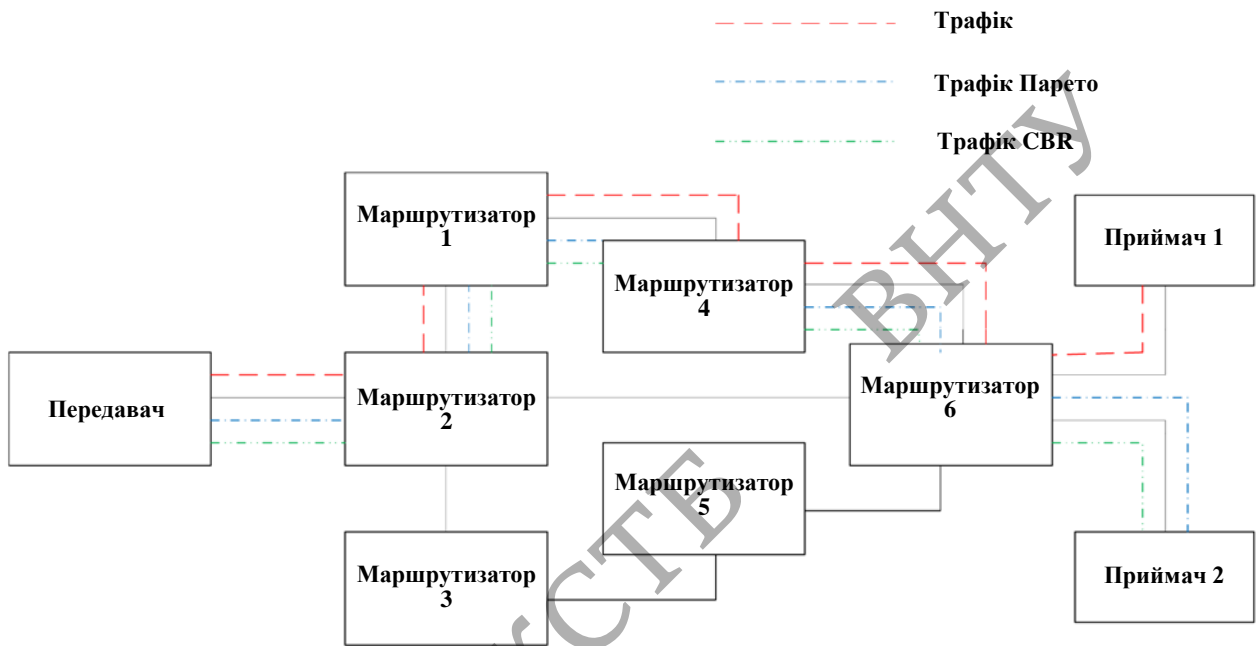


ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

					08-34. МКР.014.00.000 Е8			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Структура імітаційної моделі сегменту корпоративної телекомунікаційної мережі	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Щербацький Д.В.					1	1
Перевір.		Кичак В.М.				ВНТУ, гр. ТКС-20м		
Реценз.								
Н. Контр.		Кичак В.М.						
Затверд.		Кичак В.М.						



					08-34. МКР.014.00.000 Е8					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Структурна схема імітаційної моделі сегменту корпоративної мережі підвищеної захищеності					
Розроб.		Щербацький Д.В.						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кичак В.М.							1	1
Реценз.								ВНТУ, гр. ТКС-20м		
Н. Контр.		Кичак В.М.								
Затверд.		Кичак В.М.								