

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

## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Підвищення продуктивності мультисервісної транспортної мережі при передаванні пакетного трафіку даних»

Виконав: студент 2-го курсу,  
групи ТКС-20м  
спеціальності 172 – Телекомунікації та  
радіотехніка  
\_\_\_\_\_ Паламарчук І.А.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТКСТБ  
\_\_\_\_\_ Стальченко О.В.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Опонент: д.т.н., професор каф. РТ  
\_\_\_\_\_ Семенов А.О.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Допущено до захисту  
Завідувач кафедри ТКСТБ  
\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Кичак В.М.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Вінниця ВНТУ - 2021 рік

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**

Паламарчуку Івану Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення продуктивності мультисервісної транспортної мережі при передаванні пакетного трафіку даних

керівник роботи Стальченко Олександр Володимирович, канд. техн. наук,

(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: затримка доставки пакету IP – не більше 100 мс; рівень помилок пакетів IP –  $10^{-6}$ ; Рівень втрат пакетів –  $10^{-5}$ ; види модуляції – QAM, QPSK; швидкість передачі 52 Мбіт/с, 100 Мбіт/с.

4. Зміст текстової частини: вступ; забезпечення якості роботи мереж з комутацією пакетів; інтегральний метод оцінки продуктивності мережевих з'єднань; інтегральні показники якості; результати досліджень; економічна частина; охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; висновок; література

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Показники QoS для публічної мережі зв'язку; Складові оцінки QoE; Модель взаємозв'язку показників мережевої продуктивності для мереж з комутацією пакетів; Взаємозв'язок нормативних показників якості з ключовими показниками ефективності мережі зв'язку; Використання віртуальних з'єднань; Результати досліджень

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Стальченко О.В., доцент 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.	Техніко-економічне обґрунтування розробки	17.09.2021р.	
3.	Аналіз забезпечення якості роботи мереж з комутацією пакетів	01.10.2021р.	
4.	Інтегральний метод оцінки продуктивності мережевих з'єднань	29.10.2021р.	
5.	Інтегральні показники якості	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 )

Паламарчук І.А.

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

( підпис )

Стальченко О.В.

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.391

Паламарчук І. А. Підвищення продуктивності мультисервісної транспортної мережі при передаванні пакетного трафіку даних. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 172 – телекомунікації та радіотехніка, освітня програма - телекомунікаційні системи та мережі. Вінниця: ВНТУ, 2021. 141 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 36 назв; рис.: 77; табл. 29.

В ході проведення кваліфікаційної роботи проведені дослідження існуючих методів контролю якості роботи пакетної мережі з точки зору їх якнайповнішої відповідності завданню контролю якості роботи пакетної мультисервісної мережі зв'язку з урахуванням особливостей роботи технології пакетної комутації. При цьому приділялася увага можливості отримання оцінки впливу якості роботи мережевих з'єднань пакетної мережі на формування результатів призначеної для користувача оцінки (QoE) якості послуги зв'язку, в інтересах якого по мережевих з'єднаннях передається пакетний трафік, і можливості контролю виконання угод про якість послуг зв'язку, що надаються, для кінцевих користувачів.

Графічна частина складається з 6 плакатів із результатами моделювання.

У розділі охорони праці опрацьовано такі питання, як причини виникнення, дія на організм людини та нормування шкідливих та небезпечних виробничих факторів у виробничому приміщенні; карта умов праці (обґрунтування вибору нормованих значень шкідливих та небезпечних виробничих факторів, оцінка факторів виробничого і трудового процесів, гігієнічна оцінка умов праці, оцінка технічного і організаційного рівня, атестація робочого місця); рекомендації щодо поліпшення умов праці, а також розглянуто норми пожежної безпеки.

Ключові слова: комутація пакетів, оцінка якості послуг, пакетний трафік, мережа зв'язку.

## SUMMARY

UDC 621.391

Palamarchuk IA Improving the productivity of multiservice transport network in the transmission of packet data traffic. Master's thesis in specialty 172 - telecommunications and radio engineering, educational program - telecommunications systems and networks. Vinnytsia: VNTU, 2021. 141 p.

In Ukrainian language. Bibliogr .: 36 titles; fig .: 77; table 29.

In the course of qualification work, studies of existing methods of packet network quality control in terms of their compliance with the task of quality control of packet multiservice communication network, taking into account the peculiarities of packet switching technology. Attention was paid to the possibility of obtaining an assessment of the impact of the quality of packet network connections on the formation of the results of the user assessment (QoE) of the quality of communication services, in the interests of which packet traffic is transmitted over network connections. the quality of communication services provided to end users.

The graphic part consists of 6 posters with simulation results.

The section of labor protection deals with such issues as the causes, effects on the human body and the rationing of harmful and dangerous production factors in the production premises; map of working conditions (substantiation of the choice of normalized values of harmful and dangerous production factors, assessment of factors of production and labor processes, hygienic assessment of working conditions, assessment of technical and organizational level, certification of the workplace); recommendations for improving working conditions, as well as fire safety standards.

Keywords: packet switching, service quality assessment, packet traffic, communication network.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
<b>1. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ РОБОТИ МЕРЕЖ З КОМУТАЦІЄЮ ПАКЕТІВ .....</b>	<b>9</b>
1.1. Вступ.....	9
1.2. Види оцінок якості в мережах зв'язку .....	10
1.3. Методи набуття значень показників якості в мережах зв'язку.....	16
1.4. Показники якості роботи мереж зв'язку з комутацією пакетів.....	17
1.5. Вимоги до оцінки якості роботи мережевого з'єднання.....	29
1.6. Висновки по розділу 1.....	30
<b>2. ІНТЕГРАЛЬНИЙ МЕТОД ОЦІНКИ ПРОДУКТИВНОСТІ МЕРЕЖЕВИХ З'ЄДНАНЬ .....</b>	<b>32</b>
2.1. Оцінка продуктивності мережевих з'єднань з використанням нормативних показників .....	32
2.2. Однопорогова інтегральна оцінка якості роботи мережевого з'єднання.	43
2.3. Облік нелінійного характеру роботи систем передачі пакетного трафіку	47
2.4. Багатопорогова інтегральна оцінка якості роботи мережевого з'єднання	51
2.5. Дискретна інтегральна оцінка якості роботи мережевого з'єднання .....	55
2.6. Оцінка якості послуг зв'язку з боку користувача.....	55
2.7 Висновки по розділу 2.....	62
<b>3. ІНТЕГРАЛЬНІ ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ.....</b>	<b>64</b>
3.1. Формування інтегральних показників якості роботи мережевих з'єднань	64
3.2. Формування порогових значень для розрахунку інтегральних показників якості .....	71
3.2.1. Формування порогових значень для коефіцієнта пропускної спроможності.....	72
3.2.2. Формування порогових значень для коефіцієнтів якості пріоритетних і непріоритетних черг і мережевого з'єднання.....	74
3.3. Висновки по розділу 3 .....	79
<b>4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....</b>	<b>81</b>
4.1. Вступ.....	81
4.2. Оцінка пропускної спроможності мережевих з'єднань .....	81
4.3. Оцінка якості роботи пакетних черг.....	92
4.4. Оцінка якості роботи мережевих з'єднань .....	95
4.5. Висновки .....	98
<b>5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>99</b>

5.1 Оцінювання наукового ефекту .....	99
5.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи .....	102
5.2.1 Витрати на оплату праці .....	102
5.2.2 Відрахування на соціальні заходи.....	105
5.2.3 Сировина та матеріали .....	105
5.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі .....	106
5.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт.....	106
5.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт...	107
5.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень.....	108
5.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей .....	109
5.2.9 Службові відрядження .....	110
5.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації .....	110
5.2.11 Інші витрати .....	111
5.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати .....	111
5.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи .....	112
<b>6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ..</b>	<b>114</b>
6.1 Технічні рішення з безпечного виконання робіт.....	114
6.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	116
6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи мультисервісної транспортної мережі в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій .....	120
ВИСНОВОК.....	125
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	127
Додаток А ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ .....	130
Додаток Б Показники QoS для публічної мережі зв'язку .....	138
Додаток В Складові оцінки QoE.....	139
Додаток Г Модель взаємозв'язку показників мережевої продуктивності для мереж з комутацією пакетів.....	140
Додаток Д Взаємозв'язок нормативних показників якості з ключовими показниками ефективності мережі зв'язку .....	141
Додаток Е Використання віртуальних з'єднань .....	142
Додаток К Результати досліджень .....	143

## ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Зараз має місце конвергенція мультисервісних послуг зв'язку на єдиній транспортній інфраструктурі мереж зв'язку, побудованих за технологією комутації пакетів [1, 2, 3]. Найбільш поширеними для передачі пакетного трафіку на мережевому і каналному рівнях моделі взаємодії відкритих систем (OSI)[4] являються протоколи IP [5] і Ethernet [6].

Якість передачі даних при наданні послуг зв'язку чинить вплив на загальну оцінку якості послуг зв'язку з боку користувачів (Quality of Experience - QoE)[7] і формовані за час надання послуг зв'язку значення суб'єктивних і розрахункових оцінок якості послуг зв'язку [8, 9, 10, 11]. Якість надання послуг зв'язку на технологічному рівні визначається поняттям якості сервісу (Quality of Service - QoS)[7]. Вплив характеристик передачі трафіку послуг зв'язку на рівні мережі на забезпечення QoS виражається показниками мережевої продуктивності (Network Performance - NP)[12]. Управління QoS на рівні мережі зв'язку здійснюється управлінням значеннями показників NP [13]. Перелік показників NP і області їх допустимих значень залежно від класу обслуговуваного трафіку визначені у вигляді порогових значень у відповідних нормативних документах [14, 15, 16, 17] і без визначення їх відповідності значенням шкали QoE. Важливо відмітити, що в нормативній документації показники NP визначені для передачі пакетів даних між відправником і одержувачем на мережевому рівні моделі OSI [15, 16, 17], тобто як показники якості роботи мережевих з'єднань.

Придатність мережевих з'єднань для передачі трафіку певного класу визначається шляхом розрахунку значень показників NP за інтервали часу фіксованої тривалості і порівняння отриманих значень з пороговими значеннями показників для відповідних класів трафіку [16,17]. При оцінці якості роботи мережевих з'єднань є присутнім використання методів оцінки якості, які початково розроблені для мереж з комутацією каналів і засновані на вибірці єдиного значення показника з ряду отриманих значень за певним критерієм [18, 19, 20]. Критерієм непридатності мережевого з'єднання для передачі трафіку певного класу може бути наявність поодинокого або середнього значення показника NP за інтервал часу певної тривалості, який перевищує встановлене порогове значення. Використання поодиноких значень показників якості, які отримані на інтервалах часу фіксованої тривалості і, як правило, значно менше інтервалів часу надання послуг зв'язку, не дозволяє оцінити якість передачі даних за весь час надання послуг зв'язку. Використання усереднених значень показників якості, які можуть виявитися нижче за порогові значення, спотворює оцінку якості роботи мережевих з'єднань і призводить до приховування проблем, що мають місце, з якістю передачі трафіку



при наданні послуг зв'язку.

Порогові значення показників NP не враховують, що сучасна послуга зв'язку є, як правило, мультисервісною і при її наданні здійснюється передача пакетного трафіку різних класів через загальне мережеве з'єднання. При цьому з причини різних технологічних вимог з боку трафіку різних класів мережеве з'єднання може бути придатне для передачі усього трафіку послуги зв'язку, придатне частково тільки для передачі трафіку певних класів або непридатне взагалі. При управлінні передачею пакетного трафіку для забезпечення QoS [21, 22] слід мати на увазі, що перевищення значеннями показників NP встановлених порогових значень не означає обов'язкове припинення надання послуг зв'язку [23].

Таким чином, розробка способів оцінки якості роботи мережевих з'єднань при передачі мультисервісного трафіку з використанням протоколів IP і Ethernet, які дозволяють формувати значення оцінки якості з урахуванням величини і тривалості змін значень показників NP за інтервали часу довільної тривалості (надання послуг зв'язку) і дозволяють оцінити вплив змін значень показників NP на формування значень оцінки якості послуг зв'язку (QoE) є актуальним завданням по забезпеченню якості передачі мультисервісного трафіку в мережах з комутацією пакетів.

Аналіз існуючих робіт показує актуальність забезпечення якості передачі пакетного трафіку для цілей забезпечення якості надання послуг зв'язку. Зокрема, увага приділяється питанням розподілу мережевих ресурсів для забезпечення якості передачі трафіку, способам формування показників для оцінки якості і надійності мережі зв'язку, розглядаються питання математичного моделювання мереж зв'язку з метою створення найбільш відповідних моделей для моделювання поведінки мережі зв'язку в різних умовах.

При цьому все ще не вирішено питання «дуалізму» в оцінці якості роботи мереж зв'язку. Зокрема, визначається, що параметри якості обслуговування (QoS) вимірюються або об'єктивно за допомогою технічних засобів (шляхом виміру фізичних властивостей каналів, мереж, мережевих елементів і сигналів) або суб'єктивно (сприймане QoS) за допомогою обстежень і суб'єктивних тестів, що проводяться серед користувачів. З іншого боку, існує ряд нормативних документів [14, 15, 16] абсолютно чітко визначальних вимоги до якісних параметрів мереж зв'язку, побудованих з використанням протоколу IP. При цьому політика відносно виміру QoS повинна враховувати параметри, що впливають на результуючу якість послуги, включаючи увесь діапазон аспектів побудови архітектури мережі зв'язку [42].

**Об'єкт дослідження.** Об'єктом дослідження є побудована за технологією комутації пакетів мережа великого оператора зв'язку, на якому надається широкий спектр послуг зв'язку для різних категорій користувачів.

**Предмет дослідження.** Предметом дослідження є якість роботи мережевих з'єднань по передачі мультисервісного пакетного трафіку з використанням протоколів Ethernet і IP на канальному і мережевому рівнях моделі OSI [4].

**Метою** дослідження є дослідження і розробка методів моніторингу продуктивності пакетної транспортної мережі на основі аналізу значень показників якості, які б забезпечили підвищення продуктивності мереж зв'язку по передачі мультисервісного пакетного трафіку послуг зв'язку.

**Завдання дослідження.** Для досягнення поставленої мети у рамках дослідження вирішені наступні завдання:

1. Проведений аналіз взаємозв'язку показників якості між собою і розглянутий вплив показників якості на гарантію доставки пактів даних від відправника до одержувача відповідно до технологічних вимог по доставці пакетів з боку обслуговуваних послуг зв'язку.

2. Розроблена модель, що описує єдність і синергетичність показників якості з технологічними і архітектурними особливостями побудови мереж зв'язку.

3. Розроблені методи інтегральної оцінки якості роботи мережевих з'єднань, що дозволяють оптимізувати продуктивність мережевих з'єднань з урахуванням технологічних вимог обслуговуваних послуг зв'язку і забезпечити перерозподіл трафіку послуг зв'язку по мережевих з'єднаннях з показниками якості, що найбільш відповідають вимогам послуг зв'язку у рамках розвитку операційного середовища. З урахуванням близькості розроблених методів до методів формування оцінок QoE отримана можливість оцінки впливу показників NP на формування оцінок QoE і забезпечення підтримки вимог угод про рівень надання послуг (SLA) на належному рівні [44].

4. Розроблені інтегральні показники якості роботи мережевих з'єднань, що дозволяють проводити оцінку якості роботи мережевих з'єднань з урахуванням індивідуальних вимог до показників якості з боку обслуговуваних послуг зв'язку у рамках розробки методів ефективного використання мереж зв'язку.

5. Розроблений метод формування діапазонів порогових значень при оцінці значень показників якості з урахуванням вимог до значень показників якості з боку мультисервісних послуг.

Наукова новизна.

1. Запропонована модель взаємозв'язку між показниками функціонування мереж з комутацією пакетів, яка, на відміну від моделей, що описують тільки взаємний вплив показників якості, враховує вплив архітектурно-технологічних особливостей побудови мережі зв'язку і вплив з боку інформаційних систем і мережевих платформ на якість надання мережевих сервісів, дозволяє формувати оцінку якості роботи мережевих з'єднань з урахуванням єдності і синергетичності

показників якості.

2. Запропонований і обґрунтований метод статистичної інтегральної оцінки якості роботи мережевих з'єднань в мережі зв'язку з комутацією пакетів, який, на відміну від методів, заснованих на статистичному аналізі значень показників якості, враховує вплив величини і тривалості (кількості) короткочасних відхилень значень показників мережевої продуктивності від областей допустимих значень на інтервалі часу проведення вимірів на якість надання мультисервісних послуг зв'язку.

3. Запропонований метод формування діапазону порогових значень показників якості для проведення оцінки якості роботи мережевих з'єднань в мережах з комутацією пакетів, який, на відміну від методів, заснованих на пороговій (дискретною) оцінці погіршення якості, враховує різні вимоги з боку набору послуг до якості обслуговування мережевим з'єднанням трафіку даних, що формується в мультисервісній мережі на різних рівнях моделі взаємодії відкритих систем з використанням різних транспортних технологій передачі пакетного трафіку.

4. Запропоновані інтегральні показники якості роботи мережевих з'єднань в мережі з комутацією пакетів, які, на відміну від показників, заснованих на аналізі абсолютних значень, дозволяють оцінити міру деградації якості передачі даних при передачі по мережевому з'єднанню неоднорідного трафіку шляхом обліку величини і тривалість перевищення значеннями показників мережевої продуктивності встановлених порогових значень на інтервалі часу проведення оцінки.

5. Запропонований метод ретроспективної оцінки придатності мережевих з'єднань для передачі мультисервісного трафіку існуючих і перспективних послуг зв'язку з урахуванням їх технологічних вимог, який доповнює існуючі методи поточної оцінки якості і дозволяє управляти маршрутизацією пакетного трафіку шляхом вибору для передачі трафіку мережевого з'єднання з урахуванням історичної оцінки якості при рівності значень поточної оцінки. Такий підхід до управління маршрутизацією пакетного трафіку в мультисервісних мережах зв'язку підвищує продуктивність мереж зв'язку.

6. Теоретична і практична значущість роботи. Теоретична значущість роботи полягає в розвитку методології оцінки якості роботи мережевих з'єднань в мережах з комутацією пакетів шляхом обліку взаємозв'язку і впливу окремих показників мережевої продуктивності на якість передачі пакетного трафіку відповідно до вимог до ресурсів мережі з боку окремої послуги зв'язку або набору послуг.

Практична значущість роботи полягає в тому, що сформовані оцінки якості роботи мережевих з'єднань дозволяють забезпечити управління передачею трафіку

мультисервісних послуг з використанням мережевих з'єднань, що максимально відповідають вимогам до якості передачі трафіку обслуговуваних послуг зв'язку, і проводити моніторинг зміни якості роботи мережевих з'єднань з метою своєчасного вжиття заходів технічного характеру по підтримці якості роботи мережевих з'єднань на необхідному рівні, здійснювати планування розвитку мережі зв'язку оператора з урахуванням поточного технічного стану і зміни навантаження на мережеві з'єднання з боку користувачів послуг зв'язку.

**Методологія і методи дослідження.** У роботі при рішенні поставлених завдань використовувалися методи теорій вірогідності, масового обслуговування, математичної статистики. При оцінці якості передачі пакетного трафіку використані об'єктивні (інтрузивні і неінтрузивні) методи оцінки, виконано комп'ютерне моделювання і отримані експериментальні підтвердження результатів моделювання.

1. Розроблена логічна модель взаємозв'язку показників мережевої продуктивності забезпечує планування і управління якістю передачі трафіку в мультисервісних мережах зв'язку з комутацією пакетів.

2. Розроблений метод формування інтегральної оцінки якості роботи мережевого з'єднання в мережі з комутацією пакетів дозволяє формувати оцінку відповідності якості роботи мережевого з'єднання технологічним вимогам з боку обслуговуваних послуг зв'язку на інтервалі часу довільної тривалості.

3. Розроблений метод формування діапазонів порогових значень показників якості забезпечує підтримку якості роботи мережевих з'єднань з урахуванням технологічних вимог з боку обслуговуваних послуг зв'язку і виробничо-технологічних можливостей мережі зв'язку.

4. Запропоновані інтегральні показники якості роботи мережевих з'єднань в мережі з комутацією пакетів дозволяють виконати оцінку міри впливу змін значень показників мережевої продуктивності на якість передачі мультисервісного трафіку на інтервалі часу довільної тривалості і збільшити в середньому в 1,2 разу об'єм даних, що передаються через мережеві з'єднання із забезпеченням необхідних вимог до якості передачі трафіку, в порівнянні з використанням традиційних показників NP.

5. Метод аналізу якості роботи мережевих з'єднань з використанням інтегральних показників якості дозволяє визначати перелік необхідних змін в мережі зв'язку для забезпечення якості передачі пакетного трафіку з урахуванням вимог існуючих і перспективних послуг зв'язку, оптимізувати маршрутизацію трафіку різних класів з урахуванням історичних даних про якість роботи мережевого з'єднання.

**Міра достовірності і апробація результатів.** Достовірність результатів роботи забезпечується коректністю застосування математичного апарату і

узгодженістю теоретичних і практичних результатів дослідження. З причини практичної цінності отриманих результатів вони впроваджені у використання в навчальному процесі.

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

# 1. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ РОБОТИ МЕРЕЖ З КОМУТАЦІЄЮ ПАКЕТІВ

## 1.1. Вступ

Галузь зв'язку є однією з областей, що найдинамічніше розвиваються, в інфраструктурі сучасного суспільства. При цьому величезними темпами росте проникнення послуг зв'язку в повсякденне життя на різних рівнях людської діяльності : державне і муніципальне управління, промисловість і послуги, громадське і особисте життя. Частенько швидкість тієї або іншої діяльності визначається швидкістю обміну даними, необхідними для досягнення необхідного результату. І усі ці необхідні дані передаються по мережах зв'язку. У зв'язку з цим якість передачі даних по мережі зв'язку виходить на одно з провідних місць в житті суспільства і методи оцінки якості роботи мереж зв'язку повинні забезпечувати максимальне задоволення потреб користувачів при використанні послуг зв'язку шляхом забезпечення підтримки якості послуг зв'язку на належному рівні.

При наданні послуг зв'язку актуальним питанням є забезпечення якості послуг (у англійському варіанті - service), що надаються. Забезпечення належної якості послуг зв'язку (Quality of Service - QoS) є важливим питанням забезпечення конкурентної переваги для операторів зв'язку.

У загальному випадку під поняттям «Якість» розуміється ступінь відповідності сукупності властивих характеристик об'єкту вимогам. Під вимогою розуміється потреба або очікування, яке встановлене, зазвичай передбачається або є обов'язковим. Ще однією з оцінок якості є задоволеність споживача послуги - сприйняття споживачем міри виконання його очікувань [4].

У галузі зв'язку використовуються наступні визначення якості з боку МСЕ:

- Сумарний ефект показників служби, що визначає міру задоволеності користувача обслуговуванням [14].

- Сукупність параметрів, які описуються в термінах, зрозумілих як службі, так і користувачеві і не залежать від структури мережі. Параметри орієнтовані по перевазі на ефект, що сприймається користувачем, мають бути гарантовані користувачеві службою і піддаватися об'єктивному виміру в точці доступу до послуги [12].

Відносно забезпечення якості зв'язку нормативними документами встановлені наступні визначення [16]:

- Якість послуг зв'язку - міра відповідності властивих послугам зв'язку характеристик вимогам, встановленим нормативними документами.

- Якість роботи мережі електров'язку - сукупність показників

(параметрів мережі електрозв'язку), що характеризують якість виробництва послуг електрозв'язку на різних ділянках мережі і по мережі електрозв'язку в цілому (від абонента до абонента) відповідно до технічних вимог до устаткування і каналів зв'язку, а також рівня технічної експлуатації цих засобів.

- Рівень якості послуги зв'язку - відносна характеристика якості послуги зв'язку, заснована на порівнянні фактичних значень показників її якості з нормативними значеннями цих показників.

- Показник якості послуги зв'язку - кількісна характеристика споживчої властивості послуги зв'язку, що дозволяє давати оцінку виконання вимог до послуги зв'язку і очікувань споживача.

Якість обслуговування користувача при наданні послуги зв'язку в загальному випадку визначається не лише показниками роботи самої мережі, але і залежить від зовнішніх чинників, схематично це представлено на рис. 1.1.

Частина показників якості обслуговування характеризує якість роботи технічних елементів мережі зв'язку і при цьому є присутніми показники, які не відносяться безпосередньо до роботи мережі, але характеризують якість обслуговування користувача послуги зв'язку з боку оператора зв'язку [11, 17].

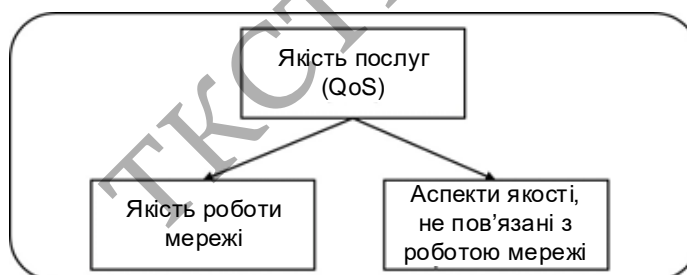


Рисунок 1.1 - Загальний склад показників якості обслуговування

В ході подальшого розгляду питання забезпечення якості послуг зв'язку робиться розгляд тільки технічної і технологічної складових цього питання.

У роботі розглядаються питання забезпечення якості роботи мереж, побудованих за технологією комутації пакетів. Технологія комутації пакетів отримала дуже широке поширення при побудові різних мереж зв'язку, оскільки є досить універсальною конвергентною технологією передачі даних. У зв'язку з цим питання забезпечення ефективного використання і забезпечення високої продуктивності мереж зв'язку, побудованих за технологією комутації пакетів, є актуальними завданнями.

## 1.2. Види оцінок якості в мережах зв'язку

Питання якості послуг зв'язку в загальному вигляді були сформульовані в

рекомендації ITU - T E.800 [21], яка зазнала значні зміни з часу своєї першої появи в 1988 році. До появи рекомендації E.800 багато вимог за якістю при передачі цифрових даних при наданні послуг зв'язку і способи проведення оцінки якості послуг існували в окремому роз'єднаному виді. У рекомендації встановлені важливі визначення для забезпечення якості обслуговування (QoS) в мережі зв'язку. Вказано, що QoS на шляху передачі трафіку між користувачами послуги зв'язку визначається вкладом мережевих компонентів на шляху передачі трафіку. Схематичне представлення компонентів QoS приведене на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 - Схематичне представлення компонентів наскрізного QoS

Відповідно, за наявності оцінки якісних показників мережевих компонентів окремо, можливе формування наскрізного значення показника якості зі значень показників якості мережевих компонентів уздовж шляху проходження призначеного для користувача трафіку.

З причини великої кількості компонентів мережі зв'язку, задіяних в забезпеченні якості послуги зв'язку на рисунку 1.2, виконано виділення складових QoS, які залежать безпосередньо від якості роботи мережі зв'язку, якості роботи кінцевого мережевого устаткування і встановленого на ньому ПО і відокремлена суб'єктивна складова призначеної для користувача оцінки якості послуги зв'язку. Розподіл оцінок QoS на складові з боку MCE залежно від рівня моделі OSI, на якому відбувається забезпечення QoS, представлено на рисунку 1.3 [18].

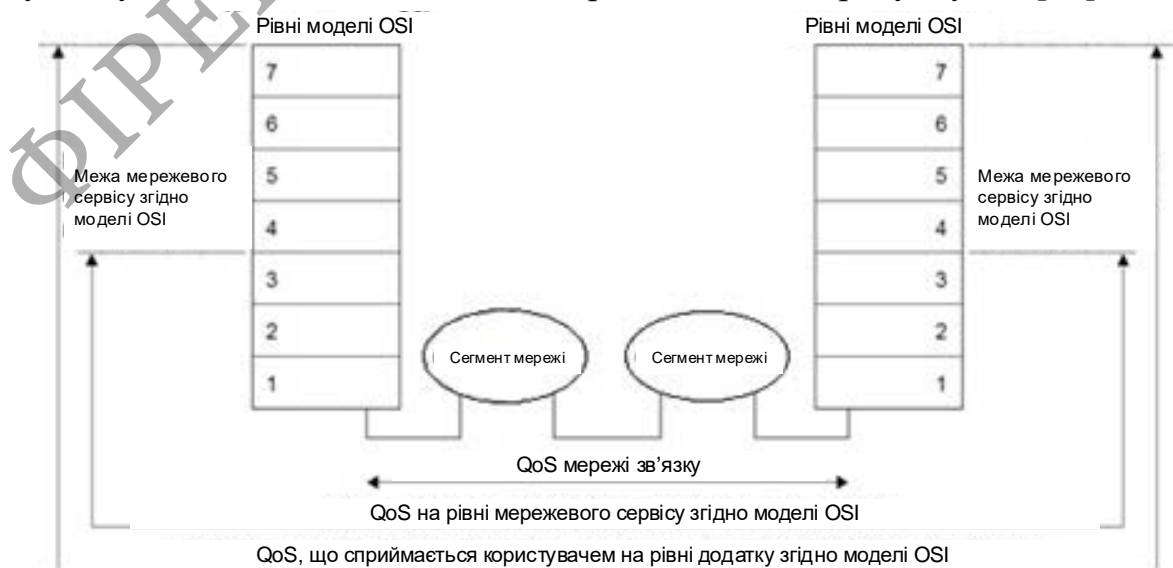


Рисунок 1.3 - Показники QoS для публічної мережі зв'язку



Мережевий сервіс мережі зв'язку описується параметрами роботи устаткування зв'язку на 1-3 рівнях моделі OSI [19]. Для виключення плутанини в поняттях QoS введені уточнюючі найменування для оцінок якості, представлені на рисунку 1.4, відповідно до меж їх дії [12]:

- Якість функціонування мережі (Network Performance - NP) - як здатність мережі або її ділянки/сегменту забезпечити виконання функцій зв'язку, тобто забезпечення мережевого сервісу на 1-3 рівнях моделі OSI [12],
- Якість надання послуги/сервісу (Quality of Service - QoS) - характеристика телекомунікаційного сервісу, як міра задоволення користувача послугою зв'язку [7].
- Якість сприйняття послуги (Quality Of Experience - QoE) - результат судження про сприйняття загальної суті відносно бажаного сприйняття прикладного сервісу з точки зору кінцевого користувача [7].

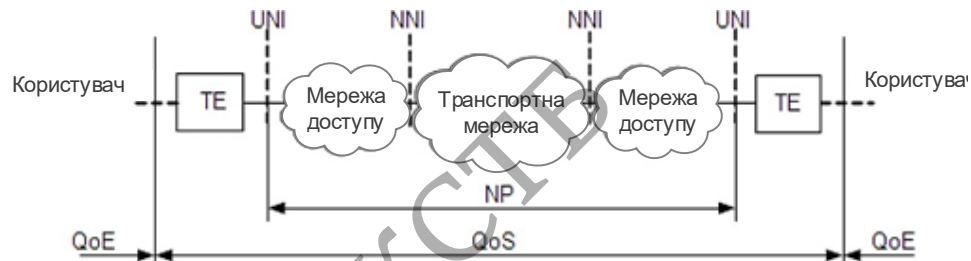


Рисунок 1.4 - Зони дії груп показників якості послуги зв'язку

Перелік відмінностей NP від QoE представлений в таблиці 1.1 [12].

Таблиця 1.1 - Перелік відмітних особливостей QoS і NP

Якість обслуговування (QoS)	Характеристики мережі (NP)
Орієнтовано на користувача	Орієнтовані на оператора мережі
Описується атрибутами послуги	Описуються атрибутами елемента з'єднання
Орієнтовано на ефект, який сприймається користувачем	Орієнтовані на розробку, проектування, експлуатацію і технічне обслуговування.
Вимірюється між точками (в точках) доступу до послуги	Описують можливості елементів з'єднання або наскрізних з'єднань

Формування значень оцінки якості роботи мережевих з'єднань для показників QoS і NP робиться на фіксованих інтервалах часу від декількох секунд до декількох діб залежно від поставленого завдання [15, 16, 17]. Найбільш поширеними інтервалами часу для формування значень показників QoE і NP є інтервали часу тривалістю 1 годину і 5 хвилин.

Формування значень оцінки якості роботи мережі зв'язку за поданням послуг

зв'язку на підставі значень оцінки QoE робиться на інтервалі часу використання послуги зв'язку з боку користувачів, який ніяк не обмежений і може складатися з тривалості декількох сеансів надання послуг зв'язку. Значення оцінки QoS являє собою інтегральне значення оцінки якості за період часу користування послугою зв'язку. Найбільш поширеним інтервалом часу формування призначеної для користувача оцінки якості є добовий інтервал часу, як період циклічності використання послуг зв'язку [19]. Для приведення суб'єктивної призначеної для користувача оцінки до деяких єдиних результатів оцінки розроблені різні математичні моделі формування призначеною для користувача оцінки [10]. Ці методи, незважаючи на всю їх математичну основу, формують деяку усереднену призначену для користувача оцінку якості послуги зв'язку, не дозволяють сформулювати оцінку QoE відносно конкретного користувача і не враховують атрибути оцінки з боку людини, показані на рисунку 1.5. Відмінність в результатах значень оцінки QoE з використанням різних математичних методів показана на рисунку 1.6.

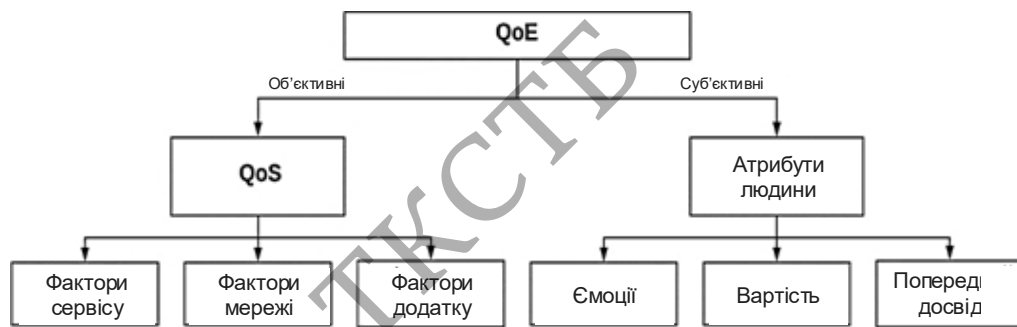


Рисунок 1.5 - Складові оцінки QoE

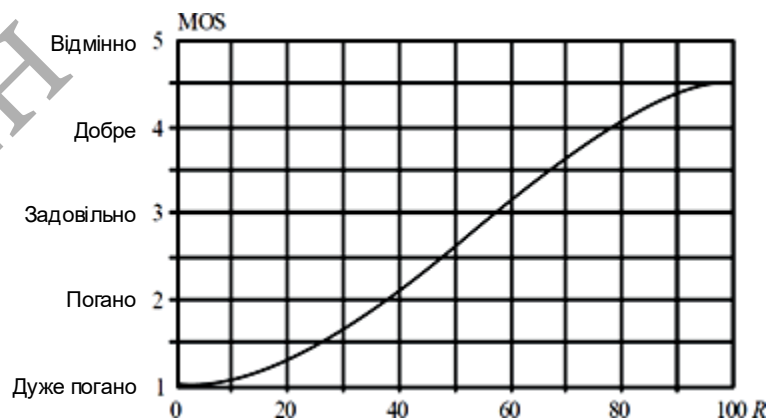


Рисунок 1.6 - Відповідність оцінок QoE по значеннях MOS і R-фактор

По своїй функціональності значення показника QoE є компромісною функцією між забезпеченням якості послуги зв'язку і витратами на це забезпечення [16]. Взаємозв'язок значень QoS і QoE з економічними показниками роботи мережі зв'язку підтверджує важливість питання забезпечення QoS для послуг зв'язку на

мережі оператора. У сучасних мережах зв'язку оцінка якості послуг зв'язку робиться з використанням наскрізної оцінки якості, представленої на рисунку 1.7 [17].

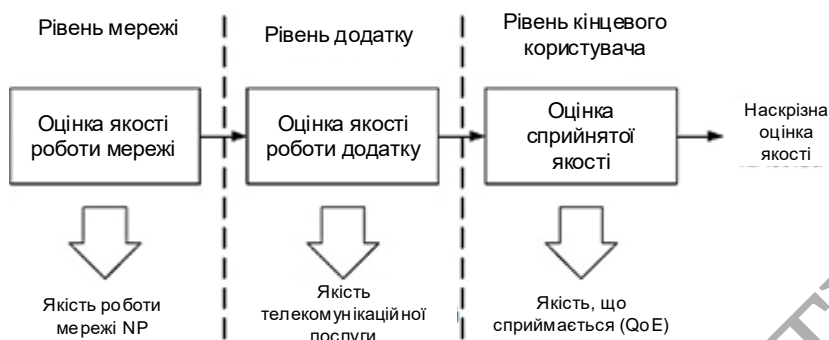


Рисунок 1.7 - Оцінка наскрізної якості послуги зв'язку

Наскрізна оцінка якості послуг зв'язку вимагає необхідності проведення оцінки якості роботи мережі в сукупності для усіх систем, задіяних в наданні послуг зв'язку відповідно до моделі 4-х ринків, представленої на рисунку 1.8 [42]. Модель чотирьох ринків призначена для виявлення компонентів, що впливають на якість послуги зв'язку.

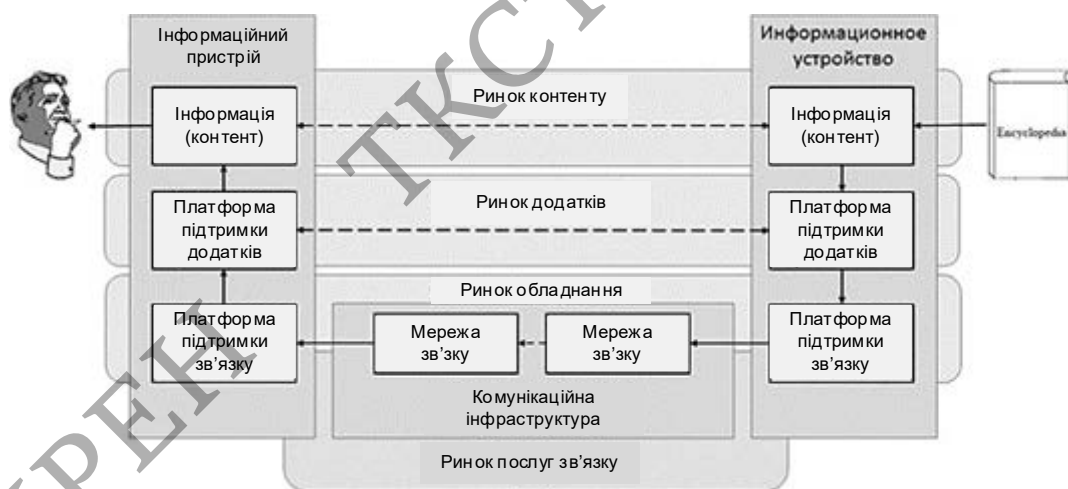


Рисунок 1.8 - Модель чотирьох ринків

Розподіл показників NP, QoS і QoE по рівнях оцінки якості послуг зв'язку показаний на рисунку 1.9.

Оцінка якості надання послуг зв'язку на рівнях моделі OSI вище за мережевий рівень описується відповідними нормативними документами [28]. При цьому для оцінки якості окремих послуг зв'язку з урахуванням особливостей їх надання є присутніми окремі нормативні документи.



Рисунок 1.9 - Розподіл показників якості послуг зв'язку по технологічних системах

Зрештою робота сучасних мереж, призначеного для користувача устаткування і сервісних систем при наданні послуг зв'язку може бути представлена у виді, показаному на рисунку 1.10 [24].

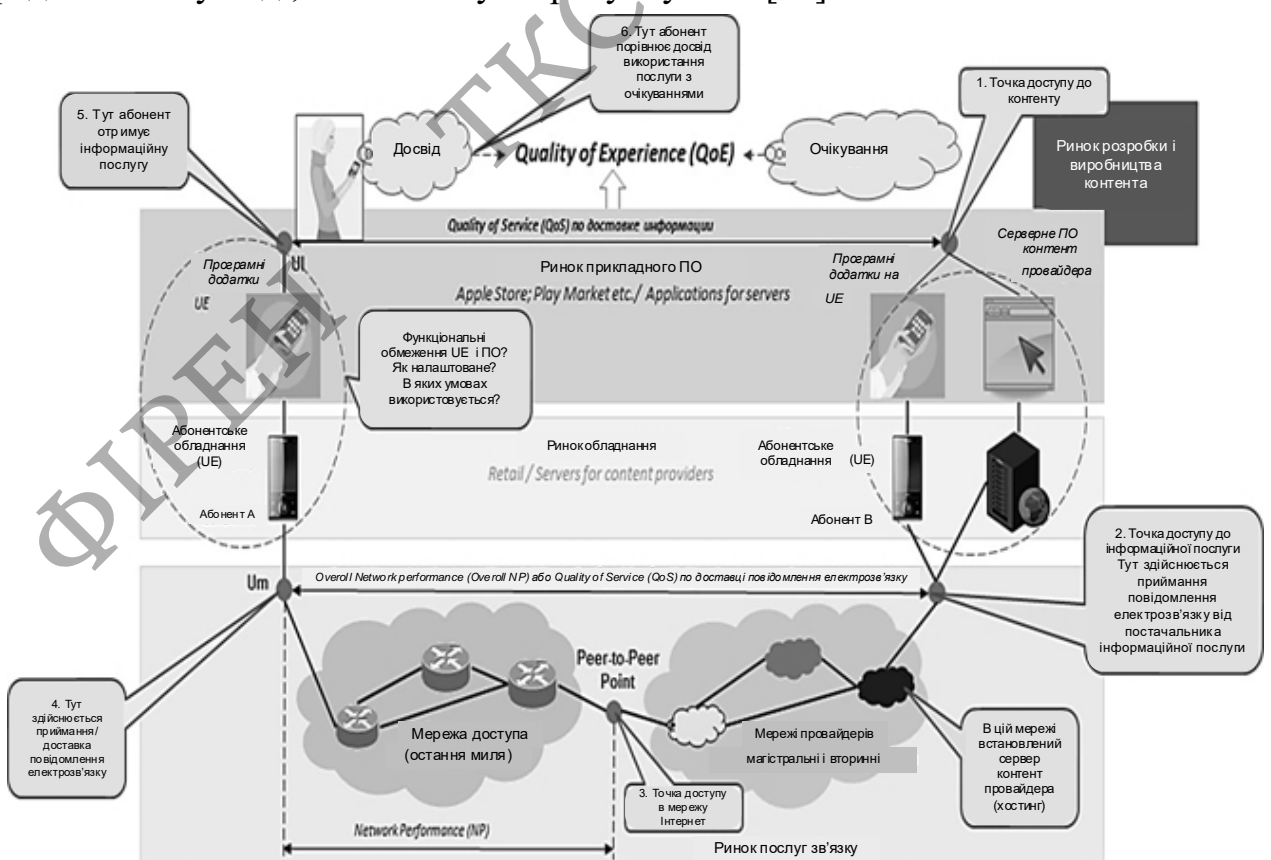


Рисунок 1.10 - Ілюстрація роботи мережі і призначеного для користувача устаткування при наданні послуг зв'язку

### 1.3. Методи набуття значень показників якості в мережах зв'язку

При проведенні вимірів в мережах зв'язку [17] виділяють інтрузивні і неінтрузивні методи проведення вимірів [65].

Інтрузивні виміри проводяться на згенерованому для тестування конкретних показників NP трафіку і при цьому може здійснюватися перевірка практично усіх якісних показників роботи мережі зв'язку [26, 27]. Недоліком інтрузивних вимірів є додавання в канал зв'язку тестового трафіку, що спричиняє за собою збільшення навантаження на устаткування зв'язку, через яке проходить тестовий трафік. В деяких випадках інтрузивні виміри вимагають використання спеціального устаткування і програмного забезпечення при проведенні вимірів. Ще одним недоліком інтрузивних методів є складність їх використання в мережі з високою інтенсивністю змін в маршрутизації трафіку, особливо на високошвидкісних інтерфейсах (зі швидкостями 10 Гбіт/с. і більше). У таких мережах на інтервалах часу між посилкою тестових пакетів може відбуватися вимір маршрутів передачі трафіку. В результаті маршрути тестових пакетів і пакетів призначеного для користувача трафіку можуть досить сильно розрізнятися. Це може бути причиною недостовірності значень показників якості по відношенню до реального призначеного для користувача пакетного трафіку. При проведенні інтрузивних вимірів слід використовувати рекомендації по проведенню вимірів на відповідних рівнях моделі OSI.

Для неінтрузивних вимірів використовується поточний мережевий трафік, що не вносить спотворень в профіль мережевого навантаження, проте може не дозволити зробити вимірювання усіх необхідних показників якості. Для проведення неінтрузивних вимірів найчастіше використовуються спеціальні лічильники, вбудовані в устаткування зв'язки, дані з яких найчастіше отримують з використанням протоколу SNMP. Використання лічильників, опитуваних по протоколу SNMP, дозволяє виконувати моніторинг роботи устаткування зв'язку на 1-3 рівнях моделі OSI. До недоліків використання протоколу SNMP можна віднести той факт, що ріст кількості SNMP-запитів на устаткування зв'язку з ростом кількості тестів різного типу може призвести до зайвого додаткового навантаження на центральний процесор мережевого устаткування і, у гіршому разі, до блокування «перевантажуваних» SNMP -запитів.

В умовах поточної експлуатації мережі зв'язку найбільш актуальне використання неінтрузивних вимірів.

#### 1.4. Показники якості роботи мереж зв'язку з комутацією пакетів

Якість обслуговування користувача з боку мережевої інфраструктури характеризується здатністю мережі швидко, без помилок і без втрат передати дані між необхідними для користувача системами, підключеними до мережі зв'язку.

Показники якості роботи мережі зв'язку повинні відбивати можливості мережі по якісному обслуговуванню користувача з урахуванням особливостей роботи мережі в плані використовуваних технологій передачі даних. У той же час показники якості мають бути універсальними в плані оцінки якості роботи мережі незалежно від типу використовуваного устаткування і мережевої топології. Зараз в мережах зв'язку широке поширення мають дві основні технології передачі даних: комутація каналів і комутація пакетів. З аналізу інформації можна зробити наступні висновки:

- Мережі, побудовані за технологією комутації пакетів, мають більшу ефективність при їх використанні, ніж мережі, побудовані за технологією комутації каналів, оскільки мають більшу живучість, можливостями по запобіганню перевантаженням і диференційованому обслуговуванню призначеного для користувача трафіку відповідно до його пріоритету.

- Мережі, побудовані за технологією комутації пакетів, при необхідності можуть емулювати роботу мереж з комутацією каналів.

- Для мереж, побудованих за технологією комутації пакетів, потрібні показники якості, які описують тільки процес передачі трафіку. Для мереж, побудованих за технологією комутації каналів, додатково потрібно показники, що описують процес встановлення з'єднань і розбору з'єднання після передачі даних. При цьому для мереж, побудованих за технологією комутації пакетів, при описі процесу передачі даних потрібно показники, що відбивають якість роботи пакетних черг/буферів і вплив можливості зміни маршруту передачі пакетів даних від відправника до одержувача.

Для оцінки QoS і NP визначені наступні базові параметри, які визначають можливість доступу одного мережевого пристрою до іншого для цілей передачі або отримання даних [12]:

- швидкість доступу (передачі даних/інформації)
- точність забезпечення доступу
- надійність доступу (вірогідність відмови в доступі)
- швидкість передачі даних
- точність передачі даних/інформації (безпомилковість при передачі даних/інформації)
- надійність передачі даних/інформації (втрати при передачі даних/інформації)

- швидкість роз'єднання (між пристроями відправника і одержувача даних/інформації)
- точність роз'єднання
- надійність роз'єднання.

З вказаних 9 параметрів формується матриця, представлена на рисунку 1.11, яка використовується для оцінки QoS і NP мережевого з'єднання.

Характеристики служби Функції служби	Швидкість (Speed)	Безпомилковість (Accuracy)	Надійність (Dependability)
Доступ (Access)			
Перенесення інформації (User Information transfer)			
Звільнення (Release)			



....110111111111....

Стан готовності впродовж послідовних моментів часу

Рисунок 1.11 - Матриця для оцінки QoS і NP мережевого з'єднання

Для мереж з комутацією пакетів активне мережеве устаткування розділяється на 2 основних категорії з урахуванням виконання ними функцій по передачі пакетних даних згідно моделі OSI: комутатори і маршрутизатори. Комутатори і маршрутизатори працюють на 2 і 3 рівнях моделі OSI відповідно з використанням для передачі даних що відповідають рівням моделі OSI протоколів передачі даних. Процес передачі даних між відправником і одержувачем даних з використанням якості устаткування в мережі зв'язку комутаторів і маршрутизаторів представлений на рисунку 1.12.

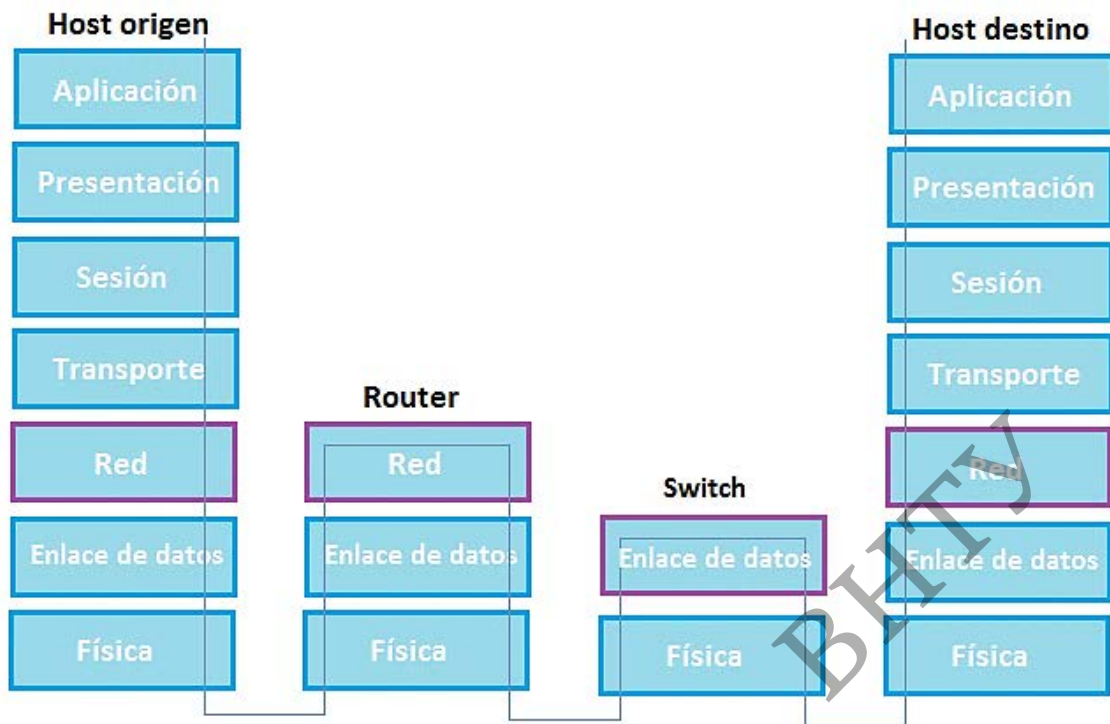


Рисунок 1.12 - Обробка пакетного трафіку по рівнях моделі OSI на маршрутизаторах і комутаторах

З урахуванням того, що показники NP відносяться до елемента мережевого з'єднання (є його атрибутами) оцінка NP повинна робитися на рівні роботи мережевого елемента в мережі передачі даних. З причини того, що основними мережевими елементами є комутатори і маршрутизатори, то оцінка якості передачі пакетів даних в мережі з комутацією пакетів повинна проводитися для маршрутизаторів на мережевому рівні і для комутаторів на каналному рівні. Також необхідно врахувати, що широко поширена в сучасних мережах з комутацією пакетів технологія MPLS займає в ієрархії моделі OSI проміжне положення між 2 і 3 рівнями і відноситься до рівня 2,5 в моделі OSI. У зв'язку з цим до набору показників NP пред'являється вимога мати можливість застосування на рівнях моделі OSI, пакетів даних, що забезпечують передачу, між відправником і одержувачем.

Проблемою при формуванні оцінки мережевої продуктивності для мереж з комутацією пакетів є використання технологій тунелювання, які «відривають» мережевий рівень з точки зору користувача послуги зв'язку від мережевого рівня з точки зору оператора. У сучасних мережах з комутацією пакетів досить широко є присутніми технології для тунелювання пакетів призначених для користувача даних всередині пакетів даних, передаваних безпосередньо в мережі операторів зв'язку. Зокрема, технологія тунелювання призначених для користувача пакетів даних використовується при забезпеченні взаємодії між дата-центрами і в стільникових мережах зв'язку. На малюнках 1.13 і 1.14 представлено тунелювання



призначених для користувача даних при забезпеченні обміну даними між дата-центрами з використанням технології VXLAN і тунелювання при передачі призначеного для користувача трафіку в мережі оператора стільникового зв'язку з використанням GTP -тунелю. Основною особливістю вищезгаданих технологій тунелювання є використання заголовків транспортного рівня моделі OSI для розподілу мережевих заголовків призначеного для користувача пакету даних і мережевого заголовка, використовуваного в мережі оператора зв'язку.

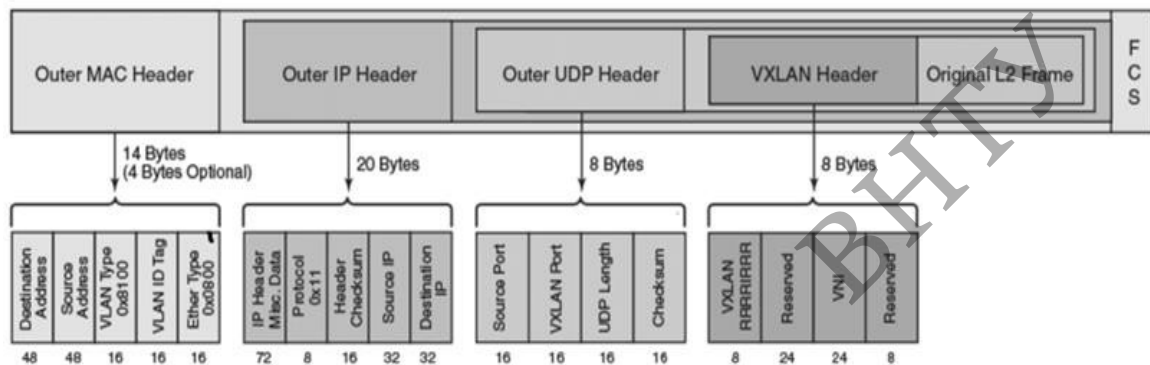


Рисунок 1.13 - Формат мережевого кадру при тунелювання кадрів дата-центрів через зовнішні IP-мережі з використанням технології VXLAN

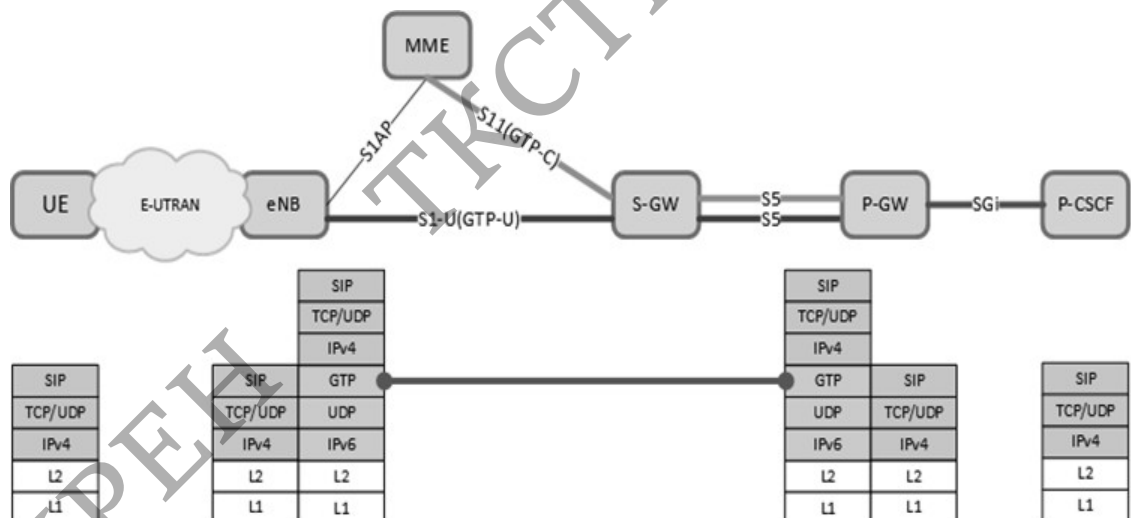


Рисунок 1.14 - Тунелювання призначених для користувача пакетів даних через мережу стільникового оператора

З урахуванням представленої раніше на рисунку 1.3 межі мережевого сервісу і представлених на рисунку 1.15 моделях ISO/OSI, TCP/IP і NGN (модель мереж зв'язку наступних поколінь)[1, 3] межа між мережевим і транспортним рівнем розділяє рівні моделі OSI на 2 основні рівні: рівень послуг і транспортний рівень. Рівень послуг відноситься до роботи призначеного для користувача пристрою або сервісного пристрою, для яких надає транспортний сервіс для передачі даних. Використання технологій тунелювання, аналогічних вищезгаданим, дозволяє

робити оцінку якості передачі трафіку на мережевому рівні тільки між кінцевими точками тунелю без можливості формування наскрізної оцінки QoS між призначеними для користувача пристроями, як показано на рисунку 1.2. Таким чином, в мережах з комутацією пакетів оцінка мережевої продуктивності робиться тільки для транспортного рівня моделі NGN і мережі з комутацією пакетів в загальному випадку іменуються транспортними мережами.

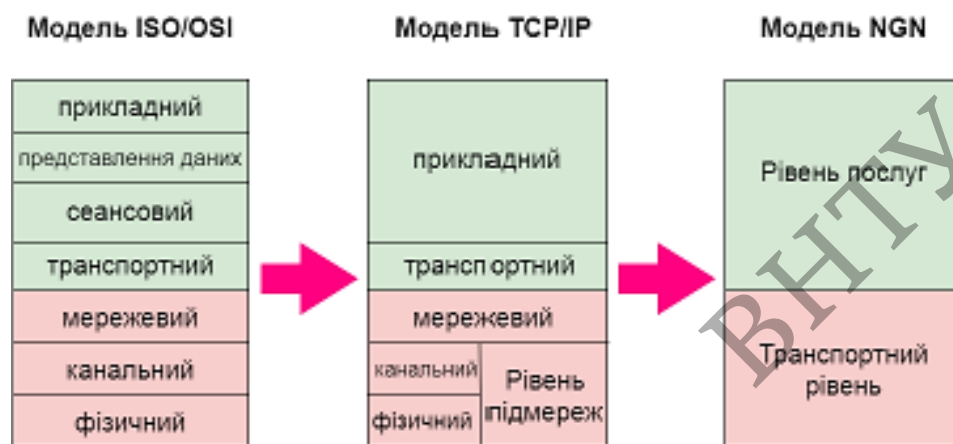


Рисунок 1.15 - Порівняльний аналіз моделей ISO/OSI, TCP/IP і NGN

Зараз найбільш поширеними протоколами для забезпечення передачі пакетів даних в мережах з комутацією пакетів стали протоколи IP (на мережевому рівні) і Ethernet (на канальному рівні). При цьому в ієрархії моделі OSI протокол IP займає ключове положення в плані забезпечення обміну даними між відправником і одержувачем, оскільки передача пакетів даних відбувається на підставі адресної інформації, що міститься в IP-заголовку. Передача пакетів даних на підставі адресної інформації канального рівня здійснюється тільки у рамках широкомовних доменів і відноситься до технології локальних мереж, які є часткою злучаємо при побудові сегментів глобальних мереж зв'язку. Ілюстрація ключового положення протоколу IP і його єдиної ролі представлена на рисунку 1.16 у вигляді так званої «моделі пісочного годинника» (HourGlass - model).

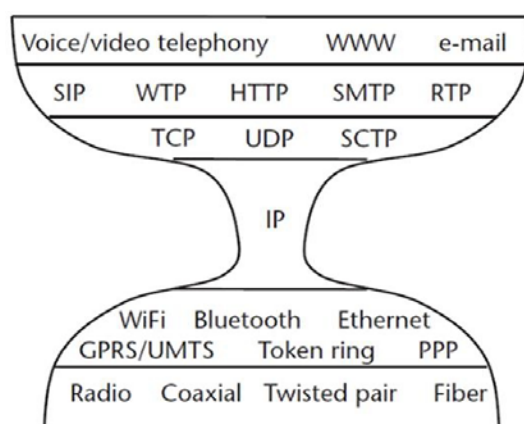


Рисунок 1.16 - Ієрархія протоколів мережі з комутацією пакетів

Виходячи з ключового положення протоколу IP з боку МСЕ розроблені показники QoS і NP для мереж передачі даних, побудованих з використанням IP - протоколу [15]. Показники NP умовно діляться на 2 категорії: якісні і кількісні (об'ємні). До якісних показників NP для контролю якості передачі даних між відправником і одержувачем відносяться:

- Величина часу затримки при передачі пакету IP (IP - packet Transfer Delay - IPTD)
- Варіація величини часу затримки (джитер) передачі пакетів IP (IP - packet Delay Variation - IPDV)
- Рівень помилок (доля переданих з помилкою) пакетів IP (IP - packet Error Ratio - IPER)
- Рівень втрат (доля втрачених) пакетів IP (IP - packet Loss Ratio - IPLR)
- Рівень порушення порядку (доля з порушенням порядку дотримання) пакетів IP (IP - packet Reordering Ratio - IPRR)
- Рівень дублювання пакетів IP (IP - packet Duplicate Ratio - IPDupR).

З урахуванням особливостей роботи мережевих пристроїв мережі з комутацією пакетів для оцінки продуктивності пакетних черг/буферів використовується спеціальний показник NP [17]:

- Рівень скидання (доля скинутих/відмовлених в обробці) на мережевому пристрої/елементі пакетів IP (IP - packet Discard Ratio - IPDR).

В якості кількісних (об'ємних) показників NP при передачі даних між двома сусідніми мережевими пристроями, що забезпечують передачу даних на мережевому рівні моделі OSI, розглядаються [15]:

- Ємність IP-секції (IP - layer Section Capacity), як найбільша кількість біт, яка може бути передана на мережевому рівні за певний інтервал часу, досить часто іменується як смуга пропускання мережевого з'єднання на мережевому рівні
- Використовувана ємність IP-секції (IP - layer Used Section Capacity), як кількість біт, яка передана на мережевому рівні за певний інтервал часу, досить часто іменується як інтенсивність пакетного трафіку на певному інтервалі часу
- Рівень завантаження IP-секції (IP - layer Section Utilization), як відносна величина, рівна відношенню використовуваної місткості IP-секції до місткості IP, - секції
- Пакетна швидкість при передачі IP-пакетів (IP Packet Rate - IPPR)
- Байтова швидкість при передачі IP-пакетів (Octet - based IP packet Rate - IPOR).

Слід мати на увазі, що кількісні (об'ємні) показники NP розділені по зонах відповідальності між оператором і користувачем послуг зв'язку. Оператор зв'язку повинен гарантувати смугу пропускання мережевого з'єднання (ємність IP-секції).

Користувач послуги зв'язку при передачі або отриманні пакетного трафіку не повинен допускати, щоб інтенсивність пакетного трафіку (використовувана ємність IP -секції) перевершувала смугу пропускання мережевого з'єднання. Об'єм трафіку, що перевищує ємність секції, може бути скинутий або затриманий (включаючи зміну поля пріоритетів обробки пакетів даних) з боку мережі оператора зв'язку без віднесення цих втрат на оцінку якості роботи мережевого з'єднання [5].

У зв'язку з відсутністю процедур встановлення і розбору з'єднання в мережах з комутацією пакетів доступність мережевого сервісу (Percent IP - service Availability - PIA) трактується як передача пакетів даних на мережевому рівні з рівнем втрат (IPLR), що не перевищує встановленого порогового значення. При цьому рівень доступності IP -сервісу (Percent IP service availability - PIA) трактуючи як відсоток загального часу надання IP -сервісу, впродовж якого значення IPLR не перевищувало встановленого порогового значення [15].

З урахуванням вищевикладеного, при оцінці доступності за значенням рівня втрат необхідно використовувати граничну умову за значенням рівня завантаження, тобто не враховувати при оцінці продуктивності мережевого з'єднання значення рівня втрат при значенні рівня завантаження рівному 100%. Аналогічний підхід до визначення показників NP відносно послуги/сервісу передачі даних є присутнім в нормативних документах і при цьому визначені наступні показники якості.

В деяких випадках досить складно визначити об'ємні показники трафіку при наданні послуг зв'язку. Такі випадки відносяться до надання мультимедійних послуг зв'язку, які утворені шляхом комбінації деякого набору базових послуг зв'язку. Під базовими послугами зв'язку розуміються такі послуги, які традиційно існували у вигляді окремих послуг зв'язку, виражених одним класом трафіку, і були об'єднані у рамках однієї мультимедійної послуги з причини розвитку інфокомунікаційних технологій. В якості прикладу базових послуг можуть виступати послуги передачі голосу, відео і даних. Приклад утворення нових мультимедійних послуг зв'язку з використанням базових послуг представлений на рисунку 1.17. Для мультимедійних послуг зв'язку об'ємні показники трафіку можуть змінюватися в межах від найменшого об'єму однієї з базових послуг до максимального сумарного об'єму усіх складових мультимедійної послуги зв'язку.

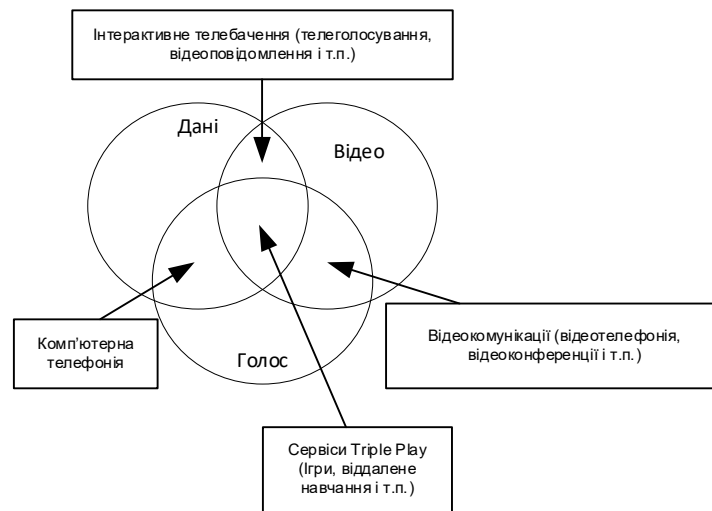


Рисунок 1.17 - Утворення нових мультимедійних послуг на основі базових послуг зв'язку

Кожна з базових послуг зв'язку залежно від необхідності передачі трафіку того або іншого типу в конкретний момент часу пред'являє в цей момент часу відповідні вимоги за якістю обслуговування до мережі зв'язку, які можуть бути описані у вигляді набору порогових значень для показників NP. Оскільки момент пред'явлення тієї або іншої вимоги має випадковий характер, то показники NP для забезпечення роботи відповідної мультимедійної послуги повинні контролюватися на відповідність найбільш «жорстким» вимогам відповідно до класу трафіку, який передається або приймається призначеним для користувача пристроєм в мережі зв'язку. Основними показниками NP при передачі мультимедійного трафіку між відправником і одержувачем є показники наскрізного QoS.

Показники NP для мережевого рівня можуть бути застосовані для оцінки продуктивності мережевих з'єднань на рівнях моделі OSI нижче за мережевий рівень, оскільки протоколи від рівня 1 до рівня 3 моделі OSI можуть також вважатися частиною мережі IP [15] і мережеві сегменти рівнозначні доменам операторів і можуть включати мережеву архітектуру доступу з використанням протоколу IP. При цьому для значень показників NP на рівнях моделі OSI нижче за мережевий рівень можуть бути встановлені свої порогові значення з урахуванням особливостей функціонування відповідних протоколів передачі даних. Існують нормативні документи з питань оцінки продуктивності мережевих з'єднань, побудованих з використанням протоколу Ethernet і технології MPLS. З причини того, що при передачі пакетного трафіку між відправником і одержувачем можуть бути використані мережеві сегменти, побудовані з використанням різних технологій і протоколів передачі даних і зв'язку, що належать різним операторам, існують окремі нормативні документи, що визначають порядок взаємодії між собою таких мережевих сегментів і забезпечення міжоператорської взаємодії. Значення показників NP розраховуються за значеннями відповідних лічильників на

устаткуванні зв'язку або тестовому устаткуванні за деякий заздалегідь зумовлений інтервал часу. Тривалість інтервалів часу може мати різну величину. Від мереж з комутацією каналів історично успадковано використання методу оцінки значень показників NP під час найбільшого навантаження (ЧНН) на добовому інтервалі часу [18, 20]. До мереж з комутацією пакетів метод оцінки NP по значеннях показників NP в ЧНН непридатний з наступних причин:

- Оцінка мережевої продуктивності робиться по 1 годині з 24, ситуація по інших 23 годинам невідома. У зв'язку з цим мережеві з'єднання з різними змінами величин показників NP протягом доби можуть бути оцінені однаковим чином. Приклад такої оцінки по рівню завантаження в ЧНН представлений на рисунку 1.18.

- Відсутнє правило використання поняття ЧНН за наявності декількох годинних інтервалів часу з однаковими значеннями рівня завантаження мережевого з'єднання протягом доби, особливо, якщо однакові значення рівня завантаження формуються в різні інтервали часу трафіком різних послуг зв'язку.

- У мережах з комутацією пакетів є присутніми дуже короткі сеанси зв'язку, порівнянні з тривалістю передачі одного пакету.

- З причини можливості «одночасної» передачі трафіку декількох користувачів в мережах з комутацією пакетів можуть виникати дуже короткі перевантаження великої величини, що призводять до різкого погіршення значень показників NP. Для контролю таких перевантажень потрібно періодичність контролю з тривалістю інтервалів часу значно менше години.

- Усереднювання значень показників NP на годинному інтервалі часу сильно спотворює результати оцінки. Приклад впливу тривалості інтервалу часу для формування значень показників NP на результати загальної оцінки показаний на рисунку 1.19. З аналізу представлених на рисунку графіків видно, що визначення ЧНН потребує багатьох уточнень.

- Наявність в мережах з комутацією пакетів механізму буферизації і пріоритезації трафіку змінює характер завантаження мережевого з'єднання і тривалість інтервалу часу обслуговування користувача (послуги зв'язку), що призводить до появи ряду одночасних оцінок навантаження по групах класів трафіку відповідно до застосовуваних до пакетів даних відповідного класу правилами буферизації і пріоритезації. При цьому інтервали часу найбільшого навантаження по відповідних класах трафіку можуть бути істотно рознесені в часі.

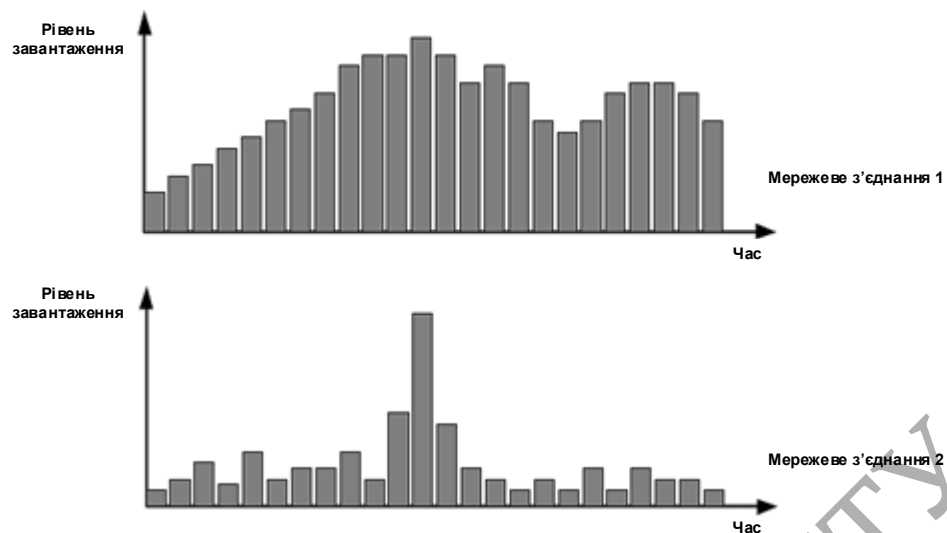


Рисунок 1.18 - Приклад різних добових профілів трафіку з однаковим значенням рівня завантаження в ЧНН

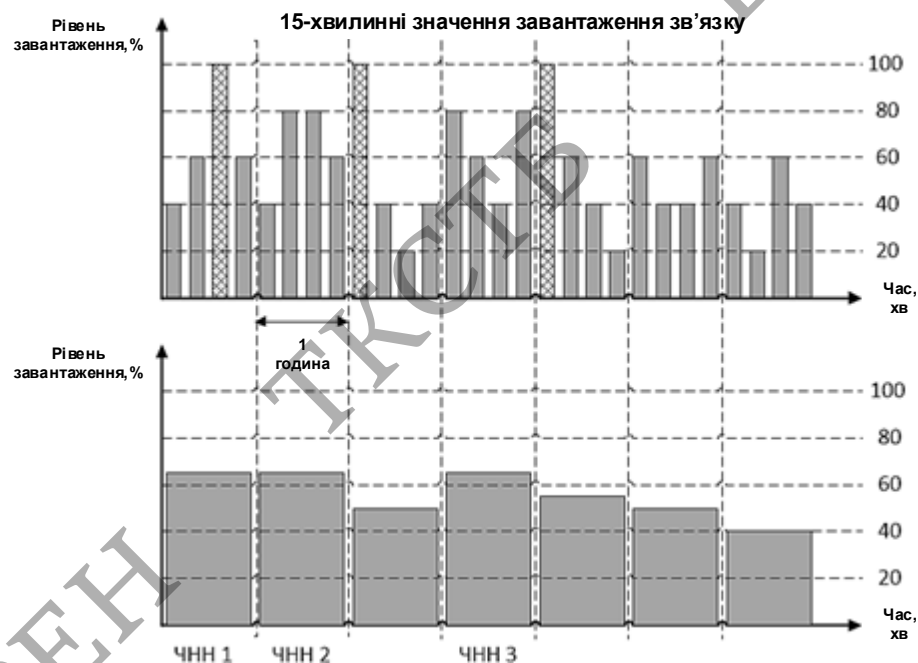


Рисунок 1.19 - Приклад різних годинних профілів трафіку з однаковим середнім значенням рівня завантаження в якості кандидатів в ЧНН

Вважається, що трафік сучасних пакетних мереж зв'язку і мережі Інтернет зокрема має властивість самоподоби (масштабної інваріантності і незмінності значення коефіцієнта кореляції при масштабуванні). Проте, для самоподобного трафіку методи розрахунку характеристик мереж зв'язку (пропускна здатність, розмір буферів і тому подібне) з використанням марківських моделей і формул Ерланга, які успішно застосовувалися при розрахунку мереж зв'язку з комутацією каналів, призводять до некоректної оцінки завантаження каналів/ліній зв'язку і видають невиправдані оптимістичні результати. Використання показників

самоподоби (показників Херста) до оцінки роботи реальних мереж зв'язку вимагає достатньої обережності і обов'язкового обліку значень інших показників роботи мережі зв'язку. Статистичне мультиплексування, представлене на рисунку 1.20, можливо тільки у разі наявності досить широкої смуги мережевого з'єднання і великої ємності пакетних буферів за відсутності застосування до початкового трафіку до мультиплексування і сумарного трафіку в процесі мультиплексування правил обробки, що містять у своїй основі використання полісинга або шейпінгу, тобто фактично при використанні для передачі трафіку каналів зв'язку необмеженої пропускної здатності і буферної ємності по відношенню до величини інтенсивності передаваного трафіку.

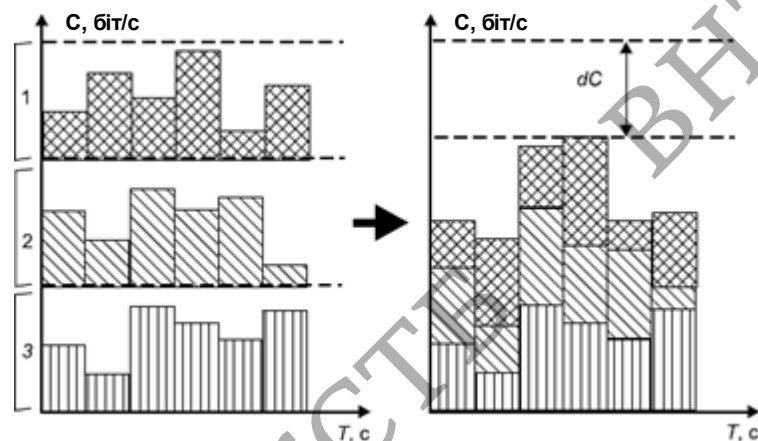


Рисунок 1.20 - Приклад статистичного мультиплексування трафіку в каналі/лінії зв'язку

Проте, на практиці ширина смуги і ємність буферів обмежені, що призводить до використання функцій полісинга і шейпінгу до передаваного пакетного трафіку. Для передачі пакетного трафіку без втрат, включаючи втрати/відкидання пакетів на приймальній стороні, викликані високими значеннями часу затримки, пропускна спроможність каналу/лінії повинні відповідати піковим значенням швидкостей передачі пакетів даних. Це є причиною неефективного використання смуги пропускання мережевого з'єднання, оскільки середня швидкість передачі пакетів зазвичай невелика в порівнянні з піковими значеннями [100].

У нормативній документації [16, 17] порогові значення показників NP для мереж з комутацією пакетів встановлені з припущення стаціонарності і ординарності процесу передачі пакетного трафіку з відсутністю післядії. У зв'язку з цим при аналізі значень показників NP для мережевих з'єднань на інтервалі часу проведення оцінки різними системами мережевого моніторингу використовуються поняття мінімального, максимального і середнього значень показників за цей інтервал часу [15, 16]. Використання такого підходу при аналізі значень показників NP не дозволяє отримати порівнянних між собою оцінок якості роботи мережевих



з'єднань для проведення порівняльного аналізу їх продуктивності. Це пов'язано з тим, що :

- У загальному випадку процес зміни величини показника якості в часі не є стаціонарним, оскільки вірогідність вступу на обробку певного числа пакетів даних залежить інтенсивності використання послуг зв'язку з боку користувачів і не має рівномірного розподілу за часом.

- Відсутня ординарність потоку пакетів даних з причини наявності конкуренції при передачі пакетів цих різних потоків трафіку залежно від встановленого значення пріоритету передаваних пакетів даних для послуг зв'язку.

Є присутнім вплив наслідків використання в якості складової частини мережеских з'єднань в мережах з комутацією пакетів різних буферів для пакетів з різним значенням пріоритету за наявності варіації розмірів пакетів, що мають однакове значення пріоритету. При цьому інтенсивність вступу пакетів даних на вхід буфера може сильно змінюватися в часі і її значення носить випадковий характер. Розмір пакетів даних, що поміщаються у буфер, також може бути різним. Пакети даних можуть бути передані з буфера із затримкою в різні наступні інтервали часу на додаток до пакетів, що поступили на обробку, або замість пакетів з нижчим пріоритетом.

Є присутнім просіювання потоку пакетів даних, результати якого визначають втрати пакетів даних у вигляді скидання пакетів з причини їх спотворення при передачі (невідповідність контрольних сум), скидання з причини відсутності вільного місця в пакетній черзі або обмеження по кількості пакетів певного типу від певного відправника (наприклад, відправлених з конкретного IP -адреса і порту). Відповідно, потік пакетів до просіювання не еквівалентний потоку після просіювання [15]. Операція просіювання пакетів даних працює з урахуванням рівня пріоритету пакетів даних. Вірогідність вступу пакетів певного типу від конкретного відправника визначається активністю відправника і носить випадковий характер.

Ці факти не дозволяють отримати коректної порівнянної оцінки якості роботи мережеских елементів мереж з комутації пакетів з використанням вищезгаданих статистичних методів.

Наступною особливістю використання встановлених в нормативних документах показників NP для мереж з комутацією пакетів є той факт, що при зміні значень показників NP в межах областей допустимих значень якості послуг зв'язку для кінцевих користувачів залишається на необхідному для користувачів рівні. В цьому випадку використання усереднювання значень показників NP призвести до набуття значення показника, яке не перевершує встановленого порогового значення в середньому (значення показника NP знаходиться в області допустимих значень), але на окремих часових інтервалах проведення вимірів значення

показника NP перевищує встановлене порогове значення (знаходиться поза областю допустимих значень).

Виходячи з вищевикладеного, найбільш краще завданню підтримки якості роботи мережевих з'єднань на належному рівні відповідає контроль відхилень значень показників NP від областей допустимих значень (вихід за межі порогових значень) за величиною і тривалістю часу відхилення. При цьому виключається вплив на результати оцінки якості змін значень показників якості в областях допустимих значень. Такий підхід до контролю продуктивності мережевих з'єднань дозволяє оцінювати продуктивність мережі по передачі пакетів даних і досить близько відповідає існуючим методам контролю якості надання послуг зв'язку кінцевому користувачеві, оскільки дозволяє оцінити міру погіршення продуктивності мережевого з'єднання не лише за інтервал часу проведення вимірів значень показників NP, але і за довільний інтервал часу, у тому числі за інтервал часу надання послуги зв'язку. Це дозволяє оцінювати вплив значень показників QoS на формування значень показників QoE, оскільки міра задоволеності користувача від використання послуги зв'язку є психологічною оцінкою, яка у свою чергу визначається величиною і тривалістю «дратівливого чинника» (погіршення якості передачі даних при наданні послуги зв'язку). При цьому сприймана з боку користувача якість послуги зв'язку має первинне значення для оптимізації прибутків і ресурсів постачальника послуг, тобто є критичним для бізнесу значенням.

### 1.5. Вимоги до оцінки якості роботи мережевого з'єднання

При формуванні математичної моделі для оцінки якості роботи мережевого з'єднання на підставі вищевикладеного необхідно врахувати наступні вимоги:

- Оцінка якості повинна робитися на інтервалі часу довільної тривалості (інтервалі часу використання мережевого з'єднання для передачі трафіку в інтересах послуг зв'язку, що надаються). Це дозволяє проводити порівняльний аналіз продуктивності мережевих з'єднань з урахуванням нестационарної і неординарності процесу передачі пакетних даних за наявності наслідків.

- Має бути встановлене порогове значення для рівня доступності мережевого з'єднання при передачі трафіку за інтервал часу формування оцінки якості. Це порогове значення може визначатися угодою про якість надання послуг зв'язку (SLA) з користувачами послуг зв'язку.

- Має бути встановлене порогове значення по рівню завантаження мережевого з'єднання з урахуванням типу передаваного трафіку (розміру пакету даних).

- Оцінка якості повинна формуватися з урахуванням вимог до значень показників NP на відповідному рівні моделі OSI. Рівень моделі OSI визначається рівнем надання транспортного сервісу мережі передачі даних.

З урахуванням описаних вимог маємо багатовимірну оцінку якості роботи мережевого з'єднання, що складається з рівня завантаження, тривалості часу доступності, значень показників NP на відповідному рівні моделі OSI. Багатовимірність оцінки якості може бути зменшена шляхом залишення для розгляду тільки показників NP, критичних для надання послуги зв'язку відносно якої оцінюється якість роботи мережевого з'єднання по передачі трафіку відповідного класу і типу.

Ймовірно-статистичні методи мають бути враховані в об'ємі, необхідному при проведенні дослідження. При цьому слід врахувати той факт, що методи статистичного аналізу з урахуванням теорій вірогідності найбільш затребувані при проведенні планування розгортання мережі зв'язку з метою оцінки потреб в мережевих ресурсах. Результати дослідження спрямовані на оцінку дефіциту мережевих ресурсів (продуктивності) вже існуючої мережі зв'язку з урахуванням вимог з боку послуг зв'язку, що надаються або планованих до надання, до значень показників NP для мережевих з'єднань, по яких передається або передаватиметься пакетний трафік в інтересах послуг зв'язку.

Для забезпечення єдиних вимог до архітектури і якості роботи мережі зв'язку, підтримка продуктивності мережі на максимально можливому рівні впродовж терміну експлуатації існує необхідність в розробці єдиної моделі оцінки якості роботи мережі, що описує взаємозв'язок і взаємний вплив між показниками NP.

## 1.6. Висновки по розділу 1

На підставі вищевикладеного можна зробити висновок, що для оцінки якості передачі пакетного трафіку в інтересах послуги зв'язку, що надається, на основі значень показників якості на інтервалі часу довільної тривалості потрібне формування показника якості, що має наступні властивості:

1. Показник повинен мати інтегральне значення з можливістю формування значення показника для інтервалу часу проведення оцінки довільної тривалості, на відміну від використовуваних нині показників якості, що формуються на інтервалі часу фіксованої тривалості.

2. Інтегральний показник повинен враховувати наявність нелінійного взаємозв'язку між значеннями показників мережевої продуктивності.

3. Виміри, що проводяться для набуття значень показників якості, повинні носити неінтрузивний характер і виконуватися на основі реального призначеного для користувача трафіку.

4. Значення інтегрального показника якості повинні формуватися для кожного мережевого елемента з можливістю оцінки наскрізного значення QoS в залежності від шляху проходження призначеного для користувача трафіку через конкретний набір мережевих елементів.

5. Значення інтегрального показника якості повинні формуватися по алгоритмах, максимально близьких до алгоритмів формування оцінок QoE для оцінки впливу показників функціонування мережі зв'язку (NP) на якість сприйняття послуг зв'язку з боку користувачів (QoE). Необхідно забезпечити формування показників NP, що забезпечують зрештою підтримку значень QoE на рівні додатків в області допустимих значень.

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

## 2. ІНТЕГРАЛЬНИЙ МЕТОД ОЦІНКИ ПРОДУКТИВНОСТІ МЕРЕЖЕВИХ З'ЄДНАНЬ

**2.1.** Оцінка продуктивності мережеских з'єднань з використанням нормативних показників

Згідно нормативної документації продуктивність - ця властивість системи, яка вказує на точність і швидкість, з якою система виконує свої завдання за певних експлуатаційних умов [22]. При цьому продуктивність оцінюється з точки зору таких показників як:

- точність
- час реакції
- потужність інформаційна.

Інформаційна потужність визначена як властивість продуктивності системи, яка вказує на максимальне число передачі інформації встановленої функції передачі інформації, яку система здатна виконати впродовж певного періоду часу без негативної дії на які-небудь інші можливості системи [23]. Інформаційна потужність визначається формулою

$$\text{Інформаційна потужність} = \text{базове навантаження} + \text{робоче навантаження} + \text{резервна інформаційна потужність}.$$

Система знаходиться в максимальному завантаженні, коли резервна інформаційна потужність відсутня. Перевантаження системи відбувається коли визначені споживачем завдання не працюють в передбаченому проміжку часу в результаті ресурсних обмежень.

З урахуванням вимог до мережеских з'єднань, заснованих на використанні протоколів IP і Ethernet [14, 16, 17] можна встановити наступні відповідності точності, часу реакції і потужності інформаційної з показниками мережескої продуктивності:

- точність - рівень втрат, рівень помилок, рівень скидання і тому подібне
- час реакції - час затримки і джитер
- потужність інформаційна - в загальному вигляді це пропускна спроможність мережеского з'єднання за певний інтервал часу
- робоче навантаження - в загальному вигляді це середня інтенсивність трафіку послуг зв'язку усередині мережеского з'єднання за певний інтервал часу
- базове навантаження - в якості такого навантаження можна розглядати навантаження, що створюється роботою різних протоколів маршрутизації і

комутації по формуванню і підтримці в актуальному стані таблиць маршрутизації і комутації, а також роботою інших систем і протоколів за певний інтервал часу.

Відношення суми базових і робочих навантажень до інформаційної потужності називається рівнем завантаження мережевого з'єднання.

Області допустимих значень показників NP визначені для різних вимог з боку послуг зв'язку у вигляді розподілу трафіку послуг зв'язку по різних класах і встановлення для кожного класу трафіку індивідуальних вимог до діапазону допустимих значень показників NP [25]. У таблицях 2.1 і 2.2 приведені порогові значення для показників мережевої продуктивності, встановлені відповідними нормативними документами [16, 24, 26]. Показники NP, визначені в нормативній документації, іменуватимемо далі нормативними показниками.

Таблиця 2.1 - Порогові значення для показників мережевої продуктивності для IP -протокола згідно Y.1541

Показники мережевої продуктивності	Класи QoS							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Затримка доставки пакету IP (IPTD), мс	≤100	≤400	≤100	≤400	≤1000	Н	≤100	≤400
Варіація затримки пакету IP (IPDV), мс	≤50	≤50	Н*	Н*	Н*	Н*	≤50	≤50
Рівень втрат пакетів IP (IPLR), одн. од	≤1E-3	≤1E-3	≤1E-3	≤1E-3	≤1E-3	Н*	≤1E-5	≤1E-5
Рівень помилок пакетів IP (IPER), відн. од	≤1E-4	≤1E-4	≤1E-4	≤1E-4	≤1E-4	Н*	≤1E-6	≤1E-6
Рівень порушення порядку пакетів IP (IPRR), відн. од	Н*	Н*	Н*	Н*	Н*	Н*	≤1E-6	≤1E-6

\*Н - не нормовано

Таблиця 2.2 - Порогові значення для показників якості каналного рівня згідно MEF 22.3

Клас трафіку	Профіль трафіку	Затримка при передачі кадрів (FD)	Джитер при передачі кадрів (IFDV)	Рівень втрат при передачі кадрів (FLR)
Дуже високий	CIR*>0, EIR**=0	<=1 мс	≤0,3 мс	≤0,001% (1E - 5)
Високий	CIR>0, EIR>=0	<=1 мс	≤0.3 мс	≤0,01% (1E - 4)
Середній	CIR>0, EIR>=0	<=2,9 мс	≤0.9 мс	≤0,01% (1E - 4)
Низький	CIR≥0, EIR>=0	<=10 мс	≤2.8 мс	≤0,1% (1E - 3)

\* - гарантована швидкість передачі даних

\*\* - величина перевищення гарантованої швидкості передачі даних.

У таблицях 2.1 і 2.2 наведені узагальнені вимоги до значень показників NP, які повинні забезпечити якість передачі пакетного трафіку в інтересах різних послуг зв'язку. По факту, з боку кожної з послуг зв'язку є присутніми свої вимоги до значень показників NP. Приклади відмінності вимог з боку послуг зв'язку до значень рівня втрат пакетів і часу затримки в передачі пакетів між відправником і одержувачем, викладені в нормативній документації MCE [23], представлені на рисунку 2.1.

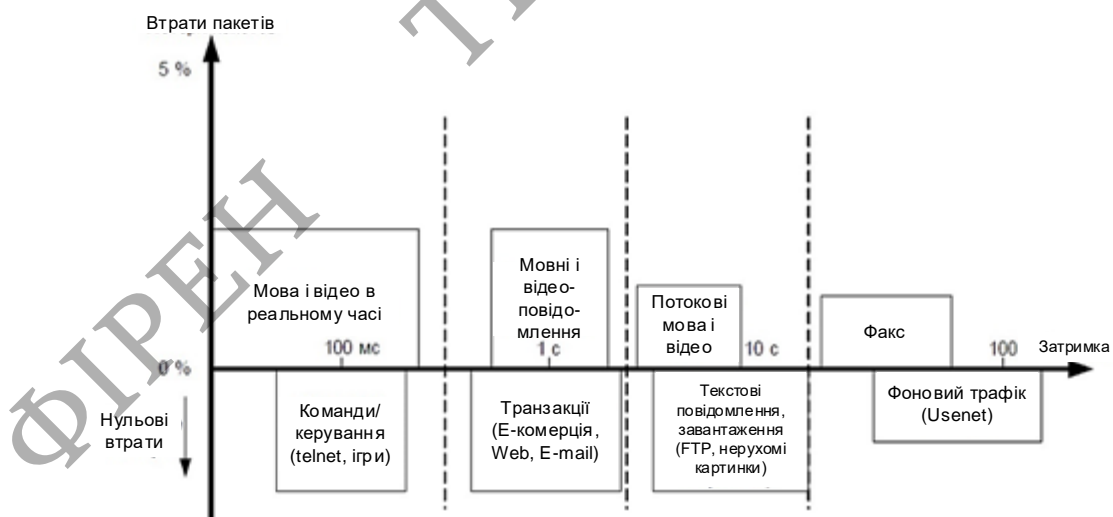


Рисунок 2.1 - Різні вимоги до показників мережевої продуктивності з боку послуг зв'язку

Аналогічно рекомендаціям MCE в рекомендаціях Metro Ethernet Forum (MEF) запропоновані свої порогові значення для показників NP при передачі трафіку різних послуг зв'язку з використанням протоколу Ethernet. У таблиці 2.3 представлені порогові значення для показників NP на каналному рівні при

використанні протоколу Ethernet залежно від типу різних призначених для користувача застосувань і типів трафіку, використовуваних користувачами для доступу до послуг зв'язку [27].

Таблиця 2.3 - Порогові значення показників якості каналного рівня для призначених для користувача застосувань

Додатки	Затримка при передачі кадрів (FD)	Рівень втрат при передачі кадрів (FLR)	Джитер при передачі кадрів (IFDV)
Голос поверх IP (VoIP)	125 мс переважно 375 мс граничний ліміт	3E-2	40 мс
Відеоконференції	125 мс переважно 375 мс граничний ліміт	1E-2	40 мс
Сигналізація VoIP і відеоконференцій	Не визначено	1E-3	Не визначено
Сервіс IPTV	12 мс	1E-3	40 мс
Управління IPTV	Не визначено	1E-3	Не визначено
Потокове мовлення відео	Не визначено	1E-2	1,5 с
Інтерактивні ігри	50 мс	1E-3	8 мс
Емуляція каналів	25 мс	1E-6	10 мс
Відео-конференції	120 мс	2,5E-4	10 мс
Торгові майданчики	Не визначено	1E-5	Не визначено
Кабельне телебачення	150 мс (для MPEG - 4)	1E-2	Не визначено
Мережі доступу до баз даних	5 мс	1E-5	Не визначено
Доступ до баз даних через Інтернет	50 мс	1E-5	Не визначено
Взаємодія клієнт-сервер	Не визначено	1E-3	Не визначено
Робота мережевих сховищ	5 мс	1E-4	1 мс

З причини того, що конвергентні послуги зв'язку в мережах з комутацією пакетів нині надаються з використанням протоколу IP на 3 рівні моделі OSI, то в



якості показників якості вибираються показники, вказані в нормативних документах галузі зв'язку за оцінкою якості роботи мережі на 3 рівні моделі OSI [14, 15, 16, 17]. Забезпечення в мережі зв'язку єдиних правил обслуговування пакетів даних визначається шляхом встановлення відповідності між класами QoS на мережевому і каналному рівнях моделі OSI, а також проміжному рівні 2,5, який представлений технологією MPLS [28], на основі значень кодів маркіровки класу/пріоритету пакетів даних в заголовках відповідного рівня, які представлені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Значення маркіровки пріоритетів для пакетів даних на транспортних рівнях моделі NGN по класах QoS

Клас QoS пакетної мережі	Опис	Маркіровка пакетів 3-го рівня : DSCP (код диференційованої послуги)	Маркіровка пакетів 2-го рівня		Додатки
			MPLS (клас обслуговування)	Ethernet (код пріоритету)	
0, 1	Чутливість до тремтіння	EF (термінова переадресація)	5	5 (за замовчуванням) або 6	Телефонія
2, 3, 4	Низька затримка	AF (гарантована переадресація)	4, 3, 2	4, 3, 2	Сигналізація, інтерактивні застосування дані
5	Максимальні зусилля	DF (переадресація за умовчанням)	0	0	Перегляд сторінок в інтернеті, електронна пошта

З боку призначених для користувача мережевих застосувань, працюючих на рівні послуг з точки зору моделі мереж зв'язку наступного покоління (NGN), існують свої вимоги до значень показників якості безвідносно рівня моделі OSI, на якому здійснюється надання послуг зв'язку в мережі оператора зв'язку. Приклади роботи таких мережевих застосувань показані на рисунках 1.13 і 1.14. У такому разі, значення показників NP для мережевих з'єднань, через які здійснюється передача трафіку мережевих застосувань, повинні відповідати встановленим з боку мережевих застосувань вимогам по значеннях показників NP. З точки зору

забезпечення якості, наприклад, для мереж стільникового зв'язку, показники сервісного рівня (рівня послуг) і їх порогові значення залежно від типу і класу трафіку на прикладі рекомендацій ETSI і 3GPP [129] приведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Розподіл послуг зв'язку стільникової мережі по класах трафіку і порогових значеннях для показників якості

Клас трафіку стільникової мережі (QCI)	Тип ресурсу мережі	Порогове значення часу затримки	Рівень помилок і втрат	Приклад сервісу
1	Гарантована швидкість	100 мс	1E-2	Голосова телефонія
2		150 мс	1E-3	Відеотелефонія
3		50 мс	1E-3	Ігри реального часу
4		300 мс	1E-6	Потокове відео
5	Негарантована швидкість	100 мс	1E-6	Сигнальний трафік
6		300 мс	1E-6	Веб-серфінг, чати, електронна пошта, обмін файлами і тому подібне (з використанням протоколу TCP)
7		100 мс	1E-3	Передача голосу, відео інтерактивні ігри
8		300 мс	1E-6	Відео (, що буферизує, з використанням протоколу TCP)
9		300 мс	1E-6	Закачування файлів (з використанням протоколу TCP)

Нормативні документи, окрім визначення порогових значень показників мережевої продуктивності, при перевищенні яких починається деградація якості передачі пакетів даних, встановлюють граничні/максимальні значення показників мережевої продуктивності, досягши яких мережеве з'єднання стає повністю непридатним/недоступним для надання послуг зв'язку. У таблиці 2.6 представлені такі порогові значення рівня втрат для мережевого з'єднання [15] на відповідному рівні моделі OSI для ухвалення рішення про недоступність мережевого з'єднання для надання послуг зв'язку.

Таблиця 2.6 - Порогові значення рівня втрат для оцінки рівня доступності мережевого з'єднання

Порогове значення рівня втрат	Рівень згідно моделі OSI	Протокол/Технологія	Нормативний документ
0,25	3	IP	Y.1543
0,2	3	IP	Y.1540
0,03 - 0,2	3	IP	Y.1540 (трафік реального часу)
0,5	2,5	MPLS	Y.1561
0,5	2	Ethernet	Y.1563

Пакет може вважатися втраченим, якщо час його затримки при передачі між певними точками в мережі зв'язку перевищить деяке допустиме значення, оскільки його «відтворення» порушить природний порядок надання даних кінцевому користувачеві [13, 31]. До втрачених пакетів в мережевих з'єднаннях на основі IP - протокола можуть бути віднесені пакети, для яких час затримки при їх передачі від відправника до одержувача перевищує 10 секунд [54]. Вплив величини часу затримки в передачі пакету на якість надання послуг зв'язку реального часу згідно рекомендації МСЕ [62] представлено на рисунку 2.2.

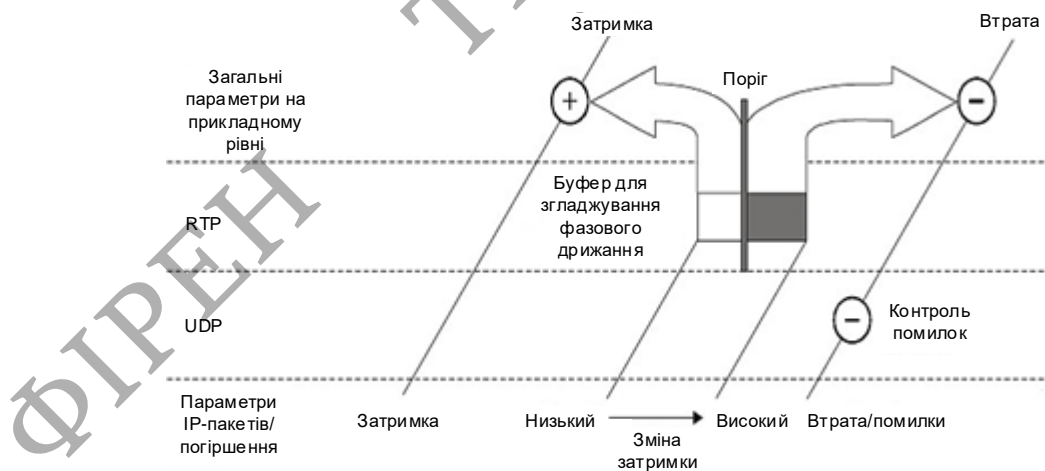


Рисунок 2.2 - Оцінка втрат пакетів даних для послуг зв'язку реального часу

Відносно порогових значень для показників NP з урахуванням вищевикладеного можна зробити наступні висновки:

1. Вимоги до порогових значень показників NP для різних послуг зв'язку мають різне значення. Відповідно, можливі ситуації, коли залежно від значень показників NP мережевих з'єднань, задіяних в передачі трафіку послуг зв'язку, частина послуг зв'язку виявлятиметься з необхідною якістю і частина послуг

матимуть знижену якість або не надаватимуться зовсім.

2. Встановлені на мережевому і каналному рівнях вимоги до значень показників NP у вигляді порогових значень можуть мати різне значення. З причини того, що послуги зв'язку можуть виявлятися з використанням мережевих з'єднань на мережевому і каналному рівнях, то необхідно при оцінці якості роботи мережевого з'єднання керуватися значеннями показників мережевої продуктивності на рівні надання послуги зв'язку.

3. Існують порогові значення, що визначають область допустимих значень показників NP мережевого з'єднання, при яких усі послуги зв'язку, передавальні трафік по цьому мережевому з'єднанню, надаються з необхідною якістю.

4. Існують порогові значення, що визначають область неприпустимих/заборонених значень показників NP мережевого з'єднання, при яких усі послуги зв'язку, передавальні трафік по цьому мережевому з'єднанню, не можуть надаватися зовсім.

5. Існує область значень показників NP мережевого з'єднання, представлена на рисунку 2.3 (між областями допустимих і заборонених значень, межі яких визначені пороговими значеннями  $P_{thres1}$  і  $P_{thres2}$ ), в якій відбувається деградація якості надання набору послуг зв'язку, передавальних трафік по загальному мережевому з'єднанню.

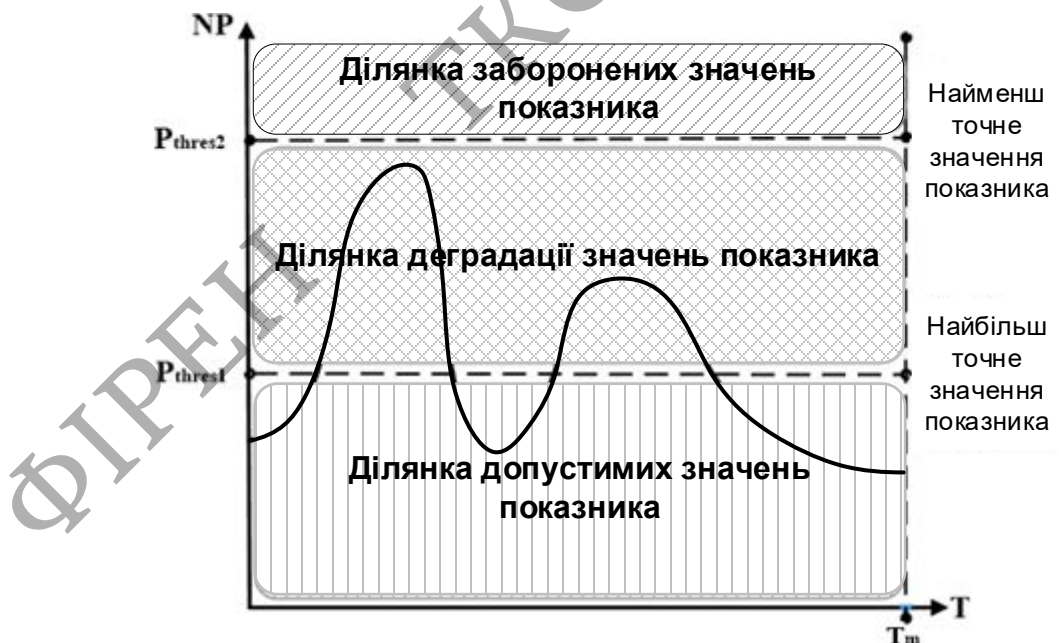


Рисунок 2.3 - Области значень показника мережевої продуктивності (NP)

Ця область деградації значень показників NP підлягає особливому контролю, оскільки зміна значень показників NP від області допустимих значень до області неприпустимих значень дозволяє оцінити величину/міру деградації якості роботи мережевого з'єднання за відповідними показниками NP [36].

Величина відхилення значень показників NP від області допустимих значень в область деградації значень показників NP і час знаходження значень показників NP в області деградації визначають міру погіршення продуктивності мережевого з'єднання на інтервалі часу проведення оцінки/моніторингу  $T_m$  і може бути виражена певним значенням [34].

Для послуг різного типу що належать одному класу критичними можуть бути значення різних показників мережевої продуктивності. Приклад критичності значень показників мережевої продуктивності для різних послуг зв'язку представлений в таблиці 2.7 [25]. Відповідно, міра придатності мережевого з'єднання до надання послуг зв'язку повинна оцінюватися, в першу чергу, згідно значень найбільш критичних показників мережевої продуктивності.

Таблиця 2.7 - Чутливість різних типів додатків до мережевих характеристик

Тип трафіку	Рівень чутливості до мережевих характеристик			
	Смуга пропускання	Втрати	Затримки	Джитер
Мова	Середній	Середній	Високий	Високий
Електронна комерція	Низький	Високий	Високий	Низький
Транзакції	Низький	Високий	Високий	Низький
Електронна пошта	Низький	Високий	Низький	Низький
Пошук в мережі (випадковий)	Низький	Середній	Середній	Низький
Пошук в мережі (постійний)	Середній	Високий	Високий	Низький
Пересилка файлів	Високий	Високий	Низький	Низький
Відеоконференція	Високий	Середній	Високий	Високий
Широкомовний трафік	Високий	Високий	Високий	Високий

Часові інтервали проведення вимірів для набуття значень показників мережевої продуктивності в різних нормативних документах визначені в діапазоні від декількох секунд до декількох хвилин. Значення інтервалів часу для проведення вимірів, згідно рекомендацій МСЕ, представлені в таблиці 2.8 [15, 16].

Таблиця 2.8 – Інтервали часу проведення вимірів для набуття значень показників мережевої продуктивності

Інтервал часу проведення вимірів	Регламентуючий документ	Примітка
10-20 секунд	Y.1541	Для послуги «Телефонія»
1 хвилина	Y.1541, E.500	Рекомендоване значення
5 хвилин	Y.1540, Y.1543, E.800 Supplement 8, E.502, E.492, E.500	
Декілька хвилин	Y.1541	Допустиме значення
15 хвилин	E.502, E.492	
30 хвилин	E.502	
1 година	E. 492, E.500, Q.544	
24 години	E.502, E.492, E.500	

У більшості випадків виробники телекомунікаційного устаткування і систем моніторингу в якості інтервалу часу для отримання статистичних даних для розрахунку показників мережевої продуктивності використовують інтервал часу тривалістю 300 секунд (5 хвилин). Цей інтервал часу має рекомендовану тривалість згідно інформації. Послуги зв'язку типу 0 і частково типу 1 відповідають послугам Інтернету речей (IoT) і для контролю мережевої продуктивності обслуговуючих ці послуги мережевих з'єднань можливе використання інтервалів часу отримання статистичних даних відповідної тривалості.

Для розрахунку значень показників мережевої продуктивності за інтервал часу зняття статистики використовуються, по факту, усереднені за цей інтервал часу значення параметрів роботи мережевого з'єднання. Збільшення тривалості інтервалу часу зняття статистики призводить до більшого згладжування змін значень параметрів і не дозволяє виявити і врахувати повною мірою величини «сплесків» значень параметра на інтервалі часу зняття статистики. Для того, щоб усереднювання значень параметрів роботи мережевих з'єднань вносили приблизно однакові «спотворення» у вигляді згладжування значень параметрів в результаті усереднювання їх значень, рекомендується для формування значень показників мережевої продуктивності мережевих з'єднань використовувати однакові інтервали часу зняття статистики.

Відносно інтервалів часу для розрахунку значень показників NP можна зробити наступні висновки:

1. Використовувані з боку виробників телекомунікаційного устаткування часові інтервали отримання статистичних даних дорівнюють 300 секунд відповідають рекомендованим в нормативній документації інтервалам часу для розрахунку значень показників NR.

2. Інтервали часу для розрахунку значень показників NR тривалістю 300 секунд задовольняють можливостям оцінки продуктивності мережевих з'єднань для надання основних типів послуг зв'язку.

3. Для забезпечення формування порівнянних значень порівняльних оцінок NR для мережевих з'єднань необхідно використовувати для розрахунку значень показників NR однакові інтервали часу зняття статистики.

Відповідно, оцінка продуктивності мережевих з'єднань за інтервал часу, який значно перевищує по тривалості інтервал часу отримання статистичних даних для розрахунку одиничних значень показників NR, повинна формуватися з урахуванням усіх одиничних значень показників NR за цей інтервал часу. Інтервал часу для оцінки продуктивності мережевих з'єднань повинен визначається циклічністю використання мережевих з'єднань для передачі трафіку послуг зв'язку. У загальному випадку таким циклічним інтервалом часу є добовий інтервал часу. Таким чином, інтегральна оцінка продуктивності мережевих з'єднань на добовому інтервалі часу є адекватною оцінкою продуктивності мережевих з'єднань по передачі трафіку послуг зв'язку.

З урахуванням вищевикладеного можна визначити наступні вимоги до функції інтегральної оцінки якості роботи мережевого з'єднання :

1. Функція інтегральної оцінки якості роботи мережевого з'єднання повинна враховувати величину відхилення значень оцінюваного показника якості від області допустимих значень на інтервалі часу проведення вимірів і сумарну тривалість відхилень. Особливу увагу слід приділити значенням оцінюваного показника якості, що знаходяться в області деградації якості роботи мережевого з'єднання.

2. Значення функції інтегральної оцінки якості роботи мережевого з'єднання для віддзеркалення зниження якості має бути таким, що зменшується з ростом величини і сумарної тривалості відхилень значення показника якості від області допустимих значень.

3. Для обліку значних погіршень якості передачі трафіку, що мають досить тривалий час післядії в порівнянні з тривалістю «сплесків» значень показників якості, що є причиною таких погіршень і викликаних «сплеском» інтенсивності пакетного трафіку, необхідно щоб функція інтегральної оцінки якості роботи мережевого з'єднання мала достатню чутливість до виявлення таких одиничних «сплесків» значень показників якості.

4. Для забезпечення спостереження «сплеску» значень показника якості

інтервал часу отримання статистичних даних з устаткування зв'язку повинен відповідати або бути максимально наближений по тривалості часу до тривалості часу такого «сплеску».

5. З ростом кількості «сплесків» інтенсивності пакетного трафіку або «сплесків» погіршення значень показників якості повинна погіршуватися інтегральна оцінка якості роботи мережевого з'єднання.

6. Функція інтегральної оцінки якості роботи мережевого з'єднання повинна мати нелінійний характер для обліку роботи нелінійних алгоритмів обробки пакетного трафіку в мережі зв'язку (наприклад, при налаштуванні рівнів скидання пакетних черг залежно від класу обслуговуваного трафіку).

7. Функція інтегральної оцінки якості роботи мережевого з'єднання повинна мати експоненціальну залежність з урахуванням наявності такої залежності між значеннями показників якості і інтенсивністю пакетного трафіку, описаною в нормативній документації і технічній літературі.

8. З метою підвищення чутливості функції інтегральної оцінки якості роботи мережевого з'єднання до одиничних «сплесків» значень показників якості на інтервалі часу проведення оцінки функція повинна нелінійно спадати в першій половині інтервалу часу і може бути лінійною в другій половині інтервалу часу з причини того, що з ростом тривалості часу погіршення якості роботи мережевого з'єднання оцінка якості передачі трафіку в інтересах послуги зв'язку, що надається, змінюється незначно.

## 2.2. Однопорогова інтегральна оцінка якості роботи мережевого з'єднання

Як було вказано раніше, при формуванні оцінки якості роботи мережевого з'єднання на довільному інтервалі часу в якості параметрів для формування значення інтегральної оцінки виступає набір значень нормативних показників NP цього мережевого з'єднання, отриманих на інтервалі часу проведення оцінки. Виходячи з цього з урахуванням зроблених раніше висновків відносно можливих значень нормативних показників NP формується метод розрахунку значення інтегрального показника NP.

Передбачається, що оцінюваний на певному часовому інтервалі с заздалегідь зумовленою тривалістю  $T_m$  параметр роботи мережевого з'єднання  $P$  має діапазон можливих значень  $[0, P_{\max}]$  і одне порогове значення  $P_{thres}$ . При знаходженні значень параметра в діапазоні  $[0, P_{thres}]$  мережеве з'єднання забезпечує належну якість при передачі пакетного трафіку. При знаходженні значень параметра в діапазоні  $(P_{thres}, P_{\max}]$  мережеве з'єднання не забезпечує належну якість при передачі пакетного трафіку і спостерігається поступова деградація рівня якості від 100%



(забезпечується належна якість при передачі будь-яких типів пакетного трафіку для будь-яких сервісів) при значенні параметра рівного  $P_{thres}$  до 0% (повне припинення надання будь-яких сервісів) при значенні параметра рівного  $P_{max}$ . Сумарний час перевищення значенням параметра порогового значення  $T_{thres}$  за час проведення оцінки  $T_m$  визначається як сума інтервалів часу  $dt$ , в які значення параметра перевершують порогове значення  $P_{thres}$

$$T_{thres} = \sum_{i=1}^n dt(i), \quad (2.1)$$

де  $n$  - кількість інтервалів часу перевищення параметром порогового значення за час  $T_m$

$dt$  – тривалість інтервалу часу для розрахунку одиничного значення параметра (дорівнює тривалості часового інтервалу для розрахунку одиничного значення показника якості).

Значення формованого інтегрального показника якості  $Q_p$  показує міру погіршення якості надання сервісу/послуги відносно оцінюваного параметра і описується відношенням загальної площі під кривою графіка зміни значень параметра вище за рівень  $P_{thres}$  (області  $S_{par}$  на рисунку 2.4) до загальної площі можливих значень параметра вище за значення  $P_{thres}$  (область  $S_{thres}$  на рисунку 2.4) за час проведення оцінки [34].

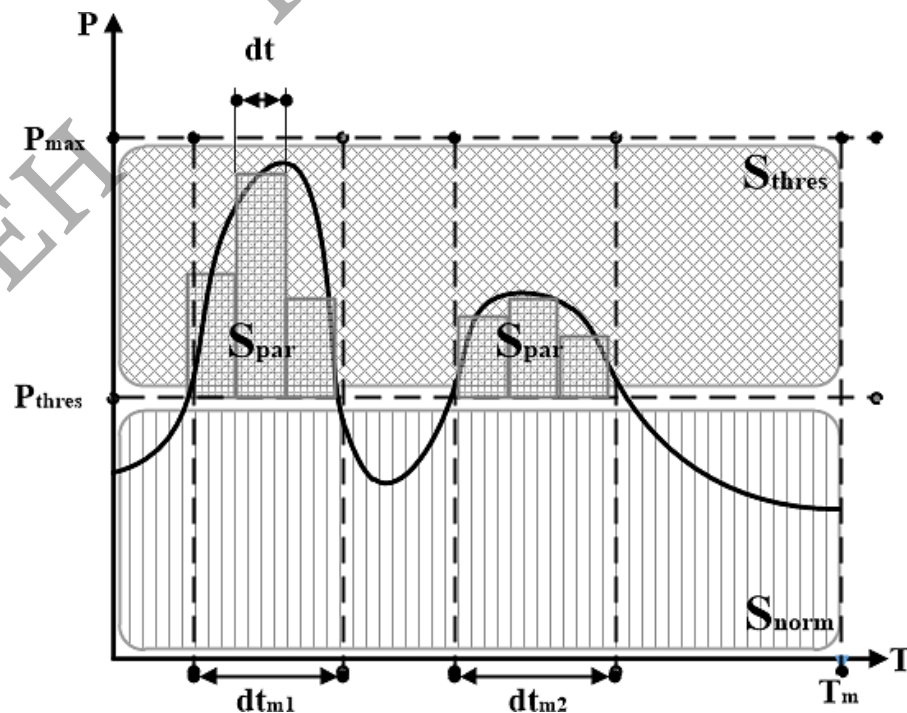


Рисунок 2.4 - Формування оцінки параметра з урахуванням профілю графіку значень параметра за час проведення оцінки

Площа кожної області  $S_{par}$  складається з набору елементарних площ, утворених добутком величини перевищення значенням оцінюваного параметра встановленого порогового значення на тривалість одиничного інтервалу часу, використовуваного для формування одиничного значення оцінюваного параметра

$$S_{par} = \int_0^{T_m} (P(t) - P_{thres}(t)) dt. \quad (2.2)$$

При цьому значення оцінюваного параметра  $P(t)$  в (2.2) визначається таким чином

$$\begin{cases} P(t), & \text{при } P_{thres} < P(t) \leq P_{max}, \\ P_{thres}, & \text{при } P(t) \leq P_{thres}, \\ P_{max}, & \text{при } P_{max} < P(t). \end{cases}$$

Загальна площа  $S_{thres}$  визначається наступною формулою

$$S_{thres} = \int_0^{T_m} (P_{max}(t) - P_{thres}(t)) dt. \quad (2.3)$$

По фізичному сенсу значення  $S_{thres}$  описує величину максимального погіршення продуктивності мережевого з'єднання за час  $T_m$  по оцінюваному параметру, значення  $S_{par}$  описує досягнуту величину погіршення продуктивності мережевого з'єднання по оцінюваному параметру за час  $T_m$ . Підсумкова формула для набуття значення інтегрального показника, що оцінює міру погіршення якості роботи мережевого з'єднання по оцінюваному параметру на інтервалі часу проведення оцінки, з обліком (2.2) і (2.3) має наступний загальний вигляд

$$Q_p = \left( 1 - \frac{S_{par}}{S_{thres}} \right) \cdot 100\%. \quad (2.4)$$

У разі, якщо значення оцінюваного параметра не перевищують порогове значення на усьому інтервалі часу проведення оцінки, те значення формованого інтегрального показника рівне 100%.

З причини того, що площа під графіком зміни значень параметра малої амплітуди і великої тривалості може співпадати з площею під графіком зміни значень параметра великої амплітуди і малої тривалості, потрібний додатковий критерій для відмінності отриманих в таких випадках значень  $Q_p$ . В якості такого додаткового критерію використовується сумарна тривалість часу перевищення значеннями параметра порогового значення за час проведення оцінки. З причини того, що для інтервалу найбільшої інтенсивності навантаження, рівного трьом годинам, використовують поняття періоду найбільшого навантаження (ПНН), то сумарну тривалість часу перевищення значеннями параметра порогового значення за час проведення оцінки  $T_{thres}$  пропонується іменувати часом найбільшого навантаження (ВНН). Значення ВНН може виражатися в абсолютних і відносних значеннях. Відносне значення ВНН розраховується відносно тривалості часу проведення оцінки

$$T_{nno} = \frac{T_{thres}}{T_m}. \quad (2.5)$$

Відносна величина ВНН використовується для «вирівнювання» інтервалів часу проведення оцінок при проведенні порівняльних оцінок для каналів зв'язку, що мають різну тривалість часу роботи (забезпечення надання послуг зв'язку) на загальному інтервалі часу проведення оцінки. Наприклад, це може бути викликано розкладом роботи споживача послуг зв'язку. Зв'язка значень  $Q_p$  з  $T_{thres}$  (2.1) або  $Q_p$  з  $T_{nno}$  (2.5) дозволяє організувати порівняльний аналіз якості роботи мережевих з'єднань за величиною переданого об'єму трафіку або на інтервалі часу заданої тривалості. У разі потреби можливе встановлення порогового значення для значення ВНН на інтервалі часу проведення оцінки. Наприклад, в угодах про рівень надання послуг зв'язку (SLA) вистачає часто вказується максимально допустима тривалість часу погіршення якості послуг зв'язку, що надаються, в абсолютних або відносних значеннях. Таким чином, інтегральна оцінка якості роботи мережевого з'єднання виступає показником виконання угодах про рівень надання послуг зв'язку.

Аналогічна оцінка якості роботи мережевих з'єднань може робитися у бік зменшення значень параметра при завданні порогового значення по мінімальному значенню оцінюваного параметра («дзеркальне» відображення вищеописаного методу розрахунку значення інтегрального показника).

З причини того, що інтегральна оцінка якості роботи мережевого з'єднання є функцією, залежною від значень 2-х параметрів (величина перевищення порогового значення і тривалість часу перевищення порогового значення), те значення інтегральної оцінки є двовимірною функцією і можливі варіанти значень

оцінної функції утворюють в просторі деяку поверхню представлену на рисунку 2.5.

Існуючі обмеження по значеннях параметрів оцінної функції утворюють граничну площину в просторі. Точка, в якій стикаються гранична площина і поверхня значень оцінної функції повинна розглядатися як критична.

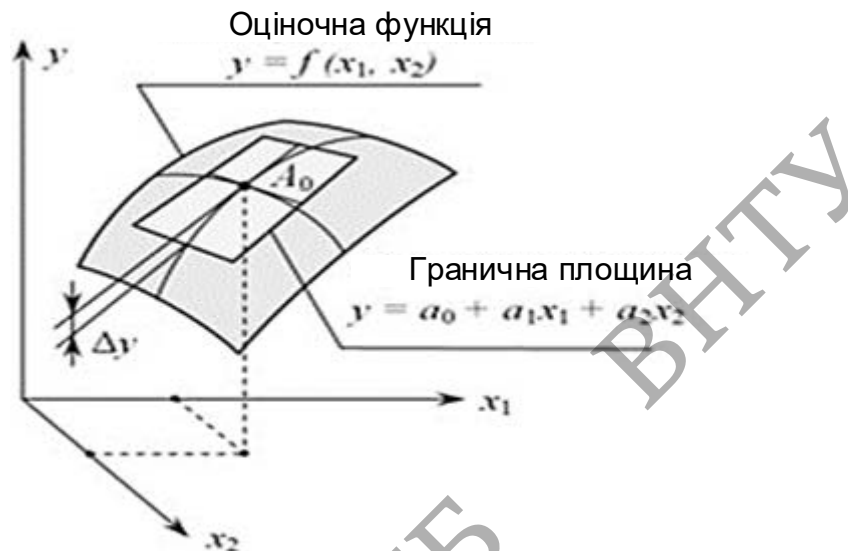


Рисунок 2.5 - Оцінна функція і гранична площина

### 2.3. Облік нелінійного характеру роботи систем передачі пакетного трафіку

Системи зв'язки, що забезпечують передачу пакетного трафіку, мають властивість слабо реагувати на погіршення значень показників NP на початковому етапі. Це обумовлено наявністю черг/буферів для тимчасового зберігання пакетів даних і особливостями роботи використовуваних протоколів передачі пакетів даних. Проте, при тривалому погіршенні значень показників NP на певному етапі відбувається різке погіршення значень показників NP за експоненціальним законом з ростом значень таких нормативних показників, як час затримки і джитер, рівень втрат при передачі пакетів між відправником і одержувачем [14]. Ця особливість мереж зв'язку з комутацією пакетів відбита в нормативній документації галузі зв'язку і представлена на рисунку 2.6.

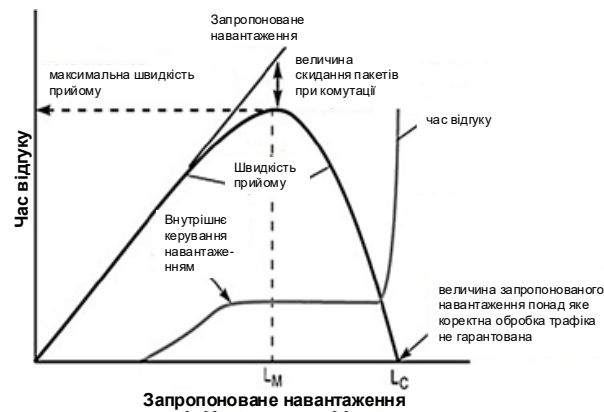


Рисунок 2.6 - Зміна значень показників якості пакетної мережі залежно від рівня навантаження на мережевий пристрій

При цьому політики обробки пакетного трафіку в сучасних мережах з комутацією пакетів зазвичай використовують нелінійні алгоритми обробки потоків пакетів даних відповідно до значення поля пріоритету/важливості пакету даних [14, 15]. У технічній літературі також приводяться аналогічні описи погіршення значень показників NP пакетної мережі залежно від рівня навантаження на мережу. На рисунку 2.7 представлена залежність показника використання мережі залежно від рівня навантаження при використанні для передачі даних протоколу Ethernet [14, 17].

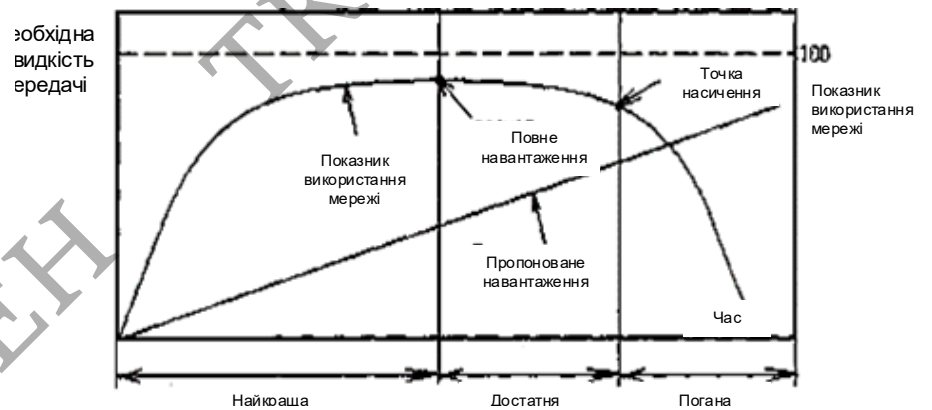


Рисунок 2.7 - Залежність показника використання мережі від величини корисного навантаження

При цьому показник використання мережі може розглядатися як деякий узагальнений показник якості, оскільки для різних сервісів при передачі трафіку по мережі зв'язку найбільш критичними є значення різних нормативних показників якості [23].

В якості нелінійного параметра можна розглядати той факт, що доступність значень показника на інтервалі часу проведення оцінки не завжди 100%. Досить часто зустрічаються ситуації, коли відсутні дані по значеннях оцінюваного

параметра на деяких інтервалах часу впродовж інтервалу часу проведення оцінки. Цей факт змінює кількість значень показника на інтервалі часу проведення оцінки при проведенні оцінок, що повторюються. У загальному випадку кількість значень показника за інтервал часу оцінки є випадковою величиною, яка прямує до величини, рівної тривалості часового інтервалу проведення оцінки поділеної на тривалість інтервалу часу набуття одиничного значення показника. Сума інтервалів часу, за які доступні значення параметра, є часом доступності статистичних даних по роботі мережевого з'єднання  $T_{av}$ . Розрахунок значення інтегрального показника якості, відповідно, повинен спиратися на час доступності даних по значеннях параметра на інтервалі часу проведення оцінки.

Для обліку нелінійного впливу тривалості часу перевищення значенням оцінюваного параметра встановленого порогового значення на загальний результат оцінки продуктивності мережевого з'єднання і обліку нелінійного взаємозв'язку за часом реакції (запізнюванню) між показниками NP підбрана експоненціальна оцінна функція, що має досить різку зміну значень при досить коротких інтервалах часу перевищення значеннями параметра порогового значення і лінійний характер зміни значень при тривалості інтервалів часу перевищення значеннями параметра порогового значення, порівнянню з часом проведення оцінки. Графік оцінної функції представлений на рисунку 2.8 [13].

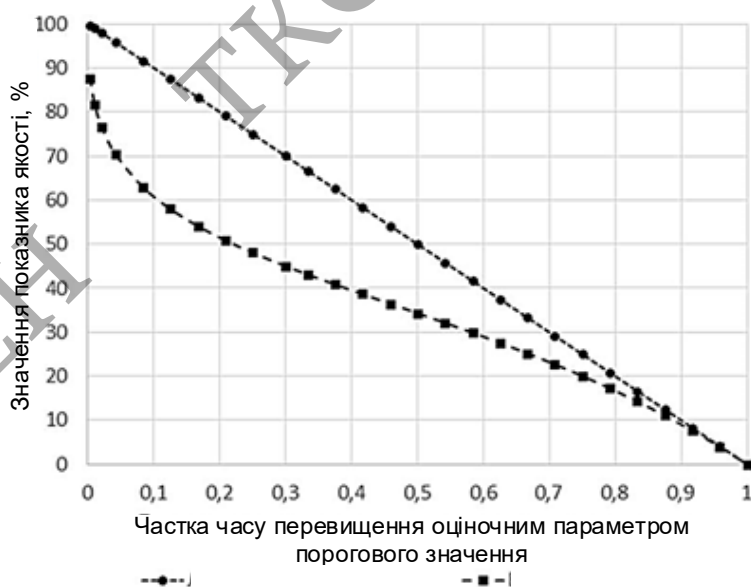


Рисунок 2.8 - Графіки лінійної і експоненціальної оцінних функцій для показника якості

Формула для розрахунку значення інтегрального показника (2.4) за час доступності значень оцінюваного параметра з урахуванням часу перевищення значеннями параметра порогового значення і при використанні експоненціальної оцінної функції матиме вигляд

$$Q_p = \left( 1 - \left( \frac{S_{par}}{S_{thres}} \right)^{e^{-(1-T_{thres}/T_{av})}} \right) \cdot 100\%. \quad (2.6)$$

При цьому значення тривалості тимчасових інтервалів співвідносяться таким чином

$$0 \leq T_{thres} \leq T_{av}, \quad T_{av} \leq T_m.$$

Значення показника позитивне на усьому інтервалі часу проведення оцінки. При використанні вищезгаданої розрахункової формули для розрахунку значення інтегрального показника значення інтегрального показника різко змінюється на початковому інтервалі часу перевищення значенням оцінюваного параметра встановленого порогового значення і далі прямує до лінійної зміни значень у міру збільшення часу перевищення порогового значення усередині інтервалу часу доступності значень оцінюваного параметра, що виключає деградацію значення формованого інтегрального показника за часом. При  $T_{thres}=T_{av}$  формула розрахунку значення показника (2.6) набуває вигляду

$$Q_p = \left( 1 - \frac{S_{par}}{S_{thres}} \right) \cdot 100\%.$$

Для визначення міри достовірності отриманої інтегральної оцінки якості використовується коефіцієнт достовірності, який характеризує долю значень параметра з максимально можливою їх кількістю на інтервалі часу проведення оцінки, використаних для розрахунку значення інтегрального показника якості. Формула розрахунку коефіцієнта достовірності  $K_t$  має вигляд

$$K_t = \frac{T_{av}}{T_m}.$$

При значенні коефіцієнта достовірності менш заданої величини отриманий результат інтегральної оцінки продуктивності має малу міру достовірності і його використання не рекомендується.

Таким чином, маємо інтегральний показник, який дозволяє характеризувати якість роботи мережевого з'єднання на інтервалі часу проведення оцінки з урахуванням повноти збору значень оцінюваного параметра на інтервалі часу

проведення оцінки якості.

#### 2.4. Багатопорогова інтегральна оцінка якості роботи мережевого з'єднання

З боку різних послуг зв'язку є присутніми різні вимоги до значень показників якості [16, 17]. Відповідно, одне і те ж мережеве з'єднання в певний інтервал часу може бути придатне для передачі трафіку в інтересах одних послуг зв'язку і непридатно для передачі трафіку в інтересах інших послуг зв'язку. Це призводить до того, що впродовж добового інтервалу часу сумарна тривалість часу, коли мережеве з'єднання було придатне для передачі трафіку певної послуги зв'язку може бути різним. У таких випадках при оцінці якості роботи мережевого з'єднання по передачі пакетного трафіку потрібне використання декількох порогових значень (2 порогові значення і більше). При цьому багатопорогова оцінка може бути використана в наступних видах:

- за величиною перевищення значенням параметра порогового значення - оцінка перевищення різних порогових значень оцінюваного параметра з причини наявності різних вимог до цільових діапазонів значень параметра при передачі пакетного трафіку різних класів (оцінка по областях значень параметра  $S_{thres1}$  і  $S_{thres2}$  на рисунку 2.9)

- по «продуктивності» передачі пакетного трафіку по діапазонах значень параметра - оцінка якості передачі однотипного пакетного трафіку при різних вимогах до значень показників якості (оцінка по областях значень параметра  $S_{thres1}$  і  $S_{thres2}$  на рисунку 2.10).

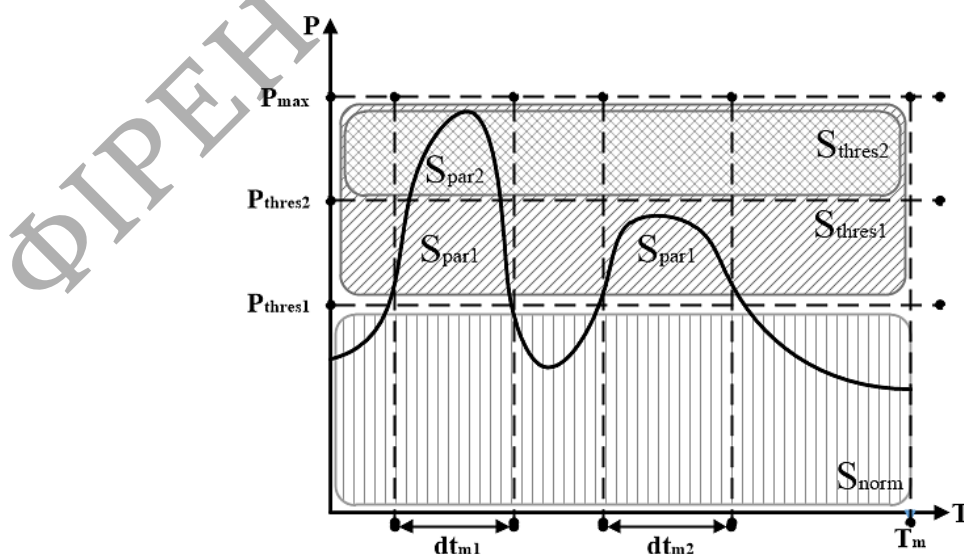


Рисунок 2.9 - Оцінка якості мережевого з'єднання за величиною значення параметра



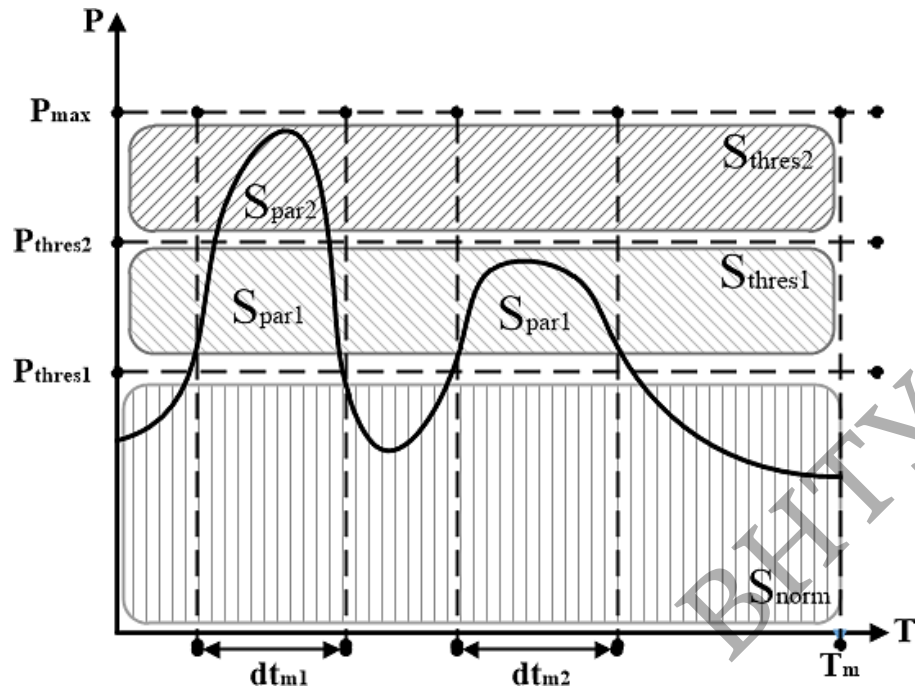


Рисунок 2.10 - Оцінка «продуктивності» мережевого з'єднання в міжпорогових інтервалах значень параметра

Значень показника міри погіршення якості роботи мережевого з'єднання, що набувають, для різних класів трафіку при проведенні оцінки за величиною перевищення значенням параметра порогового значення обчислюватимуться згідно рисунка 2.9 по формулах

$$S_{thres1} = \int_0^{T_m} (P_{max}(t) - P_{thres1}(t)) dt, \quad (2.7)$$

$$S_{thres2} = \int_0^{T_m} (P_{max}(t) - P_{thres2}(t)) dt, \quad (2.8)$$

для  $P_{thres2} < P(t) \leq P_{max}$

$$S_{par2} = \int_0^{T_m} (P(t) - P_{thres2}(t)) dt, \quad (2.9)$$

для  $P_{thres1} < P(t) \leq P_{max}$

$$S_{par1} = \int_0^{T_m} (P(t) - P_{thres1}(t)) dt, \quad (2.10)$$

Значення формованих показників якості (2.6) з обліком (2.7), (2.8), (2.9), (2.10) розраховуються по формулах

$$Q_{p1} = \left( 1 - \left( \frac{S_{par1}}{S_{thres1}} \right)^{e^{-(1-T_{thres1}/T_{av1})}} \right) \cdot 100\%, \quad (2.11)$$

$$Q_{p2} = \left( 1 - \left( \frac{S_{par2}}{S_{thres2}} \right)^{e^{-(1-T_{thres1}/T_{av2})}} \right) \cdot 100\%. \quad (2.12)$$

Значень показника міри погіршення якості роботи мережевого з'єднання, що набувають, для різних класів трафіку при проведенні оцінки по «продуктивності» передачі пакетного трафіку по діапазонах значень параметра обчислюватимуться згідно рисунка 2.10 по формулах

$$S_{thres1} = \int_0^{T_m} (P_{thres}(t) - P_{thres1}(t)) dt, \quad (2.13)$$

$$S_{thres2} = \int_0^{T_m} (P_{max}(t) - P_{thres2}(t)) dt, \quad (2.14)$$

для  $P_{thres2} < P(t) \leq P_{max}$

$$S_{par2} = \int_0^{T_m} (P(t) - P_{thres2}(t)) dt, \quad (2.15)$$

для  $P_{thres1} < P(t) \leq P_{thres2}$

$$S_{par1} = \int_0^{T_m} (P(t) - P_{thres1}(t)) dt, \quad (2.16)$$

Значення формованих показників якості (2.6) з обліком (2.13), (2.14), (2.15), (2.16) розраховуються по формулах

$$Q_{p1} = \left( 1 - \left( \frac{S_{par1}}{S_{thres1}} \right)^{e^{-(1-T_{thres1}/T_{av1})}} \right) \cdot 100\%, \quad (2.17)$$

$$Q_{p2} = \left( 1 - \left( \frac{S_{par2}}{S_{thres2}} \right)^{e^{-(1-T_{thres1}/T_{av2})}} \right) \cdot 100\%. \quad (2.18)$$

Оцінка по «продуктивності» передачі пакетного трафіку по діапазонах значень параметра дозволяє виконувати аналіз і оцінку величин «сплесків» значень параметра в областях допустимих значень і визначати необхідність міри модернізації мережевих з'єднань в плані розширення або перерозподілу класів трафіку по мережевих з'єднаннях. Коефіцієнт модернізації визначається формулою

$$K_m = \frac{Q_{p2}}{Q_{p1}}$$

Чим більше значення  $K_m$ , тим більше швидше потрібна модернізація мережевого з'єднання. Аналіз росту значення  $K_m$  для мережевого з'єднання за величиною зміни і тривалістю часу, за який сталася зміна, дозволяє будувати прогноз по тривалості часу, що залишився, до повної непридатності мережевого з'єднання для передачі трафіку будь-яких класів. Цей функціонал забезпечує реальну економічну ефективність для операторів зв'язку в плані своєчасності планування технічних заходів для підтримки продуктивності мережі на належному рівні.

При використанні для оцінки якості мережевого з'єднання декількох порогових значень матимемо деякий набір значень  $Q_p$ . При цьому найбільш критичним є мінімальне значення  $Q_p$ , як що визначає міру найбільшої деградації якості мережевого з'єднання для передачі трафіку різних класів. В цьому випадку з обліком (2.11), (2.12) і (2.17), (2.18) підсумкове значення  $Q_p$  визначається формулою

$$Q_p = \text{MIN}(Q_{p1}, Q_{p2}, \dots, Q_{pn}),$$

де  $n$  - кількість порогових значень (максимальне значення відповідає кількості класів трафіку, що передаються по мережевому з'єднанню).

Аналогічна багатопорогова оцінка якості роботи мережевих з'єднань може робитися у бік зменшення значень параметра при завданні порогових значень по мінімальному значенню оцінюваного параметра («дзеркальне» відображення вищеприписаної багатопорогової оцінки).

## 2.5. Дискретна інтегральна оцінка якості роботи мережевого з'єднання

У разі дискретної оцінки перевищення значенням параметра порогового значення інтерес представляє сам факт перевищення порогового значення без урахування величини перевищення. В цьому випадку маємо вироджену ситуацію вищеприписаного одинпорогового методу, коли є дані тільки про тривалість перевищення порогового значення за часом і відсутня величина перевищення значенням оцінюваного параметра порогового значення. У такій ситуації формула для набуття значення інтегрального показника міри погіршення якості роботи мережевого з'єднання на інтервалі часу проведення оцінки (2.6) має наступний загальний вигляд

$$Q_p = \left(1 - \frac{T_{thres}}{T_m}\right) \cdot 100\%.$$

Дискретну оцінку потрібно у разі, коли порогове значення розділяє між собою області цільових і неприпустимих значень оцінюваного параметра.

## 2.6. Оцінка якості послуг зв'язку з боку користувача

Інтегральний показник якості дозволяє характеризувати якість роботи мережевого з'єднання на інтервалі часу проведення оцінки з урахуванням зміни профілю значень оцінюваного параметра, наявність нелінійної складової в зміні значень оцінюваних параметрів (нормативних показників якості) і з урахуванням статистичної достовірності даних про значення параметра за час проведення оцінки. Такий підхід до формування інтегральної оцінки якості роботи мережевого з'єднання аналогічний підходу до формування значення сприйняття якості послуги зв'язку з боку користувача (QoE) згідно рекомендації MCE і рекомендації Broadband Forum (BBF). Залежність значень QoE від значень QoS в найчастіше використовуваному в науковій літературі виді представлена на рисунку 2.11.

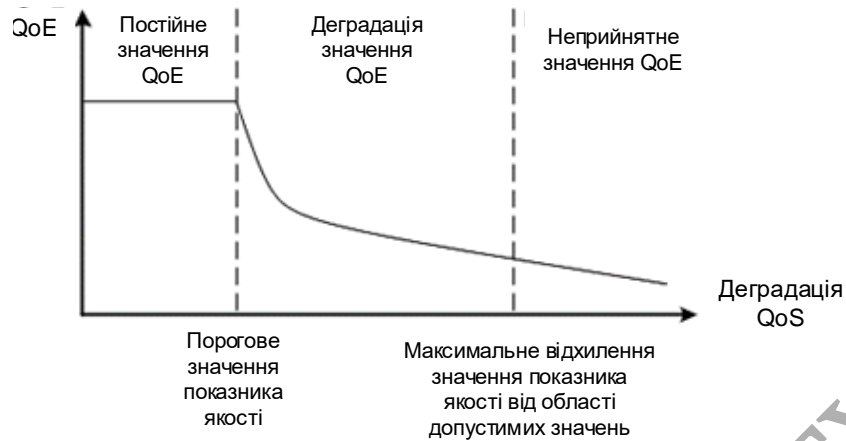


Рисунок 2.11 - Графік залежності значень QoS і QoE

Область з постійним значення QoE забезпечує задоволеність користувачів якістю послуг зв'язку, що надаються. Область з деградацією значень QoE відноситься до області виникнення невдоволення з боку користувачів якістю послуг зв'язку, що надаються, і у міру погіршення значень QoS збільшується вірогідність відмови користувачів від послуг оператора зв'язку. При неприйнятних значеннях QoE користувачі починають відмовлятися від послуг зв'язку з боку оператора в масовому порядку.

В ході проведення досліджень у рамках цієї дисертаційної роботи отримана розширена інтерпретація залежності значень QoE від значень QoS, яка представлена на рисунку 2.12. Представлена на рисунку 2.12 залежність QoE від QoS описує найбільш зв'язки розподілу таких значень, що часто зустрічаються в мережі оператора, по вказаних в договорах рівнях надання послуг зв'язку (SLA), нормативним значенням показників QoS, рівням призначених для користувача очікувань. З аналізу представленої залежності можна зробити висновок, що основним завданням забезпечення QoS для мережевих з'єднань на мережі зв'язку являється поєднання значень нормативних обмежень по значенням показників QoS з неприйнятним для користувачів значенням показників QoS. У ідеалі, неприйнятне для користувачів значення показників QoS має бути більше встановлених в нормативних документах порогових значень показників QoS.

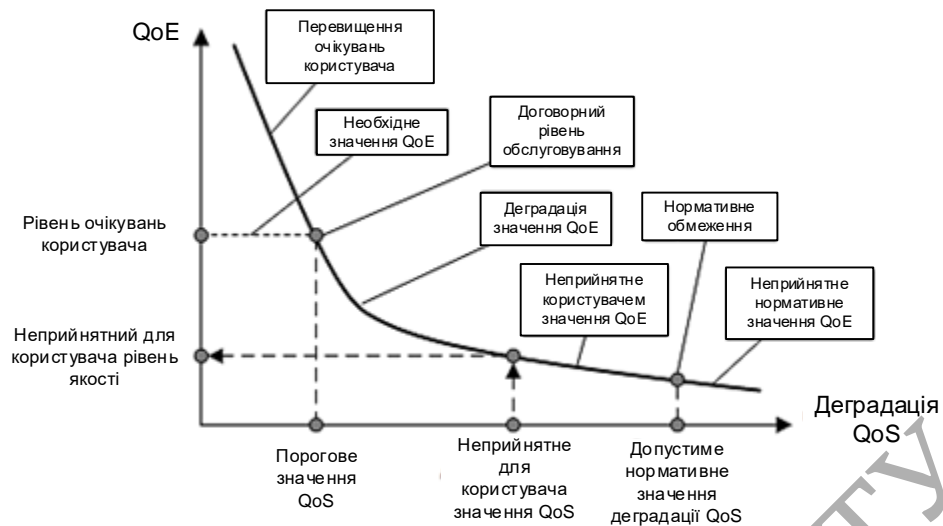


Рисунок 2.12 - Взаємозв'язок показників QoE і QoS в мережах операторів зв'язку

Згідно рекомендації ITU - T [41] у мережі зв'язку існує декілька значень QoS, представлених на рисунку 2.13.

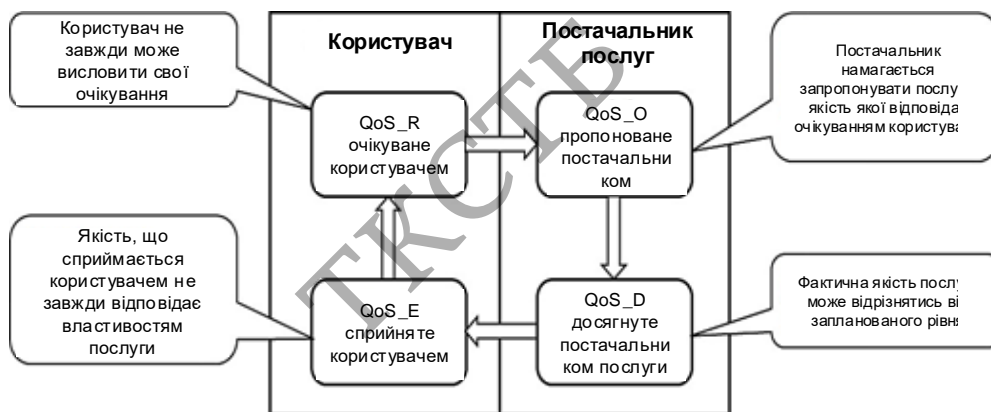


Рисунок 2.13 - Значення QoS в мережі зв'язку

Відповідно до рекомендації ITU-T значення QoE з боку користувача можна визначити таким чином

$$QoE = \frac{QoS\_E}{QoS\_R},$$

а значення QoE з боку оператора можна представити у вигляді

$$QoE = \frac{QoS\_D}{QoS\_O},$$

де  $QoS\_E$  - сприймане користувачем значення QoS,

$QoS_R$  - необхідне/очікуване користувачем значення QoS,

$QoS_D$  - досягнуте оператором значення QoS

$QoS_O$  - пропонуване оператором зв'язку значення QoS.

Цілком очевидно, що якість послуги зв'язку в першу чергу визначається якістю роботи мережі зв'язку. Надалі якість може бути поліпшена деяким чином на рівні додатка на стороні користувача або сервісної підсистеми. Проте ці поліпшення обмежені величинами погіршення якості з боку мережі зв'язку. Так, наприклад, високий рівень втрат в мережі зв'язку може компенсуватися шляхом повторної передачі пакетів даних, але можливі обмеження на тривалість часу передачі пакету можуть не дозволити виконати необхідну кількість повторних передач пакету даних. В результаті, в математичній моделі можна припустити, що якість послуги зв'язку на підставі призначеної для користувача оцінки (QoE) менше або рівно значення оцінки якості передачі даних по мережі в інтересах послуги зв'язку. Величину можливого поліпшення або погіршення якості надання послуги зв'язку з боку призначеного для користувача застосування можна визначити у вигляді деякого коефіцієнта, який описуватиме взаємозв'язок значень оцінки якості послуги зв'язку на рівнях мережі і призначених для користувача відчуттів. Взаємозв'язок значень показників QoE з показниками QoS на прикладі часу затримки представлена на рисунку 2.14.

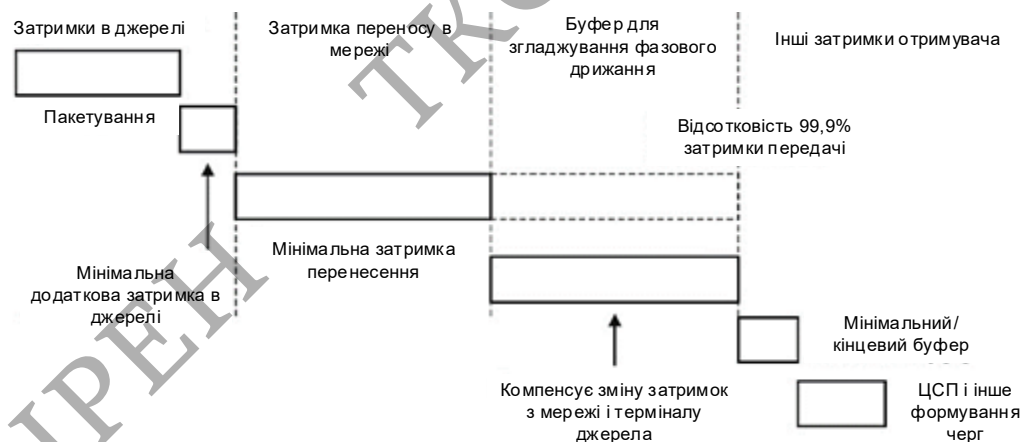


Рисунок 2.14 - Загальний час затримки передачі пакетів даних при наданні послуг зв'язку

Рівень втрат з точки зору призначених для користувача систем визначається таким чином

$$SDL = 1 - \frac{(TPS - NL - ECL - DBD - RD)}{TPS},$$

де SDL - сумарне значення втрат

TPS - загальна кількість переданих пакетів даних

NL - кількість пакетів, втрачена при передачі в мережі зв'язку

ECL - кількість пакетів, втрачена в результаті помилок при передачі пакетів

DBD - кількість пакетів, скинута у буфері, призначеному для компенсації джитера при передачі пакетів

RD - кількість пакетів з порушенням порядку дотримання.

Перехід від показників мережевої продуктивності мережі з комутацією пакетів, працюючою з використанням для передачі пакетів даних IP-протоколу, до загальних показників якості при передачі пакетів даних представлений в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 - Огляд показників NR для IP -мережі і їх відображення в загальні показники при наданні послуг зв'язку

Показник в IP-мережі	Перехід до загального показнику	Загальний показник
Затримка передачі (IPTD, середня)	IPTD + затримка на стороні передачі + затримка на стороні прийому	Середня затримка користувач-користувач
Зміни затримки (IPDV проценти 99,9% мінус мінімум)	Об'єднати з розподілом зміни затримки на стороні передачі	Впливає на затримку на стороні прийому або втрату аудіокадрів
Стрибок затримки (можливо зареєстрований, наприклад в RFC 3393)	Може викликатися зміною траси/пристрою в мережі або може з'являтися тільки на виході буфера, що згладжує фазове тремтіння	Неоднорідність тимчасової шкали аудіокадрів
Помилкові пакети (заголовки)	Втрати на мережевому рівні (IPErr) + втрати на транспортному рівні (UDPErr + RTPErr)	Втрата аудіокадрів (відкидання пакету або кадру кодека)
Перебудований пакет (Додавання VII/Y.1540)	(може вважатися втраченим)	Втрата аудіокадрів
Втрачений пакет	Втрата IP -пакета + (усі аудіодефекти)	Втрата аудіокадрів (попереднє маскування)
Жорстке блокування втрат IP-пакетів (IPSLB)	(залежить від тривалості блоку)	Відключення з'єднання
Втрачені комбінації (наприклад, RFC 3357)	Втрата/вступ повного потоку	Довжина пачки/втрата наступного пакету
Швидкість пакетів (отримана з інших системних характеристик)	Різниця між генераторами АЦП і ЦАП терміналів джерела і одержувача	Зміщення частоти системи (відносно одержувача)

У математичному виді залежність значень QoE від значень QoS можна



описати таким чином

$$\frac{\partial QoE}{\partial QoS} = -\gamma \cdot (\alpha - QoE), \quad (2.19)$$

де  $\alpha$  - якість класу сервісу на мережевому рівні,  
 $\gamma$  - параметр взаємозв'язку значень QoS і QoE.

В результаті функціональну залежність QoE від QoS (2.19) можна описати у вигляді

$$QoE(QoS) = \alpha - \beta \cdot \exp^{(-\gamma \cdot QoS)}, \quad (2.20)$$

де  $\beta$  - параметр класу сервісу.

Для конкретних показників QoS вираження (2.20) для оцінки залежності QoE від показників мережевої продуктивності набуває вигляду

$$\begin{aligned} QoE(PLR) &= \alpha - \beta \cdot \exp^{(-\gamma \cdot PLR)}, \\ QoE(Delay) &= \alpha - \beta \cdot \exp^{(-\gamma \cdot Delay)}, \\ QoE(Jitter) &= \alpha - \beta \cdot \exp^{(-\gamma \cdot Jitter)}, \end{aligned}$$

де PLR - рівень втрат пакетів даних.

Якщо описати вплив параметрів мережевої продуктивності у вигляді вектор-параметра  $X$ , визначуваного значеннями рівнів завантаження  $U$  і втрат  $L$ , величинами затримки  $D$ , джитера  $J$  і смуги пропускання  $B$ , отримаємо наступний вираз залежності QoE від QoS

$$QoE(QoS(X)) = Q_r \cdot (1 - QoS(X))^{\left(\frac{QoS(X) \cdot A}{R}\right)}, \quad (2.21)$$

де  $Q_r$  - коефіцієнт впливу значення QoS на значення QoE

$A$  - константа, що описує клас трафіку

$R$  - константа, що описує структуру трафіку відповідного класу.

Порівнявши між собою метод формування значень інтегральних показників якості (2.6) і методи формування взаємозв'язку значень QoE і QoS (2.21), описані вище, можна помітити, що вони мають загальний підхід до формування оцінок якості. Відповідно, інтегральні показники якості дозволяють оцінити вплив показників мережевої продуктивності на оцінку якості сприйняття послуг зв'язку з боку користувачів (QoE), що має на увазі можливість непрямого управління

значенням QoE шляхом управління значеннями мережевої продуктивності (NP), як це описано у відповідних рекомендаціях МСЕ [10, 11].

В якості прикладів взаємозв'язку значень QoE і QoS можна розглянути наступні ситуації. На рисунку 2.15 представлена залежність забезпечення величини смуги каналу зв'язку для користувача від використовуваної технології передачі даних і довжини лінії зв'язку від вузла зв'язку до місця розміщення призначеного для користувача устаткування.

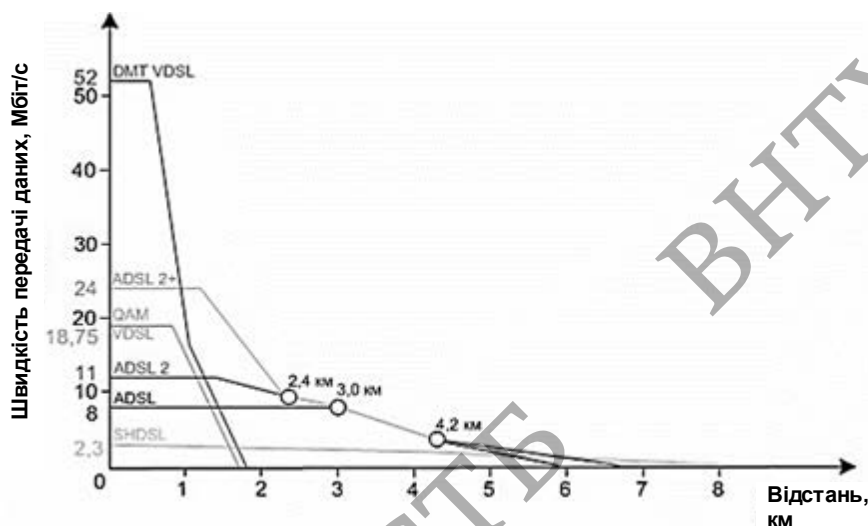


Рисунок 2.15 - Залежність величини смуги каналу зв'язку для користувача від використовуваної технології передачі даних і довжини лінії зв'язку до місця розміщення призначеного для користувача устаткування

Величина смуги каналу зв'язку визначає перелік доступних для користувача послуг зв'язку (користувач не може отримувати послуги зв'язку вимогами до смуги каналу більше, ніж доступна для користувача) або час, необхідний для передачі/прийому певного об'єму даних користувачем.

На рисунку 2.16 представлений вплив швидкості роботи сервісних систем, зокрема сервера із службою DNS і WEB-сервера, на час отримання WEB-сторінки користувачем, згідно рекомендації ІТУ-Т. При цьому призначеною для користувача оцінкою часу отримання WEB-сторінки буде час, сформований з урахуванням тривалості часу обробки запиту сервером DNS і тривалість часу підготовки WEB-сторінки до відправки користувачеві з боку сервера.

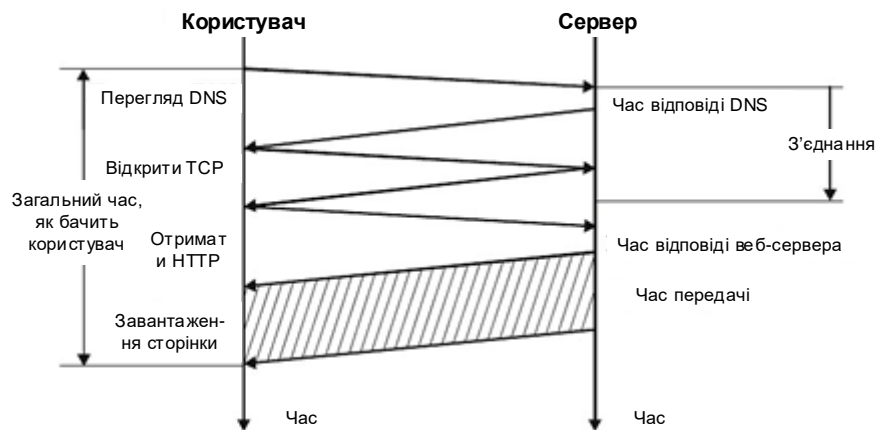


Рисунок 2.16 - Вплив швидкості роботи сервісних систем на час завантаження WEB-сторінки користувачем

## 2.7 Висновки по розділу 2

На підставі вищеописаного можна зробити висновок, що інтегральні методи оцінки продуктивності мережевих з'єднань дозволяють вирішувати наступні практичні завдання:

1. Формувати оцінку якості роботи мережевих з'єднань за довільну кількість тимчасових інтервалів розрахунку нормативних показників якості (інтервали часу для знімання статистичних даних при розрахунку значень показників мережевої продуктивності). Це дозволяє формувати оцінку якості роботи мережевих з'єднань за час надання послуг зв'язку.

2. Формувати оцінку якості роботи мережевих з'єднань з урахуванням технологічних вимог конкретної послуги зв'язку або їх набору. Це дозволяє розподіляти трафік по мережевих з'єднаннях з урахуванням міри їх придатності/відповідності для надання послуг зв'язку або їх набору.

3. Нелінійність оцінної функції на початковій ділянці дозволяє виявляти короточасні відхилення значень показників якості від області допустимих значень. Лінійність оцінної функції на тривалих інтервалах часу дозволяє виключити деградацію якості для процесів з тривалим і квазістабільним перевищенням значеннями показників якості встановленого порогового значення.

4. Величина відхилення значень показника якості від області цільових значень і тривалість часового інтервалу таких відхилень безпосередньо впливає на значення оцінки якості з боку призначеного для користувача досвіду (QoE). Отже, відносна оцінка якості за допомогою інтегральних показників вносить свій вклад в контроль забезпечення підтримки значення QoE на відповідному рівні.

5. Порівнянність методів формування значень оцінок QoS і QoE дозволяє виконувати оцінку міри впливу значень показників мережевої продуктивності на

якість надання послуги зв'язку для користувачів в цілому.

б. Значення величини відносної оцінки якості мережевого з'єднання дозволяє виконувати пріоритезацію проблеми впливу якості роботи мережевого з'єднання на якість роботи мережі і забезпечує більше високоякісне планування робіт по підтримці якості роботи мережі зв'язку в цілому. Це є прямим економічним ефектом для оператора зв'язку.

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

### 3. ІНТЕГРАЛЬНІ ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ

#### 3.1. Формування інтегральних показників якості роботи мережевих з'єднань

На підставі аналізу нормативної документації, що описує показники NP для мереж на основі IP-протоколу [15, 16, 17] можна виділити наступні основні показники:

- Рівень доступності сервісу передачі даних
- Рівень завантаження мережевого з'єднання
- Варіація величини часу затримки (джитер) передачі пакетів
- Рівень помилок (доля переданих з помилкою) пакетів
- Рівень втрат (доля втрачених) пакетів
- Рівень скидання (доля скинутих / відмовлених в обробці) на мережевому пристрої / елементі пакетів
- Рівень порушення порядку (доля з порушенням порядку дотримання) пакетів
- Рівень дублювання пакетів.

Цілком очевидно, що між показниками NP існує певний взаємозв'язок, який забезпечує їх синергетичну взаємодію. Значення рівня втрат складається зі значень рівня помилок і рівня скидання пакетів/кадрів (залежно від рівня моделі OSI, на якому здійснюється скидання), пакети зі значенням часу затримки понад деякого встановленого порогу вважаються втраченими на приймальній стороні. Значення рівня доступності може бути поліпшене введенням резервування мережевих з'єднань в мережі зв'язку. Значення рівня завантаження мережевого з'єднання може бути зменшене шляхом перерозподілу пакетного трафіку між декількома мережевими з'єднаннями (в результаті використання функції агрегації мережевих з'єднань для передачі пакетного трафіку). Величина часу затримки може бути зменшена шляхом використання більше високошвидкісних мережевих з'єднань або вибором шляху передачі трафіку з меншою кількістю тих, що вносять затримку в обробку трафіку активних мережевих елементів. На величину часу затримки і джитер чинить вплив розмір пакетного буфера/черги у вигляді широко відомої проблеми «buffer bloat», яка може бути вирішена налаштуванням оптимального розміру буфера з урахуванням розмірів пакетів, що поміщаються в нього, і частоти їх слідування. Значення рівня помилок може бути зменшене шляхом використання якісніших систем передачі пакетного трафіку. Значення рівня порушення порядку пакетів може бути зменшене або відмовою від балансування трафіку між декількома мережевими з'єднаннями, що особливо мають різні швидкості передачі трафіку, або використанням функції балансування пакетного трафіку по декількох

мережевих з'єднаннях з урахуванням IP-адрес відправника і одержувача. Значення рівня дублювання пакетів, визначуване повторами в передачі пакетів на 4-5 рівнях моделі OSI (функція крайових/сервісних систем) в наслідок втрат (помилки, скидань) і затримок пакетів, може бути зменшене шляхом коригування значень відповідних показників мережевої продуктивності. На значення рівня завантаження чинить вплив додатковий трафік, який є наслідком повторної передачі пакетів, оскільки з точки зору мережевого рівня кожен пакет, що знову поступив, розглядається як новий [16].

На рисунку 3.1 представлені графіки, що описують залежність значень показників якості послуги зв'язку від рівня завантаження мережевого з'єднання, по якому здійснюється передача пакетного трафіку при наданні послуги зв'язку. При цьому вимоги з боку призначених для користувача систем при наданні послуги зв'язку можуть обмежувати рівень завантаження мережевого з'єднання.



Рисунок 3.1 - Зміна значень показників якості послуги зв'язку залежно від рівня завантаження мережевого з'єднання

На підставі проведених досліджень нормативної і технічної документації і з урахуванням виявлених взаємозв'язків між нормативними показниками мережевої продуктивності сформована модель взаємозв'язку показників мережевої продуктивності для мереж з комутацією пакетів, представлена на рисунку 3.2. У запропонованій моделі взаємозв'язку показників мережевої продуктивності показники продуктивності розділені на наступні категорії залежно від типу оцінюваних характеристик мережі зв'язку :

- кількісні показники - оцінюють кількісні параметри передаваних пакетів даних в плані відсутності або наявності спотворень при передачі пакетів даних по мережі зв'язку, а також облік недоставлених пакетів даних

- часові показники - оцінюють значення інтервалів часу при доставці пакетів даних від відправника до одержувача і величини змін тривалості таких інтервалів часу, а також загальну тривалість інтервалу часу, коли мережа була готова обслужити передачу пакетів даних за інтервал часу проведення спостережень/вимірів

- топологічні/архітектурні показники - оцінюють параметри роботи мережі зв'язку, які безпосередньо пов'язані з організацією фізичної або логічної топології мережі, обов'язковість і спосіб контролю цих показників визначається з урахуванням використовуваної транспортної технології.

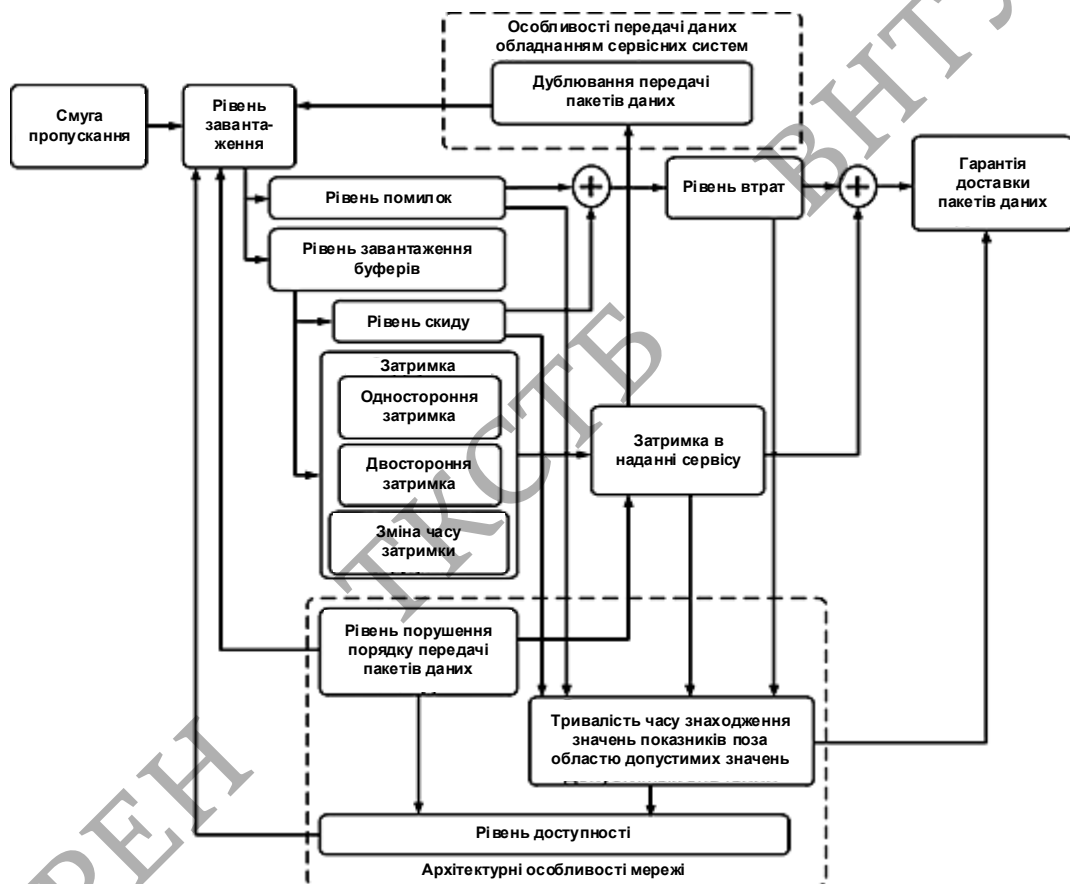


Рисунок 3.2 - Модель взаємозв'язку показників мережевої продуктивності для мереж з комутацією пакетів

Особливістю запропонованої моделі взаємозв'язку показників мережевої продуктивності для мереж з комутацією пакетів є наступне:

- опис взаємозв'язку між собою нормативних показників якості
- можливість проведення єдиного аналізу вимог до мережевих ресурсів з боку послуг зв'язку, що надаються на мережі, з формуванням у результаті сумарних вимог до якості роботи мережевої інфраструктури, які можуть бути використані при формуванні технічного завдання на розробку рішень по побудові і модернізації мережі або її сегментів

- можливість проведення технічної діагностики роботи мережі при призначенні відповідно до запропонованої моделі порогових значень і вагових коефіцієнтів до показників якості відповідно до вимог з боку послуг зв'язку (складанні шаблонної матриці якості послуги), завдяки чому забезпечується виявлення послуг з деградацією якості їх надання відповідно до змін в часі показників якості для вжиття відповідних заходів організаційно-технічного характеру для усунення тих, що виникають деградації якості

- модель є описом «дерева відмов» (Fault Tree Analysis - FTA) при перевантаженні каналу зв'язку або зміні значень нормативних показників якості по ходу діаграми моделі.

Класичний вид дерева відмов представлений на рисунку 3.3. Шляхом логічних зіставлень можна помітити, що модель оцінки якості роботи мережі і дерево відмов повністю порівнянні. Наприклад, висока інтенсивність пакетного трафіку може призвести до переповнювання пакетних буферів на мережевому пристрої з виникненням високої затримки (для пріоритетного трафіку) або припиненням подальшої передачі пакетів (для низькопріоритетного трафіку) на мережевому пристрої і відмові в наданні послуг зв'язку зрештою.



Рисунок 3.3 - Дерево відмов

На підсумкове значення показників мережевої продуктивності може чинити вплив використовуване в мережі устаткування, архітектура/топологія побудови мережі і параметри роботи сервісних підсистем, що забезпечують надання безпосередньо послуг зв'язку. Для забезпечення якості надання послуг зв'язку необхідно стежити за значеннями показників якості на рівні мережевого устаткування і сервісних підсистем, а також використовувати на фізичному або логічному рівні відповідну архітектуру/топологію мережі, найбільш прийнятні при наданні відповідних послуг зв'язку. У таблиці 3.1 представлений вплив з боку мережевого устаткування, архітектури мережі і сервісних підсистем послуг зв'язку на якість надання послуг зв'язку на основі IP-протоколу [15, 17].



Таблиця 3.1 - Вплив на значення показників мережевої продуктивності на основі IP-протоколу з боку мережевого устаткування, архітектури мережі і сервісних підсистем послуг зв'язку

Показники мережевої продуктивності	Мережеве устаткування	Архітектура мережі	Мережеві підсистеми сервісних систем
PIA	Так	Так	Так
IPSU	Так	Так	Так
IPTD	Так	Так	Так
IPDV	Так	Так	Так
IPER	Так	Ні	Так
IPLR	Так	Ні	Так
IPDR	Так	Ні	Так
IPRR	Ні	Так	Ні
IPDupR	Ні	Ні	Так

З урахуванням того факту, що на рівнях моделі OSI з 1 по 3, на яких відбувається в основному функціонування мережі зв'язку і які відносяться до мережевого/транспортного рівня в моделі мереж зв'язку наступних поколінь (NGN) відсутні в структурі заголовків пакетів поля з часовими мітками, часові показники мережевої продуктивності не розглядаються у рамках дослідження, що проводиться.

Топологічні/архітектурні показники не розглядаються у рамках дослідження з причини того, що питання дослідження топологій пакетних мереж вимагають окремого і масштабного дослідження.

У рамках дослідження розроблені інтегральні показники якості для кількісних нормативних показників. В якості інтегральних показників мережевої продуктивності запропоновані наступні показники:

Коефіцієнт пропускної спроможності КПС - дозволяє проводити оцінку продуктивності мережевого з'єднання по запасу пропускної спроможності використовуваних фізичних або логічних портів. В якості параметра при розрахунку використовується рівень завантаження порту мережевого з'єднання

$$КПС = \left( 1 - \left( \frac{S_U}{S_{Ut}} \right)^{e^{-(1-T_{thres}/T_{av})}} \right) \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

де  $S_U$  – фактичне інтегральне значення оцінки рівня завантаження мережевого з'єднання

$S_{Ut}$  – можливе інтегральне значення оцінки рівня завантаження мережевого з'єднання.

Коефіцієнт якості пріоритетних черг КЯПО - дозволяє проводити оцінку рівня втрат пакетів пріоритетного трафіку. В якості параметра при розрахунку використовується рівень скидання пакетів в чергах (буферах) портів мережевого з'єднання або значення рівня втрат за відсутності даних по значеннях рівня скидання

$$КЯПЧ = \left( 1 - \left( \frac{S_{PQ}}{S_{PQt}} \right)^{e^{-(1-T_{thres}/T_{av})}} \right) \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

де  $S_{PQ}$  – фактичне інтегральне значення оцінки рівня втрат в пріоритетній черзі  
 $S_{PQt}$  – можливе інтегральне значення оцінки рівня втрат в пріоритетній черзі.

Коефіцієнт якості непріоритетних черг ККНО - дозволяє проводити оцінку рівня втрат пакетів непріоритетного трафіку. В якості параметра при розрахунку використовується рівень скидання пакетів в чергах (буферах) портів мережевого з'єднання або значення рівня втрат за відсутності даних по значеннях рівня скидання

$$КЯНЧ = \left( 1 - \left( \frac{S_{CQ}}{S_{CQt}} \right)^{e^{-(1-T_{thres}/T_{av})}} \right) \cdot 100\%, \quad (3.3)$$

де  $S_{CQ}$  – фактичне інтегральне значення оцінки рівня втрат в непріоритетній черзі  
 $S_{CQt}$  – можливе інтегральне значення оцінки рівня втрат в непріоритетній черзі.

Коефіцієнт якості мережевого з'єднання КЯМЗ - дозволяє проводити оцінку міри придатності мережевого з'єднання для надання послуг різного типу залежно від рівня помилок. В якості параметра при розрахунку використовується рівень помилок при передачі пакетів на портах мережевого з'єднання

$$КЯМЗ = \left( 1 - \left( \frac{S_{LQ}}{S_{LQt}} \right)^{e^{-(1-T_{thres}/T_{av})}} \right) \cdot 100\%, \quad (3.4)$$

де  $S_{LQ}$  – фактичне інтегральне значення оцінки рівня помилок

$S_{LQI}$  – можливе інтегральне значення оцінки рівня помилок.

На рисунку 3.4 показаний взаємозв'язок нормативних показників якості з ключовими показниками ефективності (КПТ) мережі зв'язку.

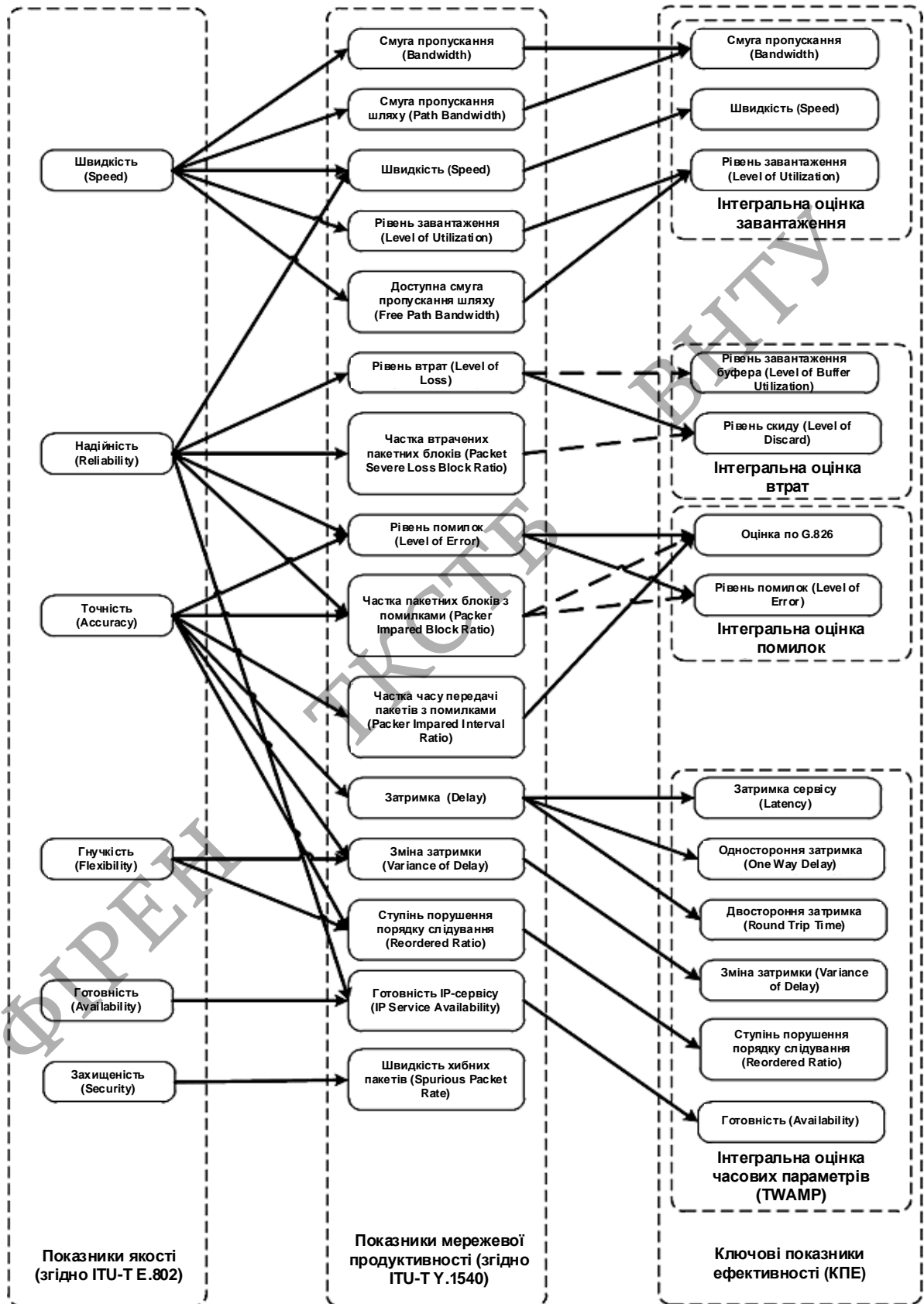


Рисунок 3.4 - Взаємозв'язок нормативних показників якості з ключовими показниками ефективності мережі зв'язку

При цьому в якості значень КПЕ можуть бути використані запропоновані інтегральні показники мережевої продуктивності:

- КПС - для інтегральної оцінки завантаження мережевого з'єднання
- КЯПЧ і КЯНЧ - для інтегральної оцінки втрат при передачі пакетів через мережеве з'єднання
- ККМЗ - для інтегральної оцінки помилок при передачі пакетів через мережеве з'єднання.

Запропоновані інтегральні показники можуть бути успішно використані при оцінці якості роботи мережевих з'єднань з використанням спеціальних протоколів, розроблених для оцінки якості роботи мережевих з'єднань. Зокрема, інтегральні показники можуть бути сформовані на підставі отриманих результатів оцінки якості роботи мережевих з'єднань з використанням протоколу TWAMP.

### 3.2. Формування порогових значень для розрахунку інтегральних показників якості

Для розрахунку значень КЯПЧ (3.2), КЯНЧ (3.3), ККМЗ (3.4) необхідно встановити порогові  $P_{thres}$  і максимальні  $P_{max}$  значення для нормативних показників якості. В якості значень  $P_{thres}$  і  $P_{max}$  необхідно відповідно використовувати найбільш строге і найменш строге значення нормативних показників якості [15, 16] чи вимог з боку послуг зв'язку відносно трафіку мультисервісних послуг, що передається по мережевому з'єднанню. При цьому необхідно враховувати вимоги по рівнях моделі OSI, на яких надається послуга зв'язку вимоги по типах сегментів мережі відповідно до мережевої архітектури [17] і вимоги по впливу значень нормативних показників на рівень доступності послуг зв'язку [15] з урахуванням синергетичності показників якості. Ілюстрація принципу формування значень  $P_{thres}$  і  $P_{max}$  представлена на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 - Формування вимог до порогових значень нормативних показників якості роботи мережі з комутацією пакетів

### 3.2.1. Формування порогових значень для коефіцієнта пропускної спроможності

Відповідно до нормативної документації для протоколу Ethernet рівень завантаження мережевого з'єднання змінюється від 76% до 99% залежно від розміру використовуваних для передачі цих розмірів мережевих кадрів. Така зміна рівня завантаження обумовлена тим фактом, що при використанні для передачі даних протоколу Ethernet в мережевому з'єднанні на каналному рівні з кожним пакетом даних передається додатковий блок службових даних протоколу Ethernet. Розмір блоку службових даних має фіксований розмір, що призводить до росту вкладу передаваних блоків службових даних у формування рівня завантаження мережевого з'єднання при зменшенні розміру блоку корисних даних усередині пакету. Ілюстрація впливу розмірів використовуваних мережевих кадрів на рівень завантаження мережевого з'єднання представлена на рисунку 3.6.

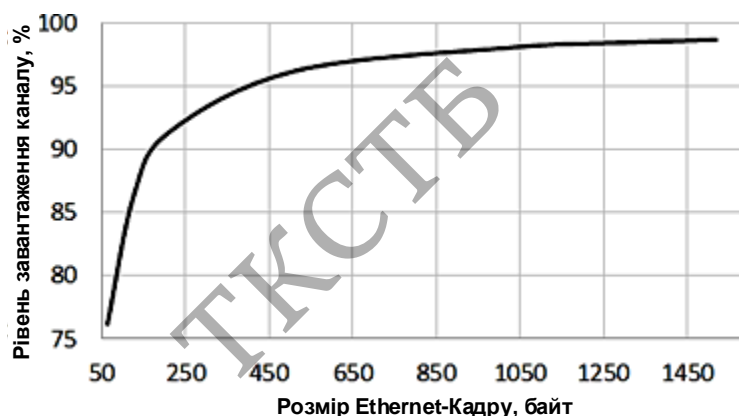


Рисунок 3.6 - Вплив розмірів використовуваних мережевих кадрів на рівень завантаження мережевого з'єднання

Згідно рекомендації МСЕ Y.1541 для високопріоритетного і чутливого до часових затримок трафіку значення джитера встановлене рівним половині часу затримки передачі пакету даних (допустима величина часу затримки може змінюватися в 2 рази). Згідно теорії масового обслуговування, час затримки пакету  $T_d$  в черзі типу М/М/1 визначається по формулі

$$T_d = \frac{U}{(1-U)} \cdot T_{avg},$$

де  $U$  – рівень завантаження мережевого з'єднання

$T_{avg}$  – середній час обробки пакету в черзі.

Для випадку зміни розміру оброблюваних пакетів для черги типу М/Г/1 час

затримки пакету  $T_d$  визначається по формулі

$$T_d = \frac{U \cdot V}{(1-U)} \cdot T_{avg},$$

де  $V$  - коефіцієнт варіації розміру пакету.

Графік зміни часу обробки пакету в черзі на активному устаткуванні зв'язку залежно від рівня завантаження мережевого з'єднання представлений на рисунку 3.7.

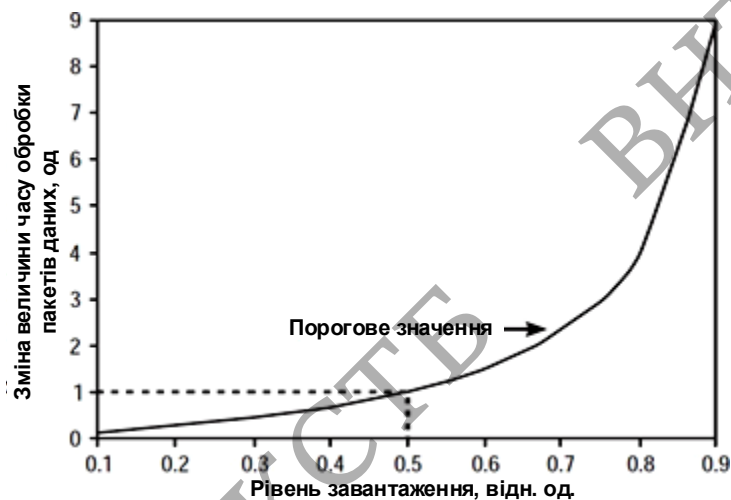


Рисунок 3.7 - Графік зміни часу обробки пакету в черзі залежно від рівня завантаження мережевого з'єднання

З урахуванням приведених формул і згідно теорії СМО час обробки пакетів даних в мережах з комутацією пакетів зростає в 2 рази при рівні завантаження рівному приблизно 67%.

З урахуванням наявності добових міграцій користувачів послуг зв'язку на території обслуговування оператора зв'язку навантаження по передачі пакетного трафіку на елементи мережі змінюється за квазігармонійним законом, що дозволяє апроксимувати зміни рівня завантаження мережевих з'єднань за синусоїдальним законом і при забезпеченні в якості максимуму інтенсивності трафіку 100% рівня завантаження мережевого з'єднання середнє значення рівня завантаження складає 70%.

З урахуванням вищеприписаного можна зробити висновок, що вибір в якості порогового значення при використанні для передачі цих протоколів IP і Ethernet рівня завантаження 70% є оптимальним значенням з урахуванням наступних обставин:

- дозволяє виявити наближення до рівня завантаження 77%, який є граничним рівнем завантаження при використанні Ethernet -кадров мінімального розміру 64 байти
- вказує на досягнення рівня завантаження, при якому час затримки в пакетних чергах/буферах зростає в 2 рази в порівнянні з часом передачі пакетів даних на незавантажених каналах зв'язку (у режимі передачі пакетів даних по каналу зв'язку від поодинокого джерела трафіку)
- дозволяє виявити досягнення рівнем завантаження максимального значення для квазіперіодичної зміни рівня завантаження.

### 3.2.2. Формування порогових значень для коефіцієнтів якості пріоритетних і непріоритетних черг і мережевого з'єднання

Згідно нормативної документації [16] для цілей оцінки мережевої продуктивності (QoS) при передачі даних між відправником і одержувачем в мережі з комутацією пакетів мережеве з'єднання може бути представлене у виді, зображеному на рисунку 3.8. У нормативній документації [14, 16] встановлені вимоги до показників мережевої продуктивності при оцінці якості передачі пакетів даних між відправником і одержувачем. Такі порогові значення для показників мережевої продуктивності визначають якість роботи мережі в цілому. Кількість мережевих сегментів (мережевих пристроїв), через які здійснюється передача трафіку, може бути різною для різних користувачів і різних послуг зв'язку для одного і того ж користувача. Мережевим сегментом можуть виступати сегменти доступу і інші сегменти мережі оператора зв'язку, мережа одного з операторів при проходженні трафіку між відправником і одержувачем по мережах декількох операторів і тому подібне.



Рисунок 3.8 - Мережеве з'єднання між відправником і одержувачем для цілей оцінки вимог до мережевому QoS

Для оцінки якості роботи мережевих з'єднань у рамках мережевих сегментів, мереж операторів зв'язку і тому подібне існують порогові значення показників якості, встановлені відповідними нормативними документами [17]. З точки зору оцінки якості надання кінцевих сервісів існують свої вимоги до значень показників якості, вказані у відповідних документах. З урахуванням вищепереліченого формується наступна система рівнянь

$$\begin{cases} Q_E = \sum_{i=1}^n Q_{Ei}, \\ Q_E \leq Q_N \leq Q_S, \end{cases}$$

Де  $Q_{Ei}$  – значення показника мережевої продуктивності у вигляді рівня втрат, скидань або помилок окремого мережевого елемента

$n$  - кількість мережевих елементів, через які проходить трафік між відправником і одержувачем

$Q_E$  - загальна оцінка рівня втрат, скидань або помилок уздовж шляху передачі пакетного трафіку

$Q_N$  - допустиме значення рівня втрат, скидань або помилок для мережі в цілому

$Q_S$  - допустиме значення рівня втрат, скидань або помилок для сервісу в цілому.

Цілком очевидно, що значення показників продуктивності на рівні сервісу включають сумарну оцінку з боку показників продуктивності мережевого з'єднання і показників продуктивності використовуваного мережевого застосування. У загальному вигляді значення показника на рівні сервісу повинне відповідати вираженню

$$Q_E + Q_A \leq Q_S,$$

де  $Q_A$  - допустиме значення рівня втрат, скидань або помилок для мережевого застосування.

Складність використання вищезгаданого підходу з використанням значень показників мережевої продуктивності мережевих елементів полягає в наступному:

- У мережі зв'язку може існувати досить велика кількість варіантів побудови маршрутів передачі пакетів даних між відправником і одержувачем і поточний варіант маршруту визначається поточним станом таблиці маршрутизації трафіку. Таблиця маршрутизації трафіку має високу динамічність, що призводить до наявності певної частоти зміни маршрутів в мережі зв'язку. При зміні маршруту проходження трафіку необхідно перерахувати значення відповідних показників



мережевої продуктивності з урахуванням показників продуктивності для нового набору мережевих елементів на маршруті передачі трафіку між відправником і одержувачем.

- Показники мережевої продуктивності зазвичай враховують роботу тільки мережевих портів і пов'язаних з ними систем проміжного зберігання пакетів даних у вигляді пакетних черг/буферів. Показники продуктивності систем комутації і тому подібне досить часто не враховуються з причини відсутності можливості збору таких даних на мережевих елементах, тобто можливість моніторингу мережевої продуктивності не мережевому елементі залежить від функціональних можливостей по моніторингу роботи мережевого елемента.

Одним з найбільш поширених варіантів рішення вищезгаданих проблем і забезпечення якості передачі трафіку в інтересах конкретного набору відправників і одержувачів є використання віртуальних мережевих з'єднань у вигляді тунелів, що проходять через деякий набір мережевих елементів. При цьому віртуальний тунель може проходити через сегмент мережі, мережу оператора або набір мереж операторів. Приклади використання тунелів для передачі трафіку між відправником і одержувачем представлені на малюнках 3.9 - 3.11.

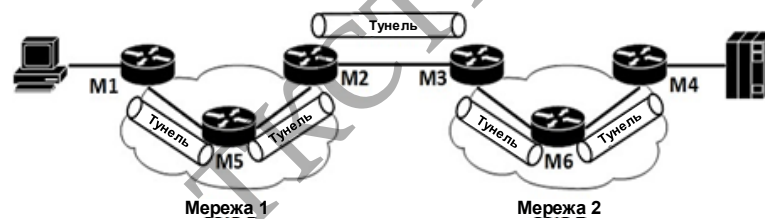


Рисунок 3.9 - Використання віртуальних з'єднань усередині існуючих ліній зв'язку

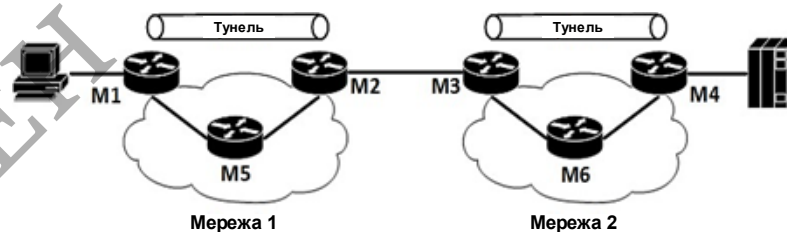


Рисунок 3.10 - Використання віртуальних з'єднань усередині мережі оператора зв'язку

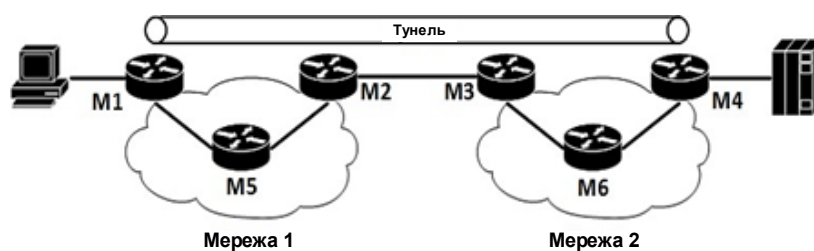


Рисунок 3.11 - Використання віртуальних з'єднань через мережі декількох операторів зв'язку

При оцінці продуктивності віртуального тунелю автоматично оцінюється якість роботи усіх мережевих елементів, через які проходить цей тунель, при передачі трафіку цього тунеля. На рисунку 3.12 представлений віртуальний тунель, призначений для передачі пакетного трафіку з використанням технології багатопротокольної комутації по мітках (MPLS) з використанням протоколу Ethernet (EoMPLS).

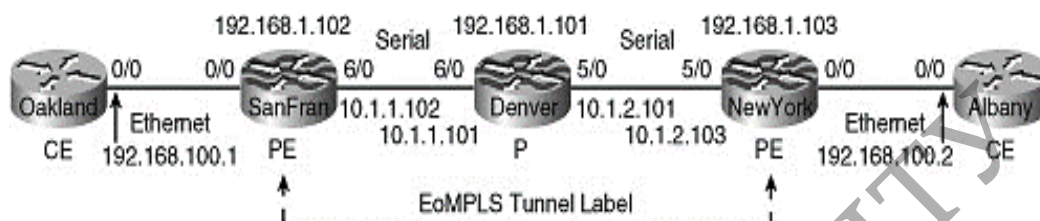


Рисунок 3.12 - Побудова віртуального тунеля за технологією EoMPLS

Через один порт або тунель може проходити трафік декількох сервісів. При цьому кожен з сервісів може мати свої власні вимоги до значень показників мережевої продуктивності. За відсутності можливості в рознесенні трафіку різних сервісів по окремих фізичних або логічних портах, різних тунелях необхідно в якості порогових значень для кожного порту або тунеля використовувати найбільш «строгу» вимогу до порогового значення з боку сервісів, трафік яких передається через порт або тунель

$$\begin{cases} Q_{thres}(L) = \text{MIN}(Q_{S1}(L), \dots, Q_{Sn}(L)), \\ Q_{thres}(D) = \text{MIN}(Q_{S1}(D), \dots, Q_{Sn}(D)), \\ Q_{thres}(E) = \text{MIN}(Q_{S1}(E), \dots, Q_{Sn}(E)), \end{cases}$$

де  $Q_{thres}$  – порогове значення показника якості по відповідному параметру

$Q_{Sn}$  – порогове значення показника якості для конкретного сервісу, трафік якого передається через конкретний порт або тунель

$n$  - кількість сервісів, трафік яких передається через конкретний порт або тунель

$L, D, E$  - параметри якості, втрати, скидання і помилки відповідно.

Максимальне значення показника має на увазі досягнення таких значень показників, коли мережеве з'єднання стає непридатним для надання будь-яких сервісів, трафік яких проходить через обслуговуючий мережеве з'єднання порт або тунель. Відповідно, в якості максимального значення показника якості порту або тунеля вибирається максимальне значення показника якості обслуговуваних сервісів

$$\begin{cases} Q_{thres}(L) = MAX(Q_{S1}(L), \dots, Q_{Sn}(L)), \\ Q_{thres}(D) = MAX(Q_{S1}(D), \dots, Q_{Sn}(D)), \\ Q_{thres}(E) = MAX(Q_{S1}(E), \dots, Q_{Sn}(E)). \end{cases}$$

Для забезпечення максимальної можливої якості надання послуг зв'язку в мережах з комутацією пакетів необхідно при оцінці якості роботи конкретного мережевого з'єднання використовувати набір (діапазон) значень показників якості, що відповідають вимогам послуг зв'язку в інтересах яких здійснюється передача пакетів даних по мережевому з'єднанню.

Порогові і максимальні значення показників мережевої продуктивності для різних мережевих з'єднань можуть мати різне значення на увазі того, що по мережевих з'єднаннях передається трафік різних послуг зв'язку з різними вимогами до значень показників якості. Інтегральні показники якості дозволяють оцінити міру придатності мережевих з'єднань для передачі трафіку конкретних послуг зв'язку. Це дозволяє незважаючи на різні значення поточних показників якості роботи мережевих з'єднань отримати оцінки якості, що забезпечують порівняння якісних показників по мірі відповідності функціональному завданню кожного каналу. Такий підхід дозволяє забезпечувати якісне надання послуг зв'язку з мінімізацією витрат на забезпечення якості роботи мережі з боку оператора зв'язку.

При використанні уздовж маршруту/шляху передачі трафіку між відправником і одержувачем різних транспортних технологій передачі даних необхідно враховувати показники мережевої продуктивності кожної транспортної технології на кожній ділянці маршруту/шляху

$$Q_N = \sum_{i=1}^n Q_{Ti},$$

де  $Q_N$  – допустиме значення рівня втрат, скидань або помилок для мережі в цілому

$Q_T$  – допустиме значення рівня втрат, скидань або помилок для кожного сегменту/ділянки маршруту/шляху передачі трафіку з урахуванням використаної на цьому сегменті/ділянці маршруту/шляху транспортної технології

$n$  – кількість сегментів/ділянок маршруту/шляху передачі трафіку між відправником і одержувачем.

При наданні послуги зв'язку на транспортному рівні моделі мереж наступних поколінь (NGN) необхідно враховувати рівень моделі OSI (мережевий або каналний), на якому фактично відбувається надання мережевого з'єднання при наданні послуги зв'язку і використовувати для оцінки якості роботи мережевого з'єднання відповідні порогові значення для показників якості.

Формування значень інтегральних показників проводиться окремо на мережевому і каналному рівнях моделі OSI залежно від рівнів передачі пакетного трафіку в інтересах обслуговуваних послуг зв'язку. У разі відсутності технічної можливості набуття значення інтегральної оцінки для будь-якого нормативного показника якості на мережевому або каналному рівнях допускається використання значення інтегральної оцінки, сформованої на іншому рівні моделі OSI.

### 3.3. Висновки по розділу 3

З урахуванням вищевикладеного можна зробити висновок, що запропонована логічна модель взаємозв'язку показників мережевої продуктивності, інтегральні показники мережевої продуктивності і порогові значення для нормативних показників якості, сформовані з урахуванням технологічних вимог з боку послуг зв'язку з передачі пакетного трафіку і архітектурно-технологічних можливостей мережі зв'язку по забезпеченню цих вимог, дозволяють поліпшити якість роботи мережі зв'язку з комутацією пакетів :

1. Запропонована логічна модель взаємозв'язку показників мережевої продуктивності забезпечує єдиний аналіз технологічних вимог з боку послуг зв'язку до мережевої інфраструктури і мережевих підсистем устаткування користувачів послуг зв'язку і сервісних систем послуг зв'язку, що підключається до мережі. Це дозволяє використовувати запропоновану модель для забезпечення якості передачі пакетного трафіку в інтересах послуг зв'язку, формування технічних завдань на побудову і модернізацію мережі зв'язку або її сегментів. В ході експлуатації мережі запропонована модель забезпечує виявлення проблем з якістю передачі пакетного трафіку, оскільки є «деревом відмов» при перевантаженні мережевого з'єднання або зміні значень нормативних показників якості.

2. Запропоновані інтегральні показники якості забезпечують оцінку міри впливу змін значень нормативних показників якості на якість надання послуг зв'язку, забезпечують виявлення показників якості, що чинять найбільший вплив на погіршення якості передачі пакетного трафіку в інтересах послуг зв'язку, що надаються.

3. Спільно логічною моделлю взаємозв'язку показників мережевої продуктивності запропоновані інтегральні показники якості дозволяють визначати необхідні архітектурно-технологічні зміни в мережі зв'язку для забезпечення якості передачі трафіку в інтересах послуг зв'язку, що надаються.

4. Запропонований метод формування порогових значень для нормативних

показників якості відносно мережевих з'єднань враховує комплекс технологічних вимог з боку послуг зв'язку, класів і типів трафіку, можливостей використовуваних протоколів і технологій передачі даних по рівнях моделі OSI з урахуванням архітектури побудови технологічних сегментів мережі. Це дозволяє проводити оцінку якості роботи мережевих з'єднань з урахуванням ресурсно-сервісних моделей надання послуг зв'язку і забезпечує зіставлення показників якості роботи різних технологічних сегментів мережі зв'язку уздовж шляху передачі трафіку для формування підсумкової оцінки якості передачі пакетного трафіку.

5. Визначення ролі і функціональності елементів мережі і віртуальних тунелів по відношенню до послуги зв'язку, що надається, дозволяє визначити перелік показників мережевої продуктивності і їх порогові значення, які повинні контролюватися в цілях забезпечення якості надання послуги зв'язку. Роль і функціональність елементів мережі і віртуальних тунелів повинні визначатися шляхом синергетичної оцінки фізичної і логічної топології мережі зв'язку.

## 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.1. Вступ

У цьому розділі наводяться результати застосування розроблених інтегральних показників мережевої продуктивності для аналізу роботи мережевих з'єднань в мережі зв'язку з комутацією пакетів на рівнях доступу, агрегації і ядра і забезпечення підтримки якості роботи мережі оператора зв'язку. На рівні ядра мережі використовуються кабельні лінії зв'язку на основі оптичних волокон. На рівнях доступу і агрегації в мережі зв'язку використовуються 2 технології побудови ліній зв'язку:

- кабельні лінії зв'язку на основі оптичних волокон і мідних дротяних з'єднань
- цифрові радіорелейні лінії пакетного зв'язку.

Приведені нижче графіки є інформацією, отриманою з системи моніторингу продуктивності мережі з комутацією пакетів. Значення нормативних показників NP розраховуються на інтервалі часу 5 хвилин [16]. Значення інтегральних показників NP розраховуються на добовому інтервалі часу (24 години). При аналізі залежності значень показників NP використовується усереднювання значень на вартовому і тижневому (7 діб) інтервалах часу. Усереднювання значень нормативних показників NP на годинному інтервалі часу використовується для зіставлення значень показників мережі з комутацією пакетів з показниками продуктивності обслуговуваної стільникової мережі зв'язки, які класично розраховуються на годинному інтервалі часу як показники якості роботи послуги телефонного зв'язку і використовують значення показників в ЧНН. Усереднювання значень на тижневому інтервалі часу обумовлене тим, що звіт по продуктивності мережі з комутацією пакетів формується за тижневий інтервал часу. Тижневий інтервал часу вибраний для формування звіту з причини того, що описує продуктивність роботи мережі з урахуванням циклічності надання послуг в мережі оператора зв'язку, обумовлених добовими і тижневими коливаннями інтенсивності пакетного трафіку в мережі зв'язку.

### 4.2. Оцінка пропускної спроможності мережевих з'єднань

При практичному використанні коефіцієнта пропускної спроможності (КПС) для моніторингу продуктивності мережевих з'єднань значення КПС розраховується на добовому інтервалі часу проведення вимірів з використанням вищеописаної

однопорогової методики розрахунку інтегральних показників якості. По фізичному сенсу значення КПС показує середню величину долі смуги пропускання мережевого з'єднання вище встановленого порогового значення рівня завантаження, не задіяну для передачі пакетного трафіку впродовж часу проведення вимірів. Значення КПС є зворотним значенням в плані опису величини міри перевантаження мережевого з'єднання зверху встановленого порогового значення рівня завантаження за інтервал часу проведення вимірів. У плані управління продуктивністю мережевого з'єднання значення КПС є показником витрати ресурсів мережевого з'єднання [17], що забезпечують передачу пакетного трафіку в умовах виникнення перевантажень в роботі мережевого з'єднання. За відсутності витрати відповідних ресурсів значення КПС рівне 100%. При повному витраченні відповідних ресурсів значення КПС рівне 0%.

Регулююча дія значення КПС при використанні для оцінки якості роботи мережевих з'єднань в мережах з комутацією пакетів полягає в наступному:

- Значення КПС, як і нормативний показник якості у вигляді рівня завантаження, дозволяє виявляти мережеві з'єднання з рівнем завантаження вище встановленого порогового значення на інтервалі часу зняття статистичних даних.

- Значення КПС залежать від об'єму трафіку, переданого з рівнями завантаження мережевого з'єднання вище встановленого порогового значення, тобто в умовах, коли продуктивність мережевого з'єднання була не оптимальна. Максимальні і середні значення рівня завантаження мережевого з'єднання не дозволяють виконати оцінку об'єму трафіку, переданого з неоптимальними значеннями продуктивності мережевого з'єднання, особливо в умовах наявності інтервалів часу без передачі призначеного для користувача трафіку через мережеве з'єднання (при рівнях завантаження рівних або таких, що мають значення близько 0% на інтервалах часу знімання статистичних даних).

- Значення КПС, особливо в зв'язці зі значеннями ВНН, дозволяють виявляти найбільш критичні в плані забезпечення необхідної продуктивності мережеві з'єднання і виконувати їх ранжирування по мірі терміновості/важливості усунення проблем з продуктивністю з причини наявності оцінки профілю трафіку (графіка зміни значень рівня завантаження на інтервалі часу проведення оцінки), що передається по мережевому з'єднанню. Максимальні і середні значення рівня завантаження мережевого з'єднання не дозволяють виконати оцінку профілю трафіку в мережевому з'єднанні.

- З ростом значення рівня завантаження слід зменшувати тривалість інтервалу часу для набуття значень нормативних показників якості. У оптимальному випадку тривалість інтервалів часу для набуття значень нормативних показників якості необхідно робити мінімально можливою [16]. При цьому слід мати на увазі, що при зменшенні тривалості інтервалів часу для

знімання статистичних даних збільшується частота отримання даних з обладнання зв'язку, що може послужити причиною перевантаження обладнання зв'язку в плані формування і відправки таких даних і вплинути на якість роботи мережі в цілому. Часте отримання з обладнання зв'язку статистичних даних про значення параметрів якості допускається в режимах відладки або пошуку і усунення несправностей на коротких часових інтервалах.

- КПС дозволяє забезпечити підтримку мережевого з'єднання в неперевантаженому стані для забезпечення максимізації об'єму пакетних даних, переданих з мінімальними значеннями часу затримки і рівня втрат.

Для підтримки значення КПС рівним 100% потрібне забезпечення додаткової смуги пропускання для мережевого з'єднання  $B_{add}$

$$B_{add} = (B_{nc} - B_{thres}) \cdot \frac{(100 - КПС)}{100}$$

де  $B_{nc}$  – смуга пропускання мережевого з'єднання

$B_{thres}$  – порогове значення для смуги пропускання мережевого з'єднання.

На рисунку 4.1 представлений сформований за результатами щотижневого звіту графік залежності середніх значень КПС від середніх значень максимального рівня завантаження мережевого з'єднання. Розмір вибірки для побудови графіку складає 1000 мережевих з'єднань. Усереднювання значень КПС і максимального значення рівня завантаження робиться на тижневому часовому інтервалі, тобто по 7 значенням рівнів завантаження і КПС. Наявність усереднювання значень рівня завантаження і КПС пояснює той факт, що на рисунку 4.1 зменшення значень КПС починається не точно після 70% (порогове значення для розрахунку КПС) максимального рівня завантаження мережевого з'єднання, а при трохи менших значеннях рівня завантаження.

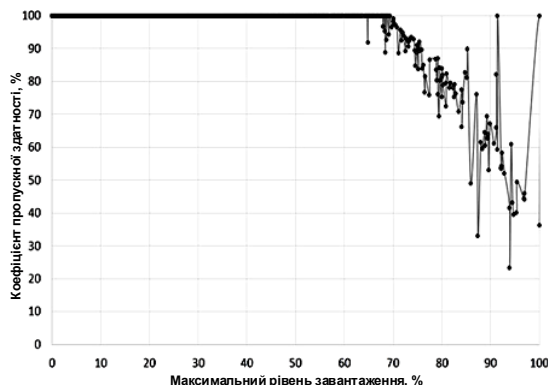


Рисунок 4.1 - Залежність значень коефіцієнта пропускнуої спроможності від величини рівня завантаження мережевого з'єднання на 5-хвилинних інтервалах часу



При розгляді графіку на рисунку 4.1 можна помітити, що з ростом максимального значення рівня завантаження спостерігається зростання коливань значень КПС. Такі коливання значень КПС пояснюються наявністю в мережі оператора мережевих з'єднань:

- з досить короткими по тривалості інтервалу часу, але високими по абсолютних значеннях рівня завантаження «сплесками» інтенсивності пакетного трафіку, ознаками яких є високі значення КПС при високих максимальних значеннях рівня завантаження

- з «високими» значеннями рівня завантаження впродовж досить тривалого сумарного інтервалу часу протягом доби, ознаками яких є низькі значення КПС при високих максимальних значеннях рівня завантаження.

Графік зміни значень КПС від рівня завантаження окремого мережевого з'єднання, на відміну від середніх, максимальних і мінімальних значень рівня завантаження, дозволяє:

- визначити значення рівня завантаження, що мають максимальну тривалість впродовж інтервалу часу проведення вимірів по мінімальному значенню КПС

- визначити стабільність завантаження мережевого з'єднання по добових інтервалах часу (добовий інтервал часу є універсальним інтервалом часу періодичності використання послуг зв'язку) по частоті знаходження значень КПС в певній області значень рівня завантаження

- визначити стабільність роботи мережевого з'єднання при відповідних рівнях завантаження за величиною значень КПС (величині розкиду значень КПС) при відповідних значеннях рівня завантаження мережевого з'єднання.

Середнє значення рівня завантаження мережевого з'єднання не відбиває фактично досягнуті значення рівня завантаження за інтервал часу розрахунку середнього значення. З урахуванням того, що в якості мінімального інтервалу часу для розрахунку значень нормативних показників NP приймається тривалість інтервалу часу знімання статистичних даних [16], то збільшення тривалості часу для розрахунку значень показників NP понад тривалість інтервалу часу знімання статистичних даних вносить спотворення в значення показників NP, отриманих на таких інтервалах часу. Значення КПС дозволяють виявляти перевищення рівнем завантаження мережевого з'єднання встановленого порогового значення на інтервалі часу знімання статистики. На рисунку 4.1 представлені різні графіки зміни рівня завантаження мережевого з'єднання (профілю пакетного трафіку) на годинному інтервалі часу з середнім годинним значенням рівня завантаження 70%. З аналізу представлених на рисунку графіків видно, що на годинному інтервалі часу при одному і тому ж середньому годинному значенні рівня завантаження в умовах

перевантаження і зі збільшеним часом затримки при обробці пакетів даних можуть бути передані різні об'єми даних.

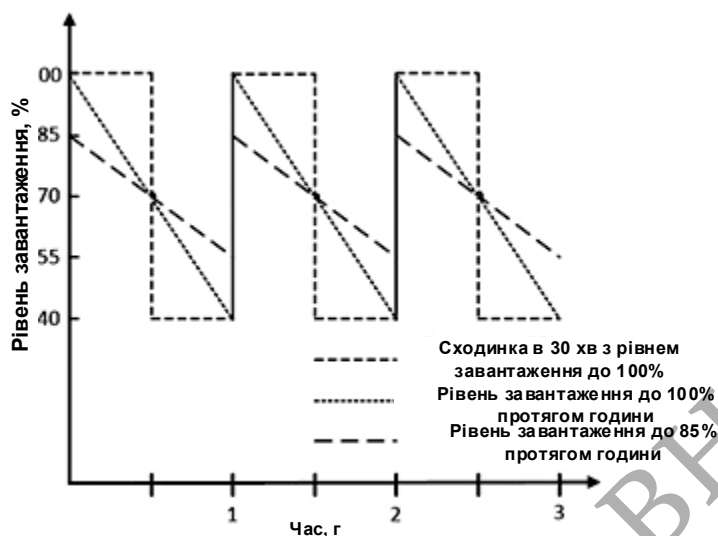


Рисунок 4.1 - Графіки зміни рівня завантаження мережевого з'єднання на інтервалі часу знімання статистики з однаковим середнім годинним значенням рівня завантаження

Графіки зміни значення КПС при різних профілях пакетного трафіку з різними величинами і тривалістю перевищення значеннями рівня завантаження встановленого порогового значення 70% представлені на рисунку 4.2. Значення графіків «до 85%», «до 100%» і «схдинка в 30 хвилин з 100%» відповідають профілям трафіку, представленим на рисунку 4.1.

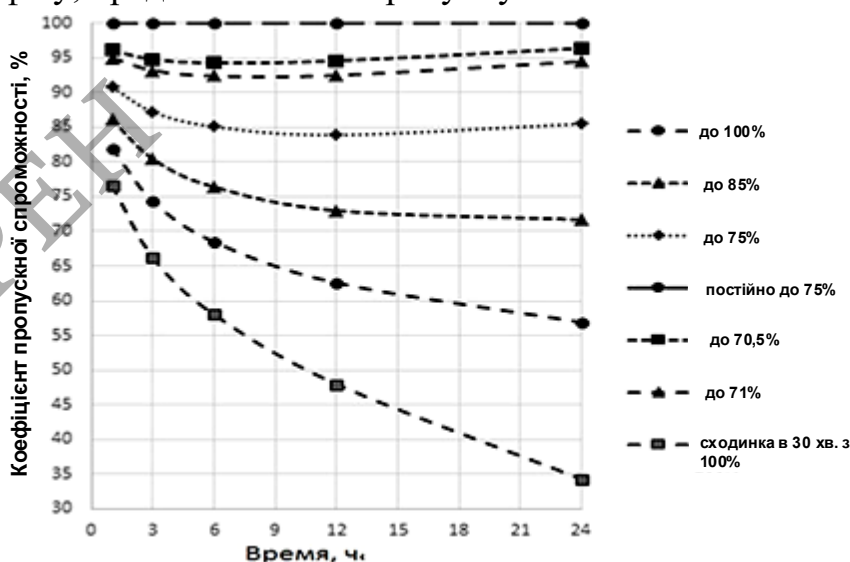


Рисунок 4.2 - Залежність значень коефіцієнта пропускної спроможності від величини і тривалості перевищення рівнем завантаження встановленого порогового значення

Графіки зміни значень КПС залежності від величини і тривалості

перевищення значеннями рівня завантаження встановленого порогового значення дозволяють виконувати ранжирування мережевих з'єднань за величиною і тривалістю їх перевантаження пакетним трафіком. З аналізу графіків на рисунку 4.8 можна помітити, що до досягнення рівня завантаження мережевого з'єднання 76% (максимальний рівень завантаження каналу зв'язку з використанням Ethernet - протоколу при передачі кадрів мінімального розміру 64 байти) спостерігається покращення значення КПС з ростом тривалості перевищення значеннями нормативних показників якості встановлених порогових значень. Така поведінка інтегрального показника свідчить про покращення значення оцінки мережевої продуктивності з причини виявлення стабільності знаходження рівня завантаження мережевого з'єднання в діапазоні від 70% до 76%, тобто при виявленні трафіку з квазістаціонарним рівнем завантаження мережевих з'єднань, що не перевищує порогове значення рівня завантаження мережевого з'єднання при передачі Ethernet - кадрів мінімального розміру. Подальший ріст рівня завантаження свідчить про виникнення проблем із забезпеченням якості передачі пакетів даних для послуг зв'язку згідно моделі взаємозв'язку показників мережевої продуктивності мереж з комутацією пакетів, представленою на рисунку 3.2. Якщо відбувається скидання (втрати) пакетів даних, які не можуть бути поміщені в пакетну чергу, обслуговуючу мережеве з'єднання, з причини обмеженого розміру пакетної черги, то це призводить до одного з 2-х можливих наслідків:

- повтору передачі пакету даних, якщо передача пакетів забезпечується протоколом, що гарантує доставку пакету (наприклад, TCP або SCTP), що у свою чергу веде до збільшення часу затримки при отриманні пакету даних на приймальній стороні і зростання завантаження мережевого з'єднання, оскільки знову передаваний пакет даних сприймається мережею зв'язку як новий пакет даних [16],

- фіксації втрати пакету даних на приймальній стороні, якщо збіг час очікування пакету при використанні для передачі пакетів цих протоколів, що не гарантують доставку пакетів даних, що призводить у свою чергу до спотворення передаваних даних на приймальній стороні і погіршення якості надання послуги зв'язку.

Відповідно, пороговим значенням рівня завантаження мережевого з'єднання повинне виступати таке значення рівня завантаження, при перевищенні якого повинні почати зростати значення рівня скидання (втрати) пакетів даних.

Для виключення впливу одиничних значень на вибір порогового значення рівня завантаження на рисунках 4.3 і 4.4 приведені графіки залежності середніх значень кількості втрат пакетів даних в одиницю часу на тижневому інтервалі часу від значень рівнів завантаження мережевих з'єднань для оптичних ліній зв'язку і РРЛ при використанні для передачі пакетів цих протоколів IP і Ethernet і

поліноміальні лінії тренду для відповідних графіків. Для отримання графіків використані вибірка з 300 оптичних з'єднань і 300 РРЛ на рівні агрегації мережевої архітектури мережі зв'язку.

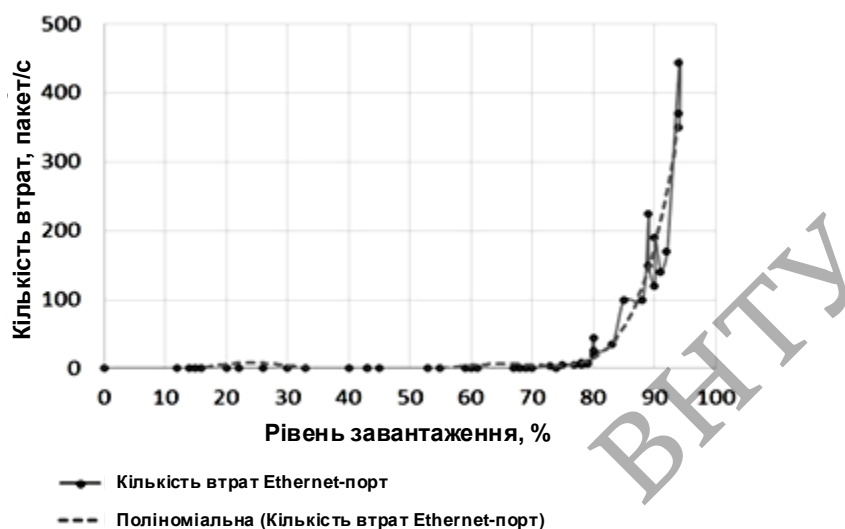


Рисунок 4.3 - Залежність середнього значення кількості втрат пакетів даних залежно від рівня завантаження порту маршрутизатора

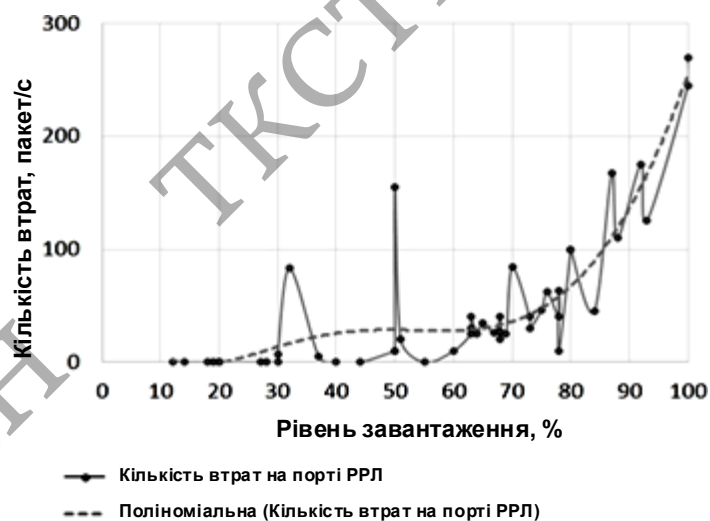


Рисунок 4.4 - Залежність середнього значення кількості втрат пакетів даних залежно від рівня завантаження порту радіоканалу обладнання РРЛ

З аналізу графіків на рисунках 4.3 і 4.4 видно, що серйозне зростання кількості втрат пакетів даних в одиницю часу починається при перевищенні значеннями рівня завантаження мережевого з'єднання значення 70%. Наявність «сплесків» втрат пакетів при рівнях завантаження мережевого з'єднання менше 60% пояснюється досить високим значенням коефіцієнта пачковості пакетного трафіку при відповідних значеннях рівня завантаження. З аналізу графіку на рисунку 4.3 можна помітити, що зростання кількості втрат пакетів даних в

одиницю часу відбувається при рівнях завантаження оптичних ліній в діапазоні від 16% до 32% і починаючи з рівня завантаження приблизно 70%. При цьому починаючи з рівня завантаження приблизно 77% починається різке зростання кількості втрат. Рівень завантаження 76% є граничним рівнем завантаження мережевого з'єднання при передачі Ethernet-кадрів мінімального розміру 64 байти. На рисунку 4.4 зростання кількості втрат пакетів починається з рівня завантаження 20% і з рівня завантаження 45% до рівня завантаження 69% кількість втрат пакетів даних в одиницю часу має досить стабільне значення. Така поведінка значення кількості втрат пакетів даних в одиницю часу пояснюється наявністю інтервалів часу з помилками при передачі пакетів даних по радіоканалу і розглядається далі в розділі, присвяченому опису інтегральних показників ККПЧ і ККНЧ. Додатковий вплив на кількість втрат пакетів даних в одиницю часу робить наявність змін смуги пропускання радіоканалу залежно від зовнішніх умов і перешкод, представлене на рисунку 4.5. Починаючи з рівня завантаження 69% починається різке зростання кількості втрат в одиницю часу з ростом рівня завантаження радіоканалу.

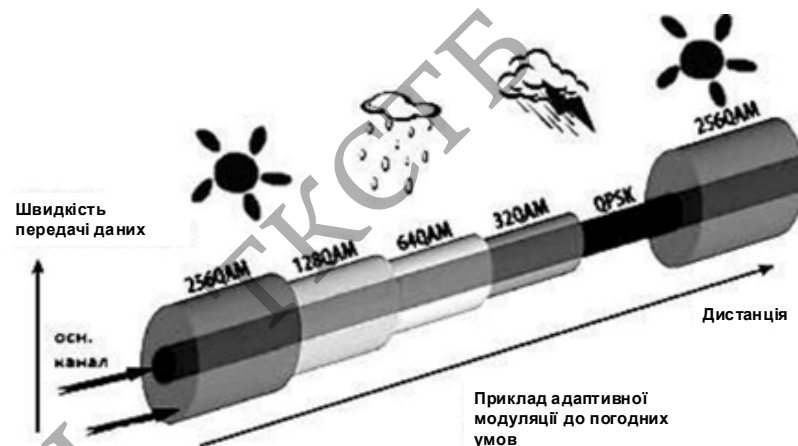


Рисунок 4.5 – Зміна методів модуляції в радіоканалі для радіорелейного обладнання залежно від зовнішніх погодних умов

Виходячи з аналізу графіків залежностей кількості втрат пакетів даних в одиницю часу залежно від рівня завантаження мережевих з'єднань, представлених на рисунках 4.3 і 4.4, можна зробити висновок, що використання в якості порогового значення рівня завантаження мережевого з'єднання 70% для розрахунку значень КПС є оптимальним для більшості мережевих з'єднань і при використанні різних технологій організації фізичного каналу зв'язку.

При розгляді ефективності використання значень КПС для оцінки продуктивності мережевих з'єднань проведено практичне порівняння зміни значень рівнів завантаження мережевих з'єднань в ЧНН і відповідних ним значень КПС. Величина вибірки склала 10000 мережевих з'єднань. При проведенні порівняльного аналізу мережеві з'єднання були розділені на групи по діапазонах

зміни максимальних рівнів завантаження, отриманих за інтервали часу знімання статистики в наступних діапазонах значень:

- 70% – 85%,
- 85% - 95%,
- 95% - 100%.

Діапазони зміни максимальних рівнів завантаження зменшуються у міру досягнення повного завантаження мережевого з'єднання з метою точнішого аналізу зміни рівня завантаження у міру наближення до граничного значення завантаження мережевого з'єднання. З причини того, що тривалість інтервалу часу, впродовж якого були доступні статистичні дані по параметрах роботи мережевих з'єднань на добовому інтервалі часу, може мати різну величину (різний час доступності мережевих з'єднань -  $T_{av}$ ), то величина часу перевищення значеннями рівня завантаження порогового значення рівня завантаження 70% (ВНН) представлена у вигляді відносної тривалості цієї величини часу по відношенню до інтервалу часу доступності значень параметрів роботи мережевих з'єднань ( $T_{av}$ ). Графіки діапазонів зміни значень рівнів завантаження мережевих з'єднань в ЧНН представлені на рисунках 4.6 - 4.8.

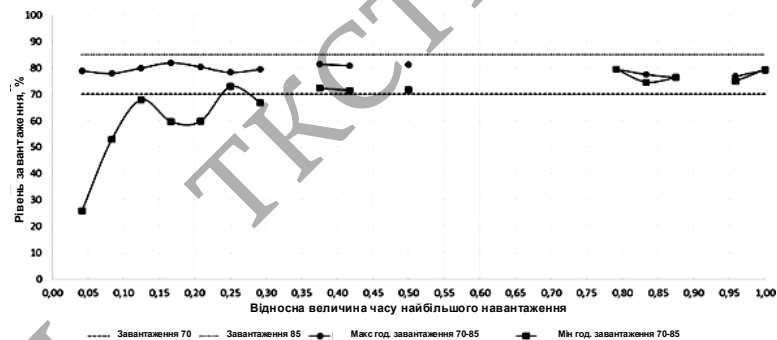


Рисунок 4.6 - Діапазони зміни значень рівнів завантаження мережевих з'єднань в ЧНН залежно від відносної тривалості часу найбільшого навантаження для максимальних рівнів завантаження в діапазоні 70% - 85%

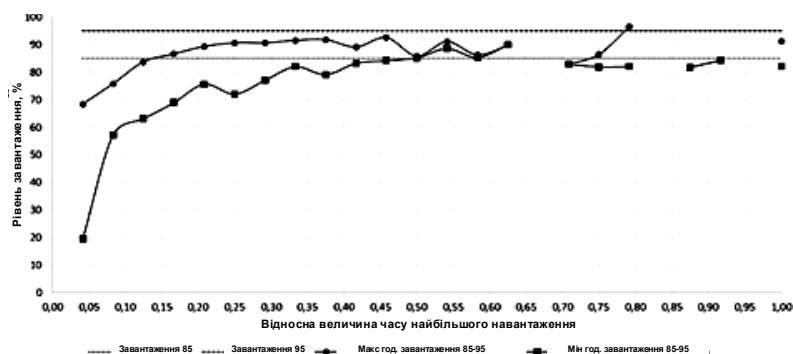


Рисунок 4.7 - Діапазони зміни значень рівнів завантаження мережевих з'єднань в ЧНН залежно від відносної тривалості часу найбільшого навантаження для максимальних рівнів завантаження в діапазоні 85% - 95%



Рисунок 4.8 - Діапазони зміни значень рівнів завантаження мережевих з'єднань в ЧНН залежно від відносної тривалості часу найбільшого навантаження для максимальних рівнів завантаження в діапазоні 95% - 100%

З аналізу представлених на рисунках 4.6 - 4.8 графіків можна помітити, що:

- мінімальні значення рівнів завантаження мережевих з'єднань в ЧНН досягають встановлених діапазонів значень максимальних рівнів завантаження при значеннях ВНН, рівних декільком десяткам інтервалів часу знімання статистичних даних

- максимальні значення рівнів завантаження мережевих з'єднань в ЧНН можуть відразу знаходитися в заданих діапазонах значень максимальних рівнів завантаження або досягати їх через деякий час

- зі збільшенням значень максимальних рівнів завантаження, середні значення рівнів завантаження мережевих з'єднань в ЧНН досягають заданих значень максимальних рівнів завантаження через все триваліший час.

На графіків на рисунках 4.6 - 4.8 можна зробити висновок, що:

- використання значень рівнів завантаження мережевих з'єднань в ЧНН для виявлення «сплесків» значень рівнів завантаження тривалістю значно менше години, що характерно для сучасних мереж зв'язку, не дозволяє своєчасно виявляти проблеми із смугою пропускання мережевих з'єднань

- складність виявлення проблем із смугою пропускання мережевих з'єднань при використанні значень рівнів завантаження мережевих з'єднань в ЧНН зростає з ростом величини «сплесків» значення рівня завантаження і зменшення їх тривалості

- для збільшення оперативності і точності контролю виникнення проблем з пропускнуою спроможністю мережевих з'єднань потрібний перехід на аналіз значень рівнів завантаження на інтервалах часу максимально наближених по тривалості до допустимої тривалості часу проблем із смугою пропускання мережевих з'єднань.

На рисунках 4.9 і 4.10 представлені графіки залежностей значень КПС від абсолютної і відносної (відносно добового інтервалу часу) величин ВНН.

Представлені графіки описують один і той же набір мережевих з'єднань. Аналіз графіків показує, що більшість мережевих з'єднань досліджуваної мережі зв'язку мають значення ВНН не більше 3-4 годин при максимальній тривалості ВНН о 16,5 години. При цьому відносне значення ВНН, визначуване як відношення сумарної тривалості перевищення значеннями рівня завантаження мережевого з'єднання порогового значення 70% за час наявності статистичних даних на добовому інтервалі часу досягає 100%, що свідчить про наявність постійного перевищення рівнем завантаження значення 70% на усьому інтервалі часу передачі даних по мережевому з'єднанню.

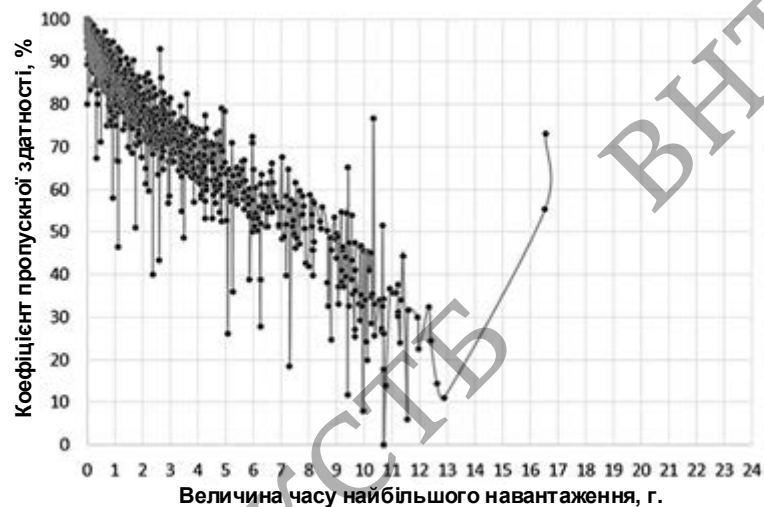


Рисунок 4.9 - Залежність значень коефіцієнта пропускної спроможності від абсолютної величини часу найбільшого навантаження

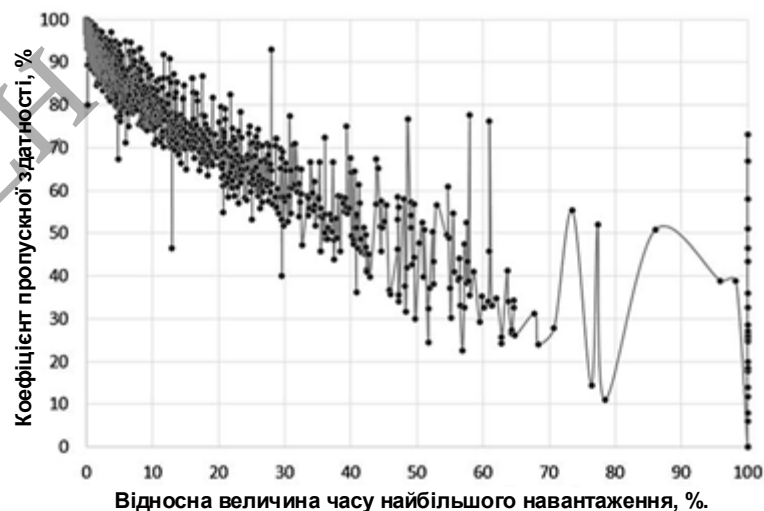


Рисунок 4.10 - Залежність значень коефіцієнта пропускної спроможності від відносної величини часу найбільшого навантаження

Використання відносних значень ВНН обумовлене тим, що такі значення дозволяють вирішити наступні завдання:



- проводити порівняльну оцінку якості роботи мережевих з'єднань, у яких фактичний час роботи/використання мережевого з'єднання для передачі трафіку може бути будь-яким залежно від потреб з боку користувачів послуг зв'язку

- набувати порівнянних значень КПС і ВНН для мережевих з'єднань незалежно від фактичної абсолютної величини часу використання мережевого з'єднання для передачі пакетного трафіку.

Як було вказано раніше, графік зміни значень КПС окремого мережевого з'єднання дозволяє визначити стабільність завантаження мережевого з'єднання по добових інтервалах часу. Використання значень КПС і ВНН дозволяє зручніше виконувати аналіз якості роботи мережевих з'єднань за досить тривалий інтервал часу.

### 4.3. Оцінка якості роботи пакетних черг

Якість роботи мережевих з'єднань на добовому інтервалі часу оцінюється з використанням наступних інтегральних показників:

- коефіцієнт якості пріоритетних черг (ККПЧ)
- коефіцієнт якості непріоритетних черг (ККНЧ).

Значення ККПЧ і ККНЧ є показниками для оптимізації втрат мережевого з'єднання при передачі пакетів даних [17], де величини перевищення значеннями рівня скидання пакетів даних встановленого порогового значення на інтервалі часу знімання статистичних даних характеризують величину динамічних втрат пакетів даних за інтервал часу знімання статистики при обробці трафіку в пакетних чергах.

Значення ККПЧ і ККНЧ формуються у вигляді одиничних значень, отриманих за добовий інтервал часу проведення вимірів з використанням однопорогової методики розрахунку інтегральних показників.

На рисунках 4.11 і 4.12 представлені графік зміни середнього значення рівня скидання пакетів в пакетних чергах від рівня завантаження мережевого з'єднання в ЧНН і графік зміни максимального значення рівня скидання пакетів в пакетних чергах (значення рівня скидання за інтервал часу знімання статистичних даних) від рівня завантаження мережевого з'єднання в ЧНН.

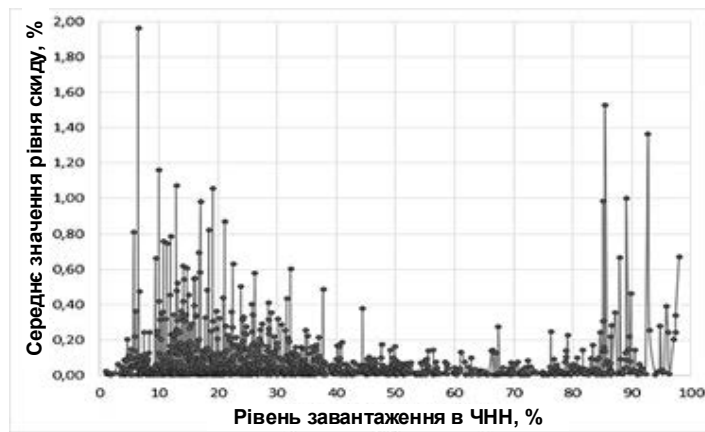


Рисунок 4.11 - Залежність середнього значення рівня скидання пакетів від рівня завантаження в ЧНН

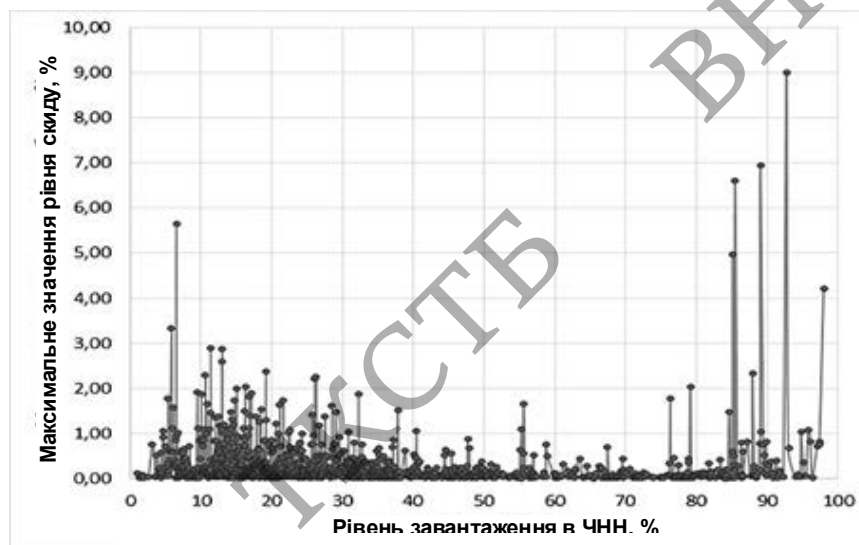


Рисунок 4.12 - Залежність максимального значення рівня скидання пакетів від рівня завантаження в ЧНН

Розмір вибірки склав 10000 мережових з'єднань рівня доступу. Використання рівня завантаження в ЧНН для оцінки рівня скидання обумовлене необхідністю зіставлення середніх і максимальних значень рівня скидання в умовах високого завантаження мережового з'єднання.

З аналізу графіків на рисунках 4.11 і 4.12 видно, що для мережових з'єднань на рівні доступу характерно наступне:

- при передачі пакетного трафіку через мережове з'єднання спостерігаються 2 області значень рівня завантаження, від 5% до 40% і більше 75%, в яких достатня більшість кількості значень рівня скидання перевершує встановлене порогове значення 0,1%
- найбільші «сплески» значень рівня скидання пакетів знаходяться в області високих значень рівня завантаження мережового з'єднання
- в середньому найбільші значення рівня скидання пакетів доводяться на

рівні завантаження менше 50%, що вказує на наявність в мережевих з'єднаннях доступу і агрегації високих значень коефіцієнта пачечности при низьких рівнях завантаження

- у області порогового значення рівня завантаження спостерігаються найменші за величиною «сплески» значень рівня скидання

- максимальні і середні значення рівня скидання не дають однозначної картини величини/об'єму скидання пакетів в мережевому з'єднанні за інтервал часу проведення вимірів

- значення рівня скидання менш встановленого порогового значення не представляють інтерес з причини того, що такі значення не чинять вплив на якість передачі даних в інтересах послуг зв'язку, що надаються.

З урахуванням вищевикладеного можна зробити наступні висновки:

- Для порівняння продуктивності мережевих з'єднань з однаковими максимальними, мінімальними і середніми значеннями рівня скидання необхідно враховувати характер розподілу значень рівня скидання між максимальним і пороговим значеннями, тобто робити оцінку величини перевищення значеннями рівня скидання встановленого порогового значення.

- Найкращою оцінкою розподілу величин рівня скидання на інтервалі значень для проведення порівняльної оцінки якості роботи мережевих з'єднань являється сума значень рівня скидання в відповідному інтервалі значень для кожного мережевого з'єднання.

- Інтервали часу для формування значень рівня скидання слід вибрати мінімально можливими з урахуванням завантаження мережевого обладнання процесом вивантаження статистичних даних для розрахунку значень нормативних показників якості. Вибрані інтервали часу повинні по тривалості перевищувати мінімальні інтервали часу, за які відбувається заповнення пакетних черг передаваними пакетами даних для забезпечення виявлення переповнювання пакетної черги. Наразі такі інтервали часу мають рекомендовану тривалість від декількох секунд [16] до декількох хвилин.

Для формування порівнянних оцінок скидання пакетів даних в мережевих з'єднаннях необхідно використовувати для оцінки якості роботи мережевих з'єднань мережі зв'язку однакові інтервали часу для формування значень нормативних показників якості.

Таким чином, для проведення порівняльної оцінки якості роботи мережевих з'єднань в плані оцінки величини скидання пакетів даних за інтервал часу проведення вимірів необхідно враховувати зміну значень рівня скидання вище встановленого порогового значення, тобто найбільш оптимальне використання для цієї мети значень ККПЧ і ККНЧ.

Досить серйозне перевищення рівнем скидання пакетів порогового значення

при низьких значеннях рівня завантаження характерно для мережевих з'єднань на рівнях доступу мережі зв'язку. Це обумовлено спробами з боку призначеного для користувача мережевого обладнання передати досить велику кількість даних, які повністю не поміщаються у буфер пакетної черги, за дуже короткий інтервал часу. Така поведінка з боку мережі користувача характерно у випадках передачі даних для сервісів обміну короткими повідомленнями (сервіси відправки СМС, Viber, WhatsUp і тому подібне), а також для датчикових систем, працюючих відповідно до концепції Інтернету Речей. Збільшення розміру пакетної черги понад визначений розмір неможливо, оскільки це призведе до тривалих затримок пакетів даних в пакетній черзі мережевого порту і зростання у результаті загального часу затримки в передачі пакетів між відправником і одержувачем зверху допустимого порогового значення.

Для рівнів агрегації і ядра в мережевій архітектурі значення рівня скидання зверху порогового значення в основному спостерігаються при високих значеннях рівня завантаження мережевих з'єднань, оскільки «сплески» інтенсивності пакетного трафіку при низьких значеннях рівня завантаження вже «згладжені» пакетними чергами на мережевому устаткуванні рівня доступу.

#### 4.4. Оцінка якості роботи мережевих з'єднань

Коефіцієнт якості мережевого з'єднання (ККМЗ) дозволяє проводити оцінку міри придатності мережевого з'єднання для надання послуг зв'язку різного типу залежно від величини рівня помилок і тривалості перевищення значенням рівня помилок встановленого порогового значення.

Значення ККМЗ є показником для оптимізації збоїв в роботі каналної інфраструктури мережевих з'єднань, де величини перевищення значеннями рівня помилок при передачі пакетів даних встановленого порогового значення на інтервалі часу знімання статистичних даних характеризують величину динамічної помилки в роботі каналної інфраструктури по обробці передаваних по каналу зв'язку пакетних даних за інтервал часу знімання статистичних даних.

Залежно від вимог послуг зв'язку до рівнів помилок при передачі пакетного трафіку в інтересах цих послуг зв'язку можна умовно виділити наступні основні класи пакетного трафіку:

- трафік передачі даних реального часу
- трафік передачі даних з високим пріоритетом
- трафік передачі даних з низьким пріоритетом.

Значення ККМЗ для кожного класу трафіку формуються у вигляді одиничних значень, отриманих за добовий інтервал часу проведення вимірів з використанням

багатопорогової методики розрахунку інтегральних показників. Суть багатопорогової методики полягає в тому, що отримані на інтервалі часу зняття статистичних даних значення рівня помилок оцінюються з використанням різних порогових значень залежно від класу трафіку. На рисунку 4.13 представлені графіки зміни значень ККМЗ для різних класів пакетного трафіку отримані з системи моніторингу продуктивності мережевих з'єднань оператора зв'язку.

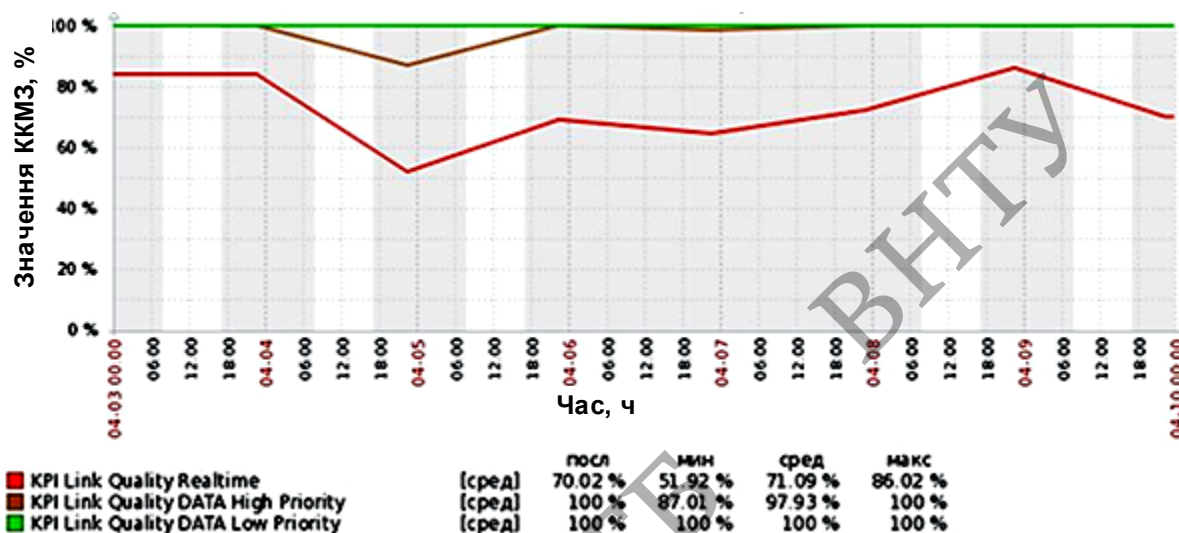


Рисунок 4.13 - Графіки зміни значень коефіцієнта якості мережевого з'єднання для різних класів пакетного трафіку

Значення ККМЗ для різних класів пакетного трафіку позначені на графіці як: «KPI Link Quality Realtime» для трафіку передачі даних реального часу, «KPI Link Quality DATA High Priority» для трафіку передачі даних з високим пріоритетом, «KPI Link Quality DATA Low Priority» для трафіку передачі даних з низьким пріоритетом. При розрахунку значень ККМЗ порогове значення для рівня помилок рівне 0,0001% ( $1E-6$ ) для трафіку передачі даних реального часу, 0,1% ( $1E-3$ ) для передачі даних з високим пріоритетом, 1% ( $1E-2$ ) для передачі даних з низьким пріоритетом. Таким чином, за результатами виміру значень нормативного показника якості за час проведення вимірів виконується оцінка придатності мережевого з'єднання для передачі пакетного трафіку цих різних класів.

Для ухвалення підсумкового рішення про якість роботи мережевого з'єднання на підставі декількох значень ККМЗ враховується наявність передачі через мережеве з'єднання за інтервал часу проведення вимірів пакетного трафіку відповідного класу. З аналізу графіків значень ККМЗ на рисунку 4.13 видно, що мережеве з'єднання не придатне для передачі трафіку даних реального часу. При цьому є присутнім погіршення якості роботи мережевого з'єднання для випадку передачі трафіку даних з високим пріоритетом, тобто мережеве з'єднання не бажане, але можна у разі потреби використовувати для передачі трафіку даних з

високим пріоритетом. Відносно передачі трафіку даних з низьким пріоритетом мережеве з'єднання має 100% якість. Якщо через мережеве з'єднання необхідно передавати трафік даних реального часу, то необхідно проводити заходи по поліпшенню якості роботи мережевого з'єднання. Якщо через мережеве з'єднання необхідно передавати трафік даних з високим пріоритетом, то мережеве з'єднання стає в чергу по поліпшенню якості роботи після мережевих з'єднань, що мають проблеми з якістю при передачі трафіку реального часу. Якщо через мережеве з'єднання здійснюється передача трафіку даних з низьким пріоритетом, то підвищувати якість роботи мережевого з'єднання не вимагається. Аналізуючи зміну значень ККМЗ для відповідного класу трафіку даних за деякий інтервал часу можна приймати рішення про використання мережевого з'єднання для передачі через нього трафік даних відповідного класу, тобто використовувати значення ККМЗ політик управління маршрутизацією трафіку в мережі зв'язку.

На рисунку 4.14 представлений графік зміни значень рівня помилок на приймальному порту мережевого з'єднання залежно від рівня завантаження на інтервалі часу знімання статистичних даних. Пороговим значенням для рівня помилок є значення 0,01% (1E-4)[16]. Перевищення значенням рівня помилок порогового значення починається при перевищенні рівнем завантаження порогового значення 70%.

39



Рисунок 4.39 - Залежність рівня помилок від рівня завантаження

Деяке зниження рівня помилок з ростом значень рівня завантаження пояснюється тим, що протокол Ethernet є асинхронним протоколом передачі даних для якого при передачі кожного наступного кадру відбувається відновлення синхронізації між передавачем і приймачем шляхом передачі на початку кожного мережевого кадру спеціальної синхронізуючої послідовності (преамбули). З ростом рівня завантаження зменшується тривалість паузи між передачею двох сусідніх мережевих кадрів і зі зменшенням тривалості пауз зменшується вірогідність розсинхронізації тактових генераторів передавача і приймача.

Регулююча дія значення ККМЗ при використанні для оцінки якості роботи мережевих з'єднань в мережах з комутацією пакетів полягає в наступному:

- оцінка об'єму пакетів даних, втрачених при передачі через мережеве з'єднання в наслідок помилок в роботі каналної інфраструктури, який може бути використаний при класифікації мережевих з'єднань з метою вибору/маршрутизації для передачі критичного до втрат пакетного найменш схильного до помилок мережевого з'єднання

- класифікація мережевих з'єднань для проведення заходів технічного характеру по поліпшенню якості роботи мережі зв'язку

- оцінка якості роботи мережевих з'єднань на фізичному рівні.

#### 4.5. Висновки

За результатами практичного застосування інтегральних показників якості для забезпечення якості передачі даних в мультисервісній мережі зв'язку можна зробити наступні висновки:

1. Інтегральні показники якості дозволяють оцінити міру погіршення якості роботи мережевих з'єднань відносно передаваних по мережевому з'єднанню класів і типів трафіку по значеннях оцінюваних нормативних показників якості на інтервалі часу проведення оцінки.

2. Інтегральні показники якості дозволяють виконати порівняльний аналіз якості роботи мережевих з'єднань за однотипними нормативними показниками якості або по набору показників якості.

3. Порогове значення рівня завантаження в 70% визначене досить коректно. При перевищенні цього значення рівня завантаження спостерігається зростання погіршення якості роботи мережевих з'єднань по передачі пакетного трафіку.

4. Залежність значень інтегральних показників якості від рівня завантаження мережевого з'єднання дозволяє визначити рівні завантаження із стабільною якістю передачі пакетного трафіку.

5. Багатопорогова оцінка якості роботи мережевого з'єднання дозволяє проводити порівняльну оцінку якості роботи мережевого з'єднання по передачі пакетного трафіку різних класів і сервісів.

6. Результати багатопорогової оцінки якості роботи мережевих з'єднань відносно передачі трафіку різних класів і типів можуть використовуватися для маршрутизації пакетного трафіку в цілях забезпечення найкращої якості передачі для трафіку відповідного типу і класу.

Набір значень інтегральних показників якості дозволяє визначити необхідні зміни в мережі зв'язку для покращення якості передачі пакетного трафіку або методи усунення виниклих погіршень якості передачі пакетного трафіку.

## 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 «Підвищення продуктивності мультисервісної транспортної мережі при передаванні пакетного трафіку даних» 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 «Підвищення продуктивності мультисервісної транспортної мережі при передаванні пакетного трафіку даних» 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 (ПІБ, 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	64	64
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	50	0	0
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)	0	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>		<b>59,3</b>		

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	0	0	0
Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	57	58	59
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>	58,0		

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 [36]:

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

де  $k_{\text{нов}}$ ,  $k_{\text{теор}}$  - показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи,  $k_{\text{нов}} = 59,3$ ,  $k_{\text{теор}} = 58,0$  балів;

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

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}} = 0,6 \cdot 59,3 + 0,4 \cdot 58,00 = 58,80 \text{ балів.}$$

Визначення характеристики показника  $E_{\text{нау}}$  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 «Підвищення продуктивності мультисервісної транспортної мережі при передаванні пакетного трафіку даних», даний рівень становить 58,80 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 «Підвищення продуктивності мультисервісної транспортної мережі при передаванні пакетного трафіку даних», 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 [36]:

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

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.

$$Z_o = 11110,00 \cdot 19 / 21 = 10051,90 \text{ грн.}$$

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	11110,00	529,05	19	10051,90
Інженер-розробник телекомунікаційної мережі	10110,00	481,43	16	7702,86
Науковий співробітник	10740,00	511,43	9	4602,86
Технік-асистент	6500,00	309,52	11	3404,76
Всього				25762,38

### Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників ( $Z_p$ ) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Підвищення продуктивності мультисервісної транспортної мережі при передаванні пакетного трафіку даних» 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) [36];

$K_c$  – 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.

$$C_1 = 2379,00 \cdot 1,10 \cdot 1,65 / (21 \cdot 8) = 25,70 \text{ грн.}$$

$$Z_{p1} = 25,70 \cdot 4,20 = 107,95 \text{ грн.}$$

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
Встановлення телекомунікаційного устаткування	4,20	2	1,10	25,70	107,95
Інсталяція програмного інтерфейсу передавача	4,00	5	1,70	39,72	158,88
Інсталяція програмного інтерфейсу приймача	4,00	4	1,50	35,05	140,19
Моделювання обладнання транспортної мережі та мережі доступу	6,20	2	1,10	25,70	159,35
Підготовка приміщення для досліджень	8,00	4	1,50	35,05	280,38
Налаштування устаткування системи	3,40	5	1,70	39,72	135,05
Демонтаж обладнання	3,80	3	1,35	31,54	119,86
Всього					1101,67

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 11%.

$$Z_{\text{дод}} = (25762,38 + 1101,67) \cdot 11 / 100\% = 2955,05 \text{ грн.}$$

## 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:

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

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

$$Z_n = (25762,38 + 1101,67 + 2955,05) \cdot 22 / 100\% = 6560,20 \text{ грн.}$$

## 4.2.3 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 «Підвищення продуктивності мультисервісної транспортної мережі при передаванні пакетного трафіку даних».

Витрати на матеріали на даному етапі проведення досліджень в основному пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за допомогою комп'ютерної техніки та створення експериментальних математичних моделей або програмного забезпечення, тому дані витрати формуються на основі витратних матеріалів характерних для офісних робіт.

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.

$$M_1 = 3,00 \cdot 97,00 \cdot 1,1 - 0,000 \cdot 0,00 = 320,10 \text{ грн.}$$

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 офісний	97,00	3,00	0,000	0,00	320,10
Приладдя канцелярське	135,00	4,00	0,000	0,00	594,00
Тонер для картриджа	5555,00	0,02	0,000	0,00	122,21
Папір для записів	42,00	2,00	0,000	0,00	92,40
Органайзер	79,00	3,00	0,000	0,00	260,70
Диск оптичний	12,50	3,00	0,000	0,00	41,25
Всього					1430,66

## 5.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі ( $K_6$ ), які використовують при проведенні НДР на тему «Підвищення продуктивності мультисервісної транспортної мережі при передаванні пакетного трафіку даних», 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, ( $K_j = 1,1 \dots 1,15$ ).

$K_6 = 1 \cdot 1890,00 \cdot 1,11 = 2097,90$  грн.

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.7 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Інтерфейс вузла доступу	1	1890,00	2097,90
Всього			2097,90

## 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:

$$B_{спец} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{пр.i} \cdot K_i, \quad (4.9)$$

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

$C_{пр.i}$  – 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.

$$B_{спец} = 1890,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 2079,00 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.8 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Функціональна модель мережі проводового доступу	1	1890,00	2079,00
Функціональна модель мережі безпроводового доступу	1	1670,00	1837,00
Всього			3916,00

### 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:

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

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

$C_{прог.i}$  – 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.

$$B_{прог} = 5300,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 5830,00 \text{ грн.}$$

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
ОС Windows	1	5300,00	5830,00
Прикладний пакет Microsoft Office	1	5000,00	5500,00
Пакет Visual System Simulator	1	4250,00	4675,00
Пакет Microwave Office	1	2800,00	3080,00
Пакет Matlab 2020	1	3600,00	3960,00
Всього			23045,00

### 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:

$$A_{обл} = \frac{Ц_b}{T_e} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (4.11)$$

де  $Ц_b$  – 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;

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

$$A_{обл} = (18950,00 \cdot 1) / (2 \cdot 12) = 789,58 \text{ грн.}$$

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
Персональний комп'ютер	18950,00	2	1	789,58
Програмно-аналітичний центр обробки та виводу даних	24650,00	2	1	1027,08
Місце дослідника-оператора	6900,00	5	1	115,00
Оргтехніка відображення результатів	8500,00	4	1	177,08
Приміщення лабораторії	235000,00	25	1	783,33
Всього				2892,08

## 5.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

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

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

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  $C_e = 4,10$  грн;

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

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

$$B_e = 0,34 \cdot 120,0 \cdot 4,10 \cdot 0,95 / 0,97 = 167,28 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.11 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Персональний комп'ютер	0,34	120,0	167,28
Програмно-аналітичний центр обробки та виводу даних	0,32	120,0	157,44
Місце дослідника-оператора	0,12	120,0	59,04
Оргтехніка відображення результатів	0,52	20,0	42,64
Всього			426,40

### 5.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Підвищення продуктивності мультисервісної транспортної мережі при передаванні пакетного трафіку даних» 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:

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

де  $H_{cv}$  – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», прийmemo  $H_{cv} = 20\%$ .

$$B_{cv} = (25762,38 + 1101,67) \cdot 20 / 100\% = 5372,81 \text{ грн.}$$

### 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  $H_{cn} = 37,5\%$ .

$$B_{cn} = (25762,38 + 1101,67) \cdot 37,5 / 100\% = 10074,02 \text{ грн.}$$

### 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:

$$I_e = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ie}}{100\%}, \quad (5.15)$$

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

$$I_e = (25762,38 + 1101,67) \cdot 55 / 100\% = 14775,23 \text{ грн.}$$

### 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:

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

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

$$B_{нзв} = (25762,38 + 1101,67) \cdot 110 / 100\% = 29550,45 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Підвищення продуктивності мультисервісної транспортної мережі при передаванні пакетного трафіку даних» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{од} + Z_n + M + K_v + B_{спец} + B_{прг} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сн} + I_v + B_{нзв}. \quad (4.17)$$

$$B_{заг} = 25762,38 + 1101,67 + 2955,05 + 6560,200796 + 1430,66 + 2097,90 + 3916,00 + 23045,00 + 2892,08 + 426,40 + 5372,81 + 10074,02 + 14775,23 + 29550,45 = 129959,85 \text{ грн.}$$

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  $\eta=0,8$ .

$$ЗВ = 129959,85 / 0,8 = 162449,81 \text{ грн.}$$

### 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 «Підвищення продуктивності мультисервісної транспортної мережі при передаванні пакетного трафіку даних» 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. Приймемо  $I=4$ ;

$n$  – 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. Приймемо  $n=2$ ;

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

$R$  – 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  $R=1$ . Приймемо  $R=3$ ;

$B$  – вартість науково-дослідної роботи, тис. грн. Приймемо  $B=162449,81$  грн;

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

Визначення показників  $I$ ,  $n$ ,  $T_c$ ,  $R$ ,  $B$ ,  $t$  здійснюється експертним шляхом або на основі нормативів [36].

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t} = 4^2 \cdot 2 \cdot 3 / 162 \cdot 0,08 = 7,09.$$

Якщо  $K_p > 1$ , то науково-дослідну роботу на тему «Підвищення продуктивності мультисервісної транспортної мережі при передаванні пакетного трафіку даних» можна вважати ефективною з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

#### 5.4 Висновок до розділу 5

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Підвищення продуктивності мультисервісної транспортної мережі при передаванні пакетного трафіку даних» складають 162449,81 грн. Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Підвищення продуктивності мультисервісної транспортної мережі при передаванні пакетного трафіку даних» 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

Аналіз можливості підвищення продуктивності мультисервісної транспортної мережі при передаванні пакетного трафіку даних відбуватиметься в приміщенні, яке обладнане робочими місцями з ПК. На розробника можуть мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори (згідно ГОСТ 12.0.003-74 [2]):

Фізичні:

підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;

підвищена чи понижена температура повітря робочої зони;

підвищений рівень шуму на робочому місці;

підвищений рівень електромагнітного випромінювання;

підвищена чи понижена іонізація повітря;

недостатня освітленість робочої зони.

Психофізіологічні:

статичне перевантаження;

розумове перевантаження;

емоційні перевантаження.

Відповідно до визначених факторів здійснюємо планування щодо безпечного виконання роботи.

### 6.1 Технічні рішення з безпечного виконання робіт.

Технічні рішення з організації робочого місця під час проектування.

Від того, яким чином організоване робоче місце, багато в чому залежить ефективність праці робітника, незалежно від тієї посади, яку вони займають. Завдання раціональної організації робочих місць включає в себе не тільки устаткування його усім необхідним відповідно до змісту та характеру роботи, яким виконується, але й раціональне його розміщення, створення комфортних умов праці.

Організація робочого місця – це сукупність заходів щодо устаткування робочого місця засобами і знаряддями праці та їх розміщення у визначеному порядку

Організація робочого місця передбачає:

- правильне розміщення робочого місця у виробничому приміщенні;
- вибір ергономічно обгрунтованого робочого положення, виробничих меблів з урахуванням антропометричних характеристик людини;
- раціональне компонування обладнання на робочих місцях;
- урахування характеру та особливостей трудової діяльності.

Велике значення надається характеристикам робочого крісла. Воно виконується відповідно до НПАОП 0.00-7.15-18 [7]. При проектуванні крісла виходять з того, що при будь-якому робочому положенні дослідника його поза повинна бути фізіологічно правильно обгрунтованою, тобто положення частин тіла повинно бути оптимальним. Для задоволення вимог фізіології, що впливають з аналізу положення тіла людини в положенні сидючи, конструкція робочого сидіння повинна відповідати таким основним вимогам:

- допускати можливість зміни положення тіла, тобто забезпечити вільне переміщення корпусу і кінцівок тіла один щодо одного;
- допускати регулювання висоти в залежності від росту працюючої людини (в межах від 400 до 550 мм);
- мати злегка увігнуту поверхню, мати невеликий нахил, тому поверхню сидіння рекомендується робити м'якою, передній край закругленим, а кут нахилу спинки робочого крісла - регульованим.

Електробезпека приміщення

Приміщення, де здійснювалася робота за небезпекою ураження електричним струмом можна віднести до 1 класу, тобто це приміщення без підвищеної небезпеки (сухе, мало заповишене, з нормальною температурою повітря, ізольованими підлогами і малим числом заземлених приладів) [8].



На робочому місці з усього обладнання металевим є лише корпус системного блоку комп'ютера, в якого крім робочої ізоляції передбачений елемент для заземлення та провід з заземлюючий жилою для приєднання до джерела живлення.

Електротехнічне устаткування: апаратури, кабелі й керівництва, розподільні пристрої всіх видів і напруг по своїх номінальних параметрах задовольняє умовам роботи як при нормальних режимах, так і при коротких замиканнях, перенапругах, перевантаженнях.

Для забезпечення безпеки встановлюються наступні технічні рішення:

- Забезпечено недоступність струмопровідних частин (застосована схована проводка, кабель прокладений у спеціальних ринвах).
- Забезпечено ізолювання струмопровідних частин з використанням ізоляції, опір якої не нижче 1кОм/В, передбачені постійний контроль і профілактика ізоляції.
- Напруга освітлювальної мережі приймається 220 В із заземленою нейтраллю.

## 6.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

### Мікроклімат

Властивість організму людини підтримувати тепловий баланс із довкіллям називається терморегуляцією. Нормальні фізіологічні процеси можливі лише тоді, коли тепло, що виділяється організмом людини, постійно відводиться у довкілля.

Мікрокліматичні умови, за яких це можливо, вважаються найкращими. Кількість тепла, що утворюється в організмі працівника, залежить від фізичних навантажень, а рівень тепловіддачі – від мікрокліматичних умов.

Підвищення продуктивності мультисервісної транспортної мережі при передаванні пакетного трафіку даних згідно гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [1] за енерговитратами відноситься

до категорії І б. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії наведені в табл.6.1 (відповідно ДСН 3.3.6.042-99 [6]).

Таблиця 6.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	40-60	0,1-0,3
Холодний	20-24	75	0,2

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату передбачено:

1. Система опалювання та енергозберігаюча обробка приміщення.
2. Установка в приміщенні припливно-витяжної вентиляції.
3. Систематичне вологе прибирання.

Склад повітря робочої зони

Шкідлива речовина – це речовина, що контактуючи з організмом людини, може викликати захворювання чи відхилення у стані здоров'я як під час впливу речовини, так і в подальший період життя теперішнього і наступних поколінь

ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 6.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Формальдегід	0,035	0,03	2
Фенол	0,01	0,01	3
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	1

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено: механічна вентиляція, регулярне прибирання та заборона заходити у приміщення в верхньому одязі.

Виробниче освітлення

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні, які необхідно забезпечити під час виконання роботи зазначені у таблиці 2.4 (відповідно ДБН В.2.5-28-2006 [4]):

Таблиця 6.3 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, Лк		КПО, %			
						Штучне освітлення	Природне освітлення	Сумісне освітлення		Верхнє або верхнє	Бокове
								Верхнє або	Бокове		
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Для забезпечення достатнього освітлення передбачені такі заходи:

- 1) Систематичне очищення скла від бруду – не рідше двох разів на рік.
- 2) Система природного освітлення доповнюється загальним штучним освітленням, що створюється за допомогою лед-ламп.

#### Виробничий шум

Рівні шуму на робочому місці розробника встановлюються згідно ДСН 3.3.6.037-99 [5].

Під час аналізу підвищення продуктивності мультисервісної транспортної мережі при передаванні пакетного трафіку даних спостерігався шум непостійний

тональний. Допустимі рівні звукового тиску під час виконання роботи повинні відповідати ГС, а рівні звуку  $L_A$  не повинні перевищувати 50 дБА (таблиця 2.5).

Таблиця 6.4 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для забезпечення допустимих параметрів шуму доцільно використовувати комп'ютери з пасивним охолодженням та встановити пластикові вікна, які мають достатню звукоізоляцію.

#### Виробничі випромінювання

Джерелом електромагнітного випромінювання під час виконання роботи є ПК.

У результаті дії ЕМП на людину можливі гострі та хронічні форми порушення фізіологічних функцій організму. Ці порушення виникають в результаті дії електричної складової ЕМП на нервову систему, а також на структуру кори головного та спинного мозку, серцево-судинної системи.

Допустимі значення параметрів електромагнітних випромінювань від монітору комп'ютера згідно СанПіН 2.2.4.1191-03 [11] наведені в табл. 2.6.

Таблиця 6.7 – Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	10 В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	0,3 А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати:	для дорослих користувачів 20кВ/м для дітей 15кВ/м

Для захисту людини від дії електромагнітних випромінювань передбачаються наступні способи і засоби: обмеження часу перебування персоналу в робочій зоні; встановлення раціональних режимів експлуатації установок і роботи працюючого персоналу.

#### Психофізіологічні фактори

Основними показниками важкості праці є: фізичне динамічне навантаження, стереотипні робочі рухи, статичне навантаження, переміщення у просторі. Основними показниками напруженості праці є: тривалість зосередження уваги або щільність сигналів, ступінь ризику для власного життя та життя інших осіб або ступінь відповідальності за життя інших осіб, змінність при роботі виключно в нічну зміну. [1]. Розглянемо деякі нормовані значення до яких потрібно прагнути при організації розпорядку робочого дня та режиму роботи відпочинку для досягнення оптимальних умов. Сенсорні навантаження:

Тривалість зосередження уваги до 50% від загального часу зміни.

Спостереження за екранами відеотерміналів, до 2 годин на зміну.

Монотонність виробничої обстановки, час пасивного спостереження за технологічним процесом менше 75 % від часу зміни.

Тривалість робочого дня 6-7 год.

Змінність роботи – однозмінна робота (без нічної зміни).

#### 6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи мультисервісної транспортної мережі в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

На мережу зв'язку можуть діяти загрозливі чинники НС техногенного характеру. Впливати на її роботу та навіть призвести до виходу з ладу. В свою чергу це може призвести до порушення оповіщення, багатьох жертв серед населення та до великих матеріальних збитків.

В умовах надзвичайних ситуацій, особливого періоду оператори мереж зв'язку, організації в управлінні яких є засоби та мережі, надають можливість використовувати ресурси своїх мереж зв'язку для попередження, локалізації та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, оповіщення населення, проведення мобілізації, забезпечення потреб національної безпеки, розвідки, охорони правопорядку та організації евакуацій. Також надзвичайні ситуації можуть призвести до загибелі людей або значних матеріальних втрат. Тому необхідно

дослідити безпеку роботи мультисервісної транспортної мережі в умовах дії загрозливих чинників НС.

В радіоелектронній апаратурі іонізуючі випромінювання, викликають зворотні і незворотні процеси, внаслідок яких можуть відбуватися порушення роботи електричних елементів схеми, що призводять до виходу з ладу апаратури. Так, проходячи через елементи РЕА, потік гамма-випромінень створює в них вільні носії електричних зарядів, в результаті переміщення яких виникає помилковий імпульс, який призводить до спрацьовування пристрою. При великих дозах випромінювання втрачають працездатність комплектуючі елементи систем радіоелектроніки. В результаті опромінення нейтронним потоком у транзисторах змінюється обернений струм і коефіцієнт підсилення, у конденсаторах знижуються напруги пробою та опір стікання, змінюється провідність і внутрішній нагрів; руйнується електрична ізоляція дотів з полімерних матеріалів. У органічних ізоляційних і діелектричних матеріалах змінюються такі параметри, як: електрична провідність, діелектрична проникність і тангенс кута втрат. [24]

До впливу електромагнітного імпульсу (ЕМІ) мережа мобільного зв'язку теж досить вразлива. ЕМІ ушкоджують напівпровідникові прилади, резистори, конденсатори. ЕМІ представляє велику небезпеку для апаратури, добре захищеної від впливу інших вражаючих факторів. Тому слід пам'ятати про те, що захист елементів мережі мобільного зв'язку від механічних ушкоджень не захищає від впливу ЕМІ і вона може втратити працездатність [25].

Дослідження безпеки роботи мультисервісної транспортної мережі в умовах дії іонізуючого випромінювання

Аварія на мультисервісної транспортної мережі може виникнути внаслідок події виведення з ладу (наприклад, електричного пробою ізоляторів, короткого замикання проводів, збою визначальних програм функціонування, «зараження вірусами» та інших «пошкоджень» інформаційних сигналів і ін.) будь-якої з визначальних «інформаційно небезпечних» систем, які одночасно є складовими конкретної системи зв'язку та телекомунікації або функціонують вкупі з нею.

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 мережа буде працювати з потрібною якістю. Отримані значення занесемо до таблиці 6.8.

Таблиця 6.8 – Граничні рівні радіації елементів мультисервісної транспортної мережі

№	Блоки транспортної мережі	Елементи мережі	$P_{гр}, P$	$P_{гр}, P$
1	Блок живлення	Мікросхема 78L05	$10^5$	$10^5$
		Електрохімічні конденсатори	$10^7 \dots 10^9$	
		Резистор	$10^7$	
		Діод Д226В	$10^{10}$	
2	Блок підсилення	Мікросхема LM386N-3	$10^5$	
		Конденсатор	$10^7 \dots 10^9$	
		Резистор	$10^7 \dots 10^9$	
3	Блок керування	Контролер АРКО-TEL-1	$10^5$	

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 АРКО-TEL-1 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 мережі:

$$t_{\text{доп}} = \left( \frac{P_{гр} \cdot k_{посл} + 2 \cdot P_{1, \max} \cdot \sqrt{t_n}}{2 \cdot P_{1, \max}} \right)^2 = \left( \frac{10^5 \cdot 2 + 2 \cdot 410 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 410} \right)^2 = 59977 \text{ (год)}.$$

Таким чином, допустимий час роботи мережі складатиме 59977 годин або 6 років 309 днів 1 годину при максимальному рівні радіації 410 P/год.

Дослідження безпеки роботи мультисервісної транспортної мережі в умовах дії електромагнітного імпульсу

Критерієм оцінки приймається коефіцієнт безпеки:

$$K_{\sigma_{в(г)}} = 20 \lg \frac{U_{\sigma}}{U_{\sigma(г)}}, \quad (4.1)$$

де  $U_d$  – допустиме коливання напруги живлення;

$U_{B(\Gamma)}$  – напруги, наведені у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах елементної бази.

Система вважається стійкою коли  $K_{B\Gamma i}$  і  $K_{B\Gamma i} \geq 40$  (дБ).

Дослідження здійснюється за дією електричного поля, яке є складовою електромагнітного. Допустимі коливання напруги:

$$U_d = U_{ж} + \frac{U_{ж} N}{100} = 220 + \frac{220 * 5}{100} = 231 \text{ (В)}, \quad (4.2)$$

де  $U_{ж}$  – напруга живлення від електричної мережі;

$N$  – допустиме відхилення напруги в системі.

Зазвичай все обладнання знаходиться у металевому корпусі, і всі кабелі живлення будуть у вертикальному положенні, тому на напругу наведення у горизонтальній струмопровідній частині можна не зважати. Знаходиться напруга наведення у вертикальній струмопровідній частині обладнання, використовуючи формулу для знаходження коефіцієнта безпеки.

$$K_{\text{бб}} = 20 \lg \frac{U_d}{U_{\text{в}}} \Rightarrow U_{\text{в}} = \frac{U_d}{10^{\frac{K_{\text{бб}}}{20}}}; \quad (4.3)$$

$$U_{\text{в}} = \frac{231}{10^{\frac{40}{20}}} = 2,31 \text{ (В)}; \quad (4.4)$$

З цього можна зробити наступний висновок – для безпечної роботи мультисервісної транспортної мережі необхідно, щоб напруги наведення не перевищували 2,31 (В).

За значенням напруги наведення складові напруженості електричного поля становитимуть:

$$E_z = \frac{U_{\text{в}}}{l_{\text{в}}}; \quad (4.5)$$

$$E_{\text{в}} = \frac{E_z}{10^{-3}}, \quad (4.6)$$

де  $l_{\text{в}}$  – загальна довжина струмопровідних частин обладнання, кабелів живлення.

Середня за величиною мультисервісної транспортної мережі містить в собі багато комунікаційного обладнання, тому загальна довжина струмопровідних частин складає в середньому 50м.



$$E_2 = \frac{U_\epsilon}{l_\epsilon} = \frac{2,31}{50} = 0,0462 \text{ (В)}; \quad (4.7)$$

$$E_\epsilon = \frac{E_2}{10^{-3}} = \frac{0,0462}{10^{-3}} = 46,2 \text{ (В)}. \quad (4.8)$$

Для безпечної роботи мультисервісної транспортної мережі в умовах дії електромагнітного імпульсу вертикальна складова частина напруженості електричного поля повинна бути меншою 46,2 (В).

Розробка заходів по підвищенню безпеки роботи мультисервісної транспортної мережі в умовах дії загрозливих чинників НС

Для покращення безпеки роботи мультисервісної транспортної мережі необхідно виконувати заходи, які допоможуть зберегти стійкість мережі зв'язку до відмов. Серед таких заходів 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 безпечної роботи мультисервісної транспортної мережі в умовах дії електромагнітного імпульсу вертикальна складова частина напруженості електричного поля повинна бути меншою 46,2 (В). При виконанні таких заходів безпеки, мережа мобільного зв'язку буде працювати безвідмовно тривалий час, та не буде виникати непередбачуваних відмов.

## ВИСНОВОК

В ході проведення кваліфікаційної роботи проведені дослідження існуючих методів контролю якості роботи пакетної мережі з точки зору їх якнайповнішої відповідності завданню контролю якості роботи пакетної мультисервісної мережі зв'язку з урахуванням особливостей роботи технології пакетної комутації. При цьому приділялася увага можливості отримання оцінки впливу якості роботи мережевих з'єднань пакетної мережі на формування результатів призначеної для користувача оцінки (QoE) якості послуги зв'язку, в інтересах якого по мережевих з'єднаннях передається пакетний трафік, і можливості контролю виконання угод про якість послуг зв'язку, що надаються, для кінцевих користувачів (виконання вимог SLA). Основні результати дослідження полягають в наступному:

1. Дослідження роботи пакетних мереж зв'язку показало необхідність інтегрального контролю якості роботи мережевих з'єднань на інтервалі часу надання послуг або інтервалі часу, що відповідає періодам використання послуг з боку кінцевих користувачів. Існуючі нормативні показники якості формують значення оцінки якості на інтервалах часу, які, як правило, не відповідають вищезгаданім часовим інтервалам.

2. Основним показником якості передачі даних по мережевому з'єднанню в пакетній мережі являється рівень завантаження фізичного або логічного мережевого з'єднання і пакетного буфера на устаткуванні зв'язку. При цьому для рівня завантаження основними параметрами являються величина рівня завантаження і тривалість часу перевищення значенням рівня завантаження встановленого порогового значення, які чинять вплив на результати застосування функцій полісинга і шейпінгу до пакетного трафіку, що чинять вплив на значення нормативних показників якості.

3. Визначені показники якості роботи мереж з комутацією пакетів, використовувані в мережах операторів зв'язки і що підлягають заміні або модернізації.

4. Сформована математична модель і отримані розрахункові формули для набуття значень інтегральних показників якості з урахуванням профілю пакетного трафіку і порогових значень нормативних показників якості для різних послуг зв'язку (класів і типів пакетного трафіку). Формування інтегральних показників якості робиться з урахуванням методів статистичної оцінки якості і враховує (забезпечує спадкоємність) значення нормативних показників якості для різних послуг зв'язку.

5. Значення інтегральних показників якості дозволяють робити порівняльну оцінку якості роботи мережевих з'єднань в мережі з комутацією пакетів і

формування на підставі результатів порівняльної оцінки організаційно-технічних заходів по зміні конфігурації мережевого устаткування, розвитку або модернізації мережі зв'язку. Підтримку значень інтегральних показників якості рівними 100% дозволяє збільшити в середньому в 1,2 разу об'єм даних, переданий по мережевому з'єднанню із забезпеченням необхідних вимог до якості передачі пакетного трафіку, в порівнянні з використанням традиційних показників NR.

6. Результати багатопорогової оцінки якості роботи мережевих з'єднань відносно передачі трафіку різних класів і типів можуть використовуватися для маршрутизації пакетного трафіку в цілях забезпечення найкращої якості передачі для трафіку відповідного типу і класу.

7. Значення інтегральних показників дозволяють оцінювати вплив якості роботи мережевих з'єднань в мережі з комутацією пакетів на формування результатів призначеної для користувача оцінки (QoE) якості послуги зв'язку і можливості контролю виконання угод про якість послуг зв'язку, що надаються, для кінцевих користувачів (SLA).

Також в п'ятому розділі МКР розглядалися питання економічної доцільності проведення наукових досліджень в рамках магістерської роботи. Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи є середній, а дослідження актуальними.

В шостому розділі проведений аналіз небезпечних та шкідливих виробничих чинників які чинять вплив на дослідників під час проведення науково-дослідних робіт. Також розглянуті технічні рішення з організації робочого місця.

Загалом в МКР виконані всі поставлені в технічному завданні задачі.

ФІРЕН

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Janevski, T. QoS for Fixed and Mobile Ultra-Broadband / T. Janevski. - John Wiley & Sons Ltd, 2019. - 326 p.
2. Recommendation ITU-T Y.2021. IMS for Next Generation Networks. - 2006.
3. Recommendation ITU-T Y.2011. General principles and general reference model for Next Generation Networks. - 2004.
4. Recommendation ITU-T X.210. Open System Interconnection Layer Service Definition Conventions. - 1988.
5. Recommendation ITU-T Y.1223. Interworking guidelines for transporting assured IP flows. - 2008.
6. Recommendation ITU-T G.8010/Y.1306. Architecture of Ethernet layer networks. 2004. Гольдштейн, Б. С. Сети связи : учебник для ВУЗов / Б. С. Гольдштейн, Г. Г. Яновский, Н. А. Соколов. - СПб. : БХВ-Петербург, 2010. - 400 с.
7. Гольдштейн, Б. С. Сети связи пост-NGN / Б. С. Гольдштейн, А. Е. Кучерявый. - СПб. : БХВ-Петербург, 2014. - 160 с.
8. Кучерявый, Е. А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет / Е. А. Кучерявый. - СПб. : Наука и Техника, 2004. - 336 с.
9. Кучерявый, А. Е. Сети связи общего пользования: тенденции развития и методы расчета / А. Е. Кучерявый, А. И. Парамонов, Е. А. Кучерявый. - М. : ФГУП ЦНИИС, 2008. - 296 с.
10. Степанов, С. Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей / С. Н. Степанов. - М. : Эко-Трендз, 2010. - 392 с.
11. Битнер, В. И. Нормирование качества телекоммуникационных услуг : учебное пособие / В. И. Битнер, Г. Н. Попов ; под ред. профессора В. П. Шувалова. - М. : Горячая линия - Телеком, 2004. - 312 с.
12. Битнер, В. И. Принципы и протоколы взаимодействия телекоммуникационных сетей : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 210406 - "Сети связи и системы коммутации" / В. И. Битнер. - М. : Горячая Линия - Телеком, 2008. - 272 с.
13. Шувалов, В. П. Обеспечение показателей надежности телекоммуникационных систем и сетей / В. П. Шувалов, М. М. Егунов, Е. А. Минина. - М. : Горячая линия - Телеком, 2015. - 168 с.
14. Нетес, В. А. Основы теории надежности : учебное пособие для вузов / В. А. Нетес. - М. : Горячая Линия - Телеком, 2019. - 102 с.
15. Попков, Г. В. Математические основы моделирования сетей связи : учебное пособие для вузов / Г. В. Попков, В. К. Попков, В. В. Величко. - М. : Горячая

линия - Телеком, 2014. - 183 с.

16. Модели для анализа качества обслуживания в сетях связи следующего поколения: учеб. пособие / Г. П. Башарин, Ю. В. Гайдамака, К. Е. Самуйлов, Н. В. Яркина - М. : РУДН, 2008. - 137 с.
17. McCabe, J. D. Network Analysis, Architecture, and Design / J. D. McCabe - 3-ed. USA, Burlington : Morgan Kaufmann, 2007. - 473 p.
18. Claise, B. Network Management: Accounting and Performance Strategies / B. Claise, R. Wolter. - USA, Indianapolis : Cisco Press, 2007. - 672 p.
19. Ackerley, R. Telecommunications Performance Engineering / R. Ackerley. - UK, London : Institution of Electrical Engineers, 2004. - 288 p.
20. Cole, R. G. Wide-Area Data Network Performance Engineering / R. G. Cole, R. Ramaswamy. - USA : Boston, Artech House, 2000. - 417 p.
21. Recommendation ITU-T E.419. Business oriented key performance indicators for management of networks and services. - 2006.
22. Recommendation ITU-T X.140. General Quality of Service Parameters for Communication via Public Data Networks. - 1992.
23. Recommendation ITU-T X.213. Information technology – Open Systems Interconnection – Network service definition. - 2001.
24. Moller, S. Quality of Experience : Advanced Concepts, Applications and Methods / S. Moller, A. Raake. - Springer International Publishing, 2014. - 434 p.
25. Technical Report ETSI TR 102-643 V1.0.2 (2010-01). Human Factors (HF); Quality of Experience (QoE) requirements for real-time communication services. - 2010.
26. Multimedia Quality of Experience (QoE): current status and future requirements / C. W. Chen, P. Chatzimisios, T. Dagiuklas, L. Atzori. - John Wiley & Sons Ltd, 2016. - 192 p.
27. ETSI Guide ETSI EG 202 009-2 V1.3.0 (2014-09). User Group; Quality of telecom services; Part 2: User related indicators on a service specific basis. - 2014.
28. RFC 3432. Network performance measurement with periodic streams. - 2002.
29. Олифер, В. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов / В. Олифер, Н. Олифер. - 5-е изд. - СПб. : Питер, 2016. - 992 с.
30. Буранова, М. А. Технологии обеспечения качества обслуживания в мультисервисных сетях: учебное пособие / М. А. Буранова, Н. В. Киреев. - Самара : ПГУТИ, 2016. - 194 с.
31. Santana, G. Data Center Virtualization Fundamentals / G. Santana. - USA, Indianapolis : Cisco Press, 2014. - 929 p.
32. Salmelin, J. Mobile backhaul / J. Salmelin, E. M. Metsala. - UK, Chichester : John Wiley & Sons Ltd, 2012. - 376 p.

33. Metsälä, E. M. LTE backhaul: planning and optimization / E. M. Metsälä, J. Salmelin. - UK, Chichester : John Wiley & Sons Ltd, 2016. - 284 p.
34. Бакланов, И. Г. Релятивизм в метрологии систем связи / И. Г. Бакланов. Екатеринбург : Издательские решения, 2016. - 436 с.
35. Битнер, В. И. Сети нового поколения – NGN : учебное пособие для вузов / В. И. Битнер, Ц. Ц. Михайлова. - М. : Горячая линия – Телеком, 2011. - 226 с.
36. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

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  
**ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ МУЛЬТИСЕРВІСНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ**  
**МЕРЕЖІ ПРИ ПЕРЕДАВАННІ ПАКЕТНОГО ТРАФІКУ ДАНИХ**  
08-34.МКР.009.00.000 ТЗ

Керівник роботи  
к.т.н., доц. кафедри ТКСТБ ВНТУ  
Стальченко О.В.

Виконавець: ст. гр. ТКС-19м  
Паламарчук І.А.

## 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* дослідження є дослідження і розробка методів моніторингу продуктивності пакетної транспортної мережі на основі аналізу значень показників якості, які б забезпечили підвищення продуктивності мереж зв'язку по передачі мультисервісного пакетного трафіку послуг зв'язку.

*Задачами* магістерської кваліфікаційної роботи є:

- розробка технічного завдання;
- проведення аналізу взаємозв'язку показників якості між собою і розглянутий вплив показників якості на гарантію доставки пактів даних від відправника до одержувача відповідно до технологічних вимог по доставці пакетів з боку обслуговуваних послуг зв'язку.

- розробити модель, що описує єдність і синергетичність показників якості з технологічними і архітектурними особливостями побудови мереж зв'язку.

- розробити методи інтегральної оцінки якості роботи мережевих з'єднань, що дозволяють оптимізувати продуктивність мережевих з'єднань з урахуванням технологічних вимог обслуговуваних послуг зв'язку і забезпечити перерозподіл трафіку послуг зв'язку по мережевих з'єднаннях з показниками якості, що найбільш відповідають вимогам послуг зв'язку у рамках розвитку операційного середовища. З урахуванням близькості розроблених методів до методів формування оцінок QoE отримана можливість оцінки впливу показників NP на формування оцінок QoE і



забезпечення підтримки вимог угод про рівень надання послуг (SLA) на належному рівні [44].

- розробити інтегральні показники якості роботи мережевих з'єднань, що дозволяють проводити оцінку якості роботи мережевих з'єднань з урахуванням індивідуальних вимог до показників якості з боку обслуговуваних послуг зв'язку у рамках розробки методів ефективного використання мереж зв'язку.

- розробити метод формування діапазонів порогових значень при оцінці значень показників якості з урахуванням вимог до значень показників якості з боку мультисервісних послуг..;

*Об'єктом дослідження* є побудована за технологією комутації пакетів мережа великого оператора зв'язку, на якому надається широкий спектр послуг зв'язку для різних категорій користувачів.

*Предметом дослідження* є якість роботи мережевих з'єднань по передачі мультисервісного пакетного трафіку з використанням протоколів Ethernet і IP на каналному і мережевому рівнях моделі OSI.

*Основними завданнями роботи* є:

- техніко-економічне обґрунтування доцільності даної розробки;
- аналіз методів визначення показників якості мультисервісних систем;
- розробка інтегральні показники якості роботи мережевих з'єднань;
- дослідження розроблених показників якості роботи мережевих з'єднань;
- аналіз економічної ефективності проведеної розробки;
- дослідження питань безпеки життєдіяльності.

### З ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МКР

Робота базується на результатах попередніх досліджень.

Список використаних джерел розробки:

3.1. Janevski, T. QoS for Fixed and Mobile Ultra-Broadband / T. Janevski. - John Wiley & Sons Ltd, 2019. - 326 p.

3.2. Recommendation ITU-T Y.2021. IMS for Next Generation Networks. - 2006.

3.3. Recommendation ITU-T Y.2011. General principles and general reference model for Next Generation Networks. - 2004.

3.4. Recommendation ITU-T X.210. Open System Interconnection Layer Service Definition Conventions. - 1988.

3.5. Recommendation ITU-T Y.1223. Interworking guidelines for transporting assured IP flows. - 2008.

3.6. Recommendation ITU-T G.8010/Y.1306. Architecture of Ethernet layer networks. 2004. Гольдштейн, Б. С. Сети связи : учебник для ВУЗов / Б. С. Гольдштейн, Г. Г. Яновский, Н. А. Соколов. - СПб. : БХВ-Петербург, 2010. - 400 с.

3.7. Гольдштейн, Б. С. Сети связи пост-NGN / Б. С. Гольдштейн, А. Е. Кучерявый. - СПб. : БХВ-Петербург, 2014. - 160 с..

3.8 Кухарчук В.В., Ігнатенко О.Г., Обертюх Р.Р. Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) для студентів всіх спеціальностей.- В.: ВДТУ, 2002.

3.9 Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – В.: ВДТУ, 2003.

3.10 ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація, звіти у сфері науки і техніки.- К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

3.11 Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры. Справочник. Под ред. Э.Т.Романычевой.- М: Радио и связь, 1989.

3.12 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-20м Паламарчук І.А.

## 5 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Пропонується виконати дослідження методів і алгоритмів оцінки параметрів якості сигналів і каналу зв'язку мультисервісної мережі

Технічні вимоги, яким повинна відповідати розробка, наступні:

- види модуляції – QAM, QPSK,
- затримка доставки пакету IP – не більше 100 мс;
- рівень помилок пакетів IP –  $10^{-6}$ ;
- рівень втрат пакетів –  $10^{-5}$ ;
- швидкість передачі 52 Мбіт/с, 100 Мбіт/с.

## 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.	Аналіз забезпечення якості роботи мереж комутацією пакетів	11.09.2021р.	17.09.2021р.	Проведений аналіз	Вступ. Розділ 1.
3.	Інтегральний метод оцінки продуктивності мережевих з'єднань	18.09.2021р.	01.10.2021р.	Проведений аналіз	Розділ 2
4.	Інтегральні показники якості	02.10.2021р.	19.11.2021р.	Характеристики і параметри	Розділ 3
5.	Аналіз економічної ефективності	20.11.2021р.	30.11.2021р.	Економічна частина МКР	Розділ 4
6.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	01.12.2021р.	06.12.2021р.	Частина ОТ та БНС	Розділ 5
7.	Оформлення пояснювальної записки (ПЗ) та графічної частини	07.12.2021р.	13.12.2021р.	Оформлена документація	ПЗ та графічна частина

8.	Нормоконтроль, попередній захист, опонування МКР	14.12. 2021р.	17.12.2021р.	Позитивні відзиви	Відгуки
9.	Захист МКР ЕК		20.12.2021р.	Позитивний захист	Протокол ЕК

## 7 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть розроблені:

- запропонована модель взаємозв'язку між показниками функціонування мереж з комутацією пакетів, яка, на відміну від моделей, що описують тільки взаємний вплив показників якості, враховує вплив архітектурно- технологічних особливостей побудови мережі зв'язку і вплив з боку інформаційних систем і мережевих платформ на якість надання мережевих сервісів, дозволяє формувати оцінку якості роботи мережевих з'єднань з урахуванням єдності і синергетичності показників якості.

- запропонований і обґрунтований метод статистичної інтегральної оцінки якості роботи мережевих з'єднань в мережі зв'язку з комутацією пакетів, який, на відміну від методів, заснованих на статистичному аналізі значень показників якості, враховує вплив величини і тривалості (кількості) короткочасних відхилень значень показників мережевої продуктивності від областей допустимих значень на інтервалі часу проведення вимірів на якість надання мультисервісних послуг зв'язку.

- запропонований метод формування діапазону порогових значень показників якості для проведення оцінки якості роботи мережевих з'єднань в мережах з комутацією пакетів, який, на відміну від методів, заснованих на пороговій (дискретною) оцінці погіршення якості, враховує різні вимоги з боку набору послуг до якості обслуговування мережевим з'єднанням трафіку даних, що формується в мультисервісній мережі на різних рівнях моделі взаємодії відкритих систем з використанням різних транспортних технологій передачі пакетного трафіку.

- запропоновані інтегральні показники якості роботи мережевих з'єднань в мережі з комутацією пакетів, які, на відміну від показників, заснованих на аналізі абсолютних значень, дозволяють оцінити міру деградації якості передачі даних при передачі по мережевому з'єднанню неоднорідного трафіку шляхом обліку величини і тривалість перевищення значеннями показників мережевої продуктивності встановлених порогових значень на інтервалі часу проведення оцінки.

Теоретична і практична значущість роботи. полягає в тому, що сформовані оцінки якості роботи мережевих з'єднань дозволяють забезпечити управління передачею трафіку мультисервісних послуг з використанням мережевих з'єднань, що максимально відповідають вимогам до якості передачі трафіку обслуговуваних послуг зв'язку, і проводити моніторинг зміни якості роботи мережевих з'єднань з метою своєчасного вжиття заходів технічного характеру по підтримці якості роботи мережевих з'єднань на необхідному рівні, здійснювати планування розвитку мережі зв'язку оператора з урахуванням поточного технічного стану і зміни навантаження на мережеві з'єднання з боку користувачів послуг зв'язку.

Результати, отримані в процесі виконання даної роботи, будуть впроваджені в галузі телекомунікацій:

- Регіональний Центр експлуатації телекомунікаційної мережі України шляхом впровадження широкосмугового ІКМ;
- ПАТ "Укртелеком" шляхом впровадження нових методик контролю характеристик ІКМ.

Очікуваний техніко-економічний ефект. При впровадженні результатів досліджень очікується підвищення точності та зменшення обчислювальної здатності.

## 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:

- модель взаємозв'язку показників мережевої продуктивності для мереж з комутацією пакетів;
- математичну модель розроблених показників якості;
- економічну частину та розділ БЖД і ЦЗ;
- рекомендації щодо подальшого використання отриманих методів.

## 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.

Додаток Б

Показники QoS для публічної мережі зв'язку

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

Додаток В

Складові оцінки QoE

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ



Додаток Г

Модель взаємозв'язку показників мережевої продуктивності для мереж з  
комутацією пакетів

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

Додаток Д

Взаємозв'язок нормативних показників якості з ключовими показниками ефективності мережі зв'язку

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

Додаток Е

Використання віртуальних з'єднань

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

Додаток К

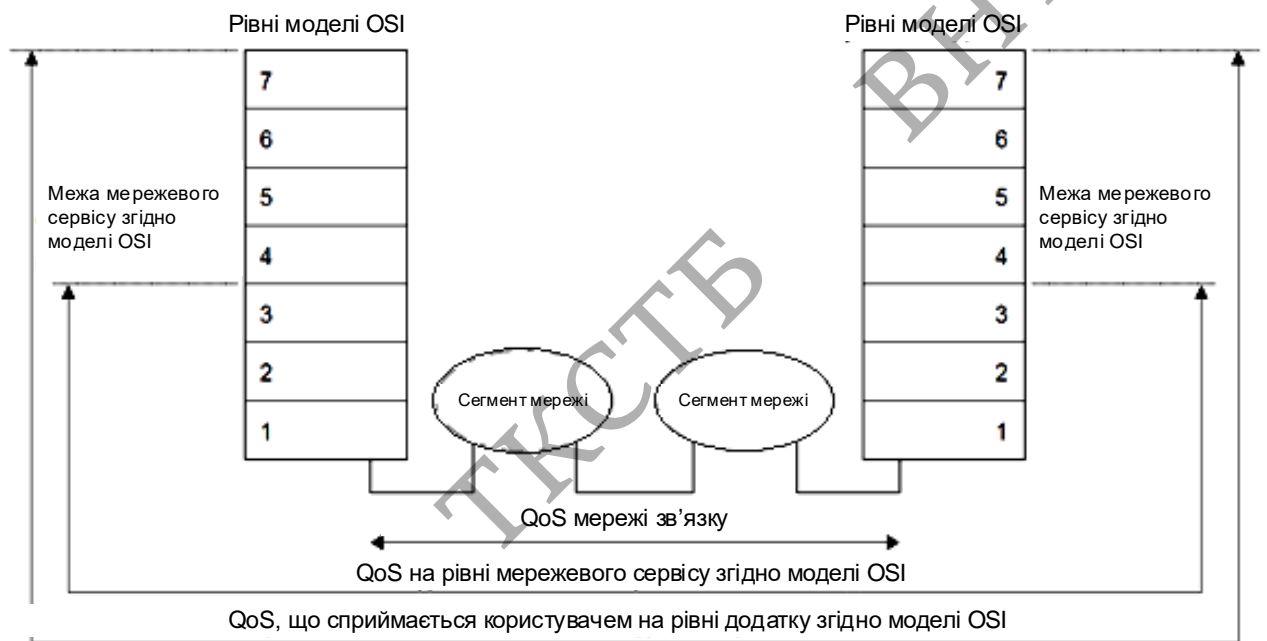
Результати досліджень

ФІРЕН

ТКСТБ

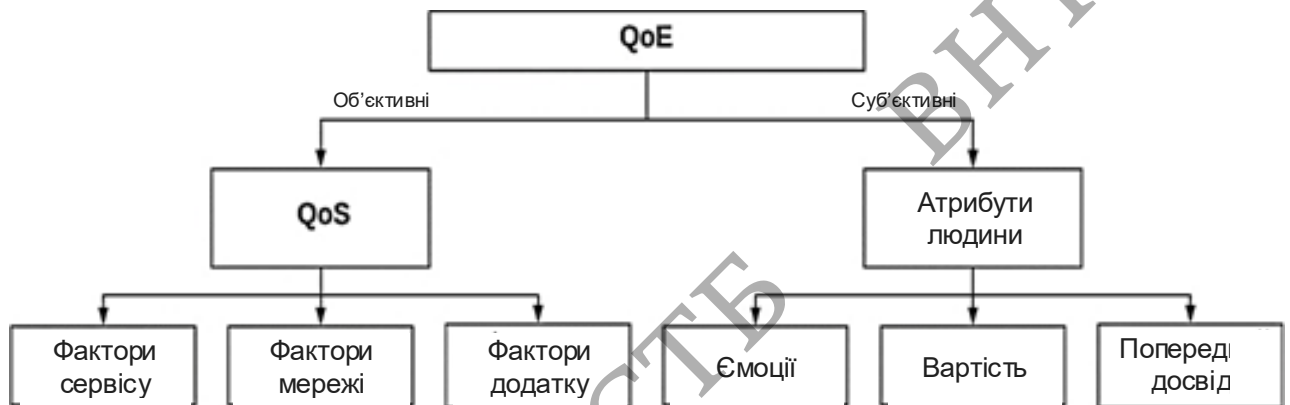
ВНТУ

# Методи оцінювання постійних параметрів сигналу і випадкових процесів



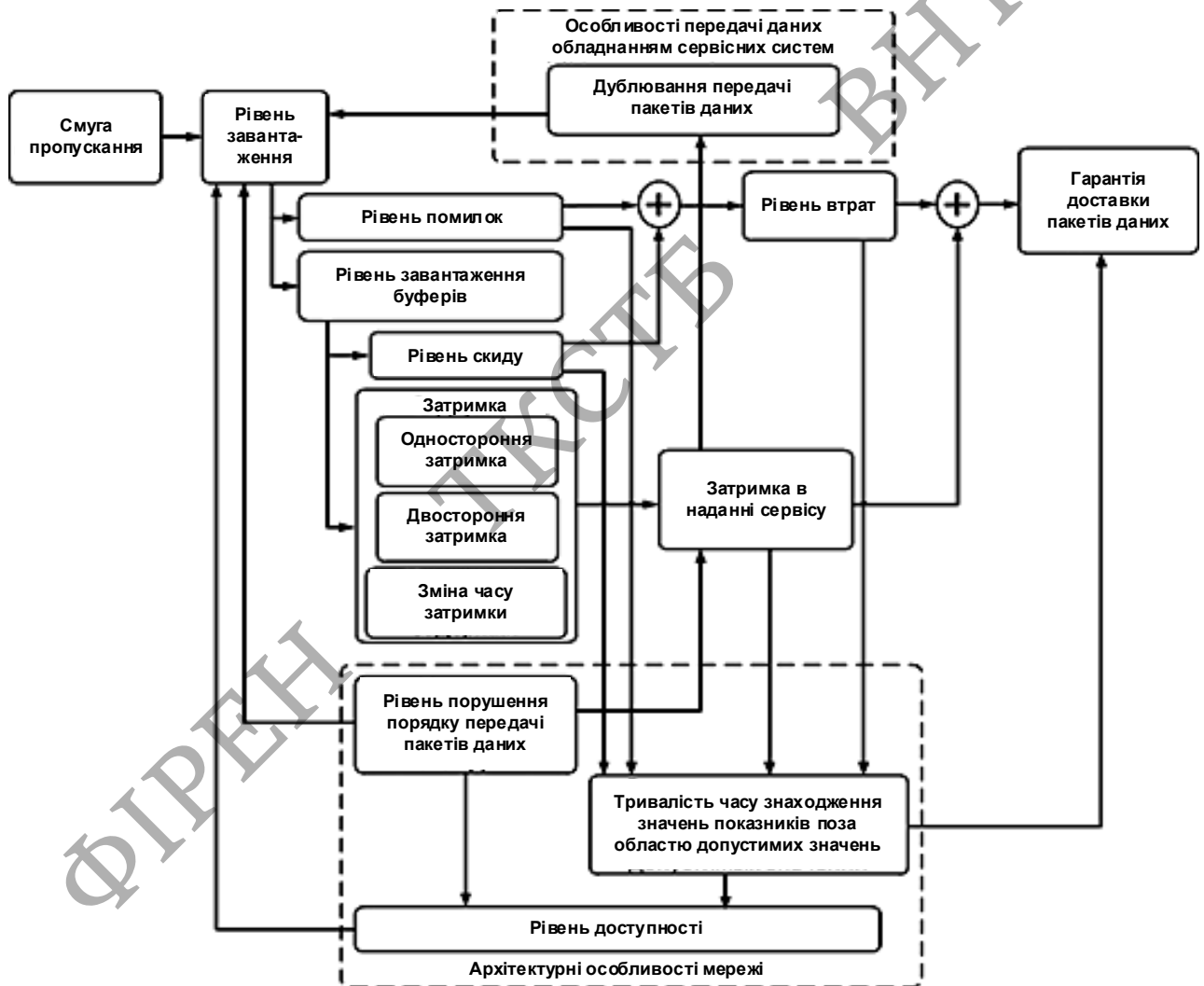
					08-34.МКР.009.00.000		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Паламарчук І.А.			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Стальченко О.В.				1	1
Реценз.		Семенов А.О.			ВНТУ, гр. ТКС-20м		
Н. Контр.		Стальченко О.В.					
Затверд.		Кичак В.М.					
Методи оцінювання постійних параметрів сигналу і випадкових процесів							

## Складові оцінки QoE



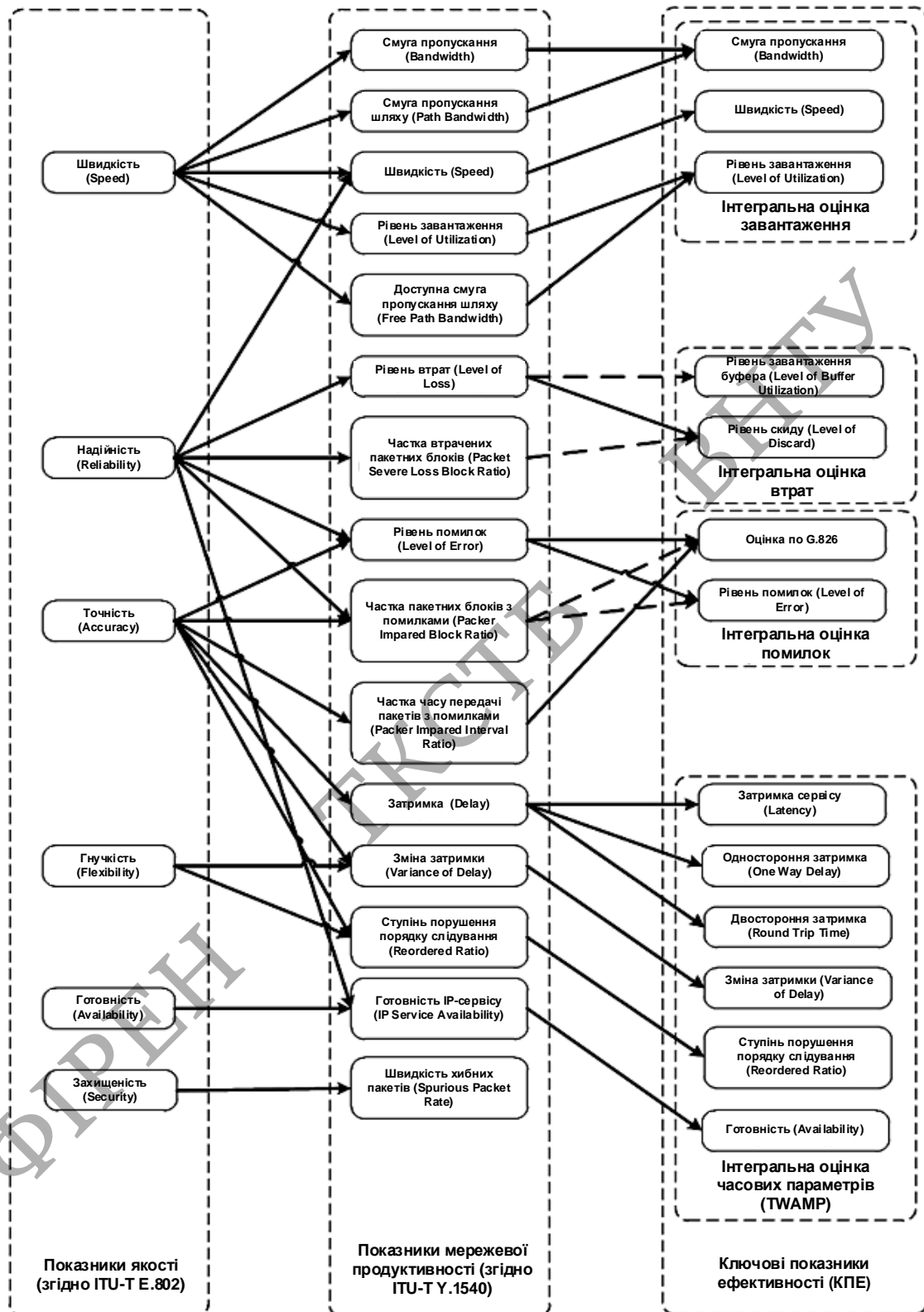
					08-34.МКР.009.00.000						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Складові оцінки QoE			Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.		Паламарчук І.А.								1	1
Перевір.		Стальченко О.В.									
Реценз.		Семенов А.О.									
Н. Контр.		Стальченко О.В.									
Затверд.		Кичак В.М.									
								ВНТУ, гр. ТКС-20м			

Модель взаємозв'язку показників мережевої продуктивності для мереж з комутацією пакетів



					08-34.МКР.009.00.000		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Паламарчук І.А.			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Стальченко О.В.				1	1
Реценз.		Семенов А.О.			ВНТУ, гр. ТКС-20м		
Н. Контр.		Стальченко О.В.					
Затверд.		Кичак В.М.					
Модель взаємозв'язку показників мережевої продуктивності для мереж з комутацією пакетів							

# Взаємозв'язок нормативних показників якості з ключовими показниками ефективності мережі зв'язку



08-34.МКР.009.00.000				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Паламарчук І.А.		
Перевір.		Стальченко О.В.		
Реценз.		Семенов А.О.		
Н. Контр.		Стальченко О.В.		
Затверд.		Кичак В.М.		
		Взаємозв'язок нормативних показників якості з ключовими показниками ефективності мережі зв'язку		
		Літ.	Арк.	Аркушів
			1	1
ВНТУ, гр. ТКС-20м				



## Використання віртуальних з'єднань

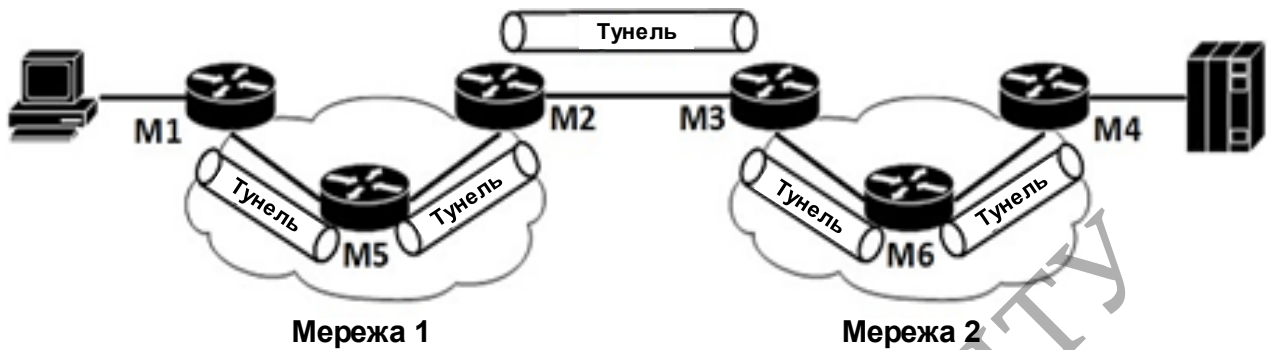


Рисунок 1 - Використання віртуальних з'єднань усередині існуючих ліній зв'язку

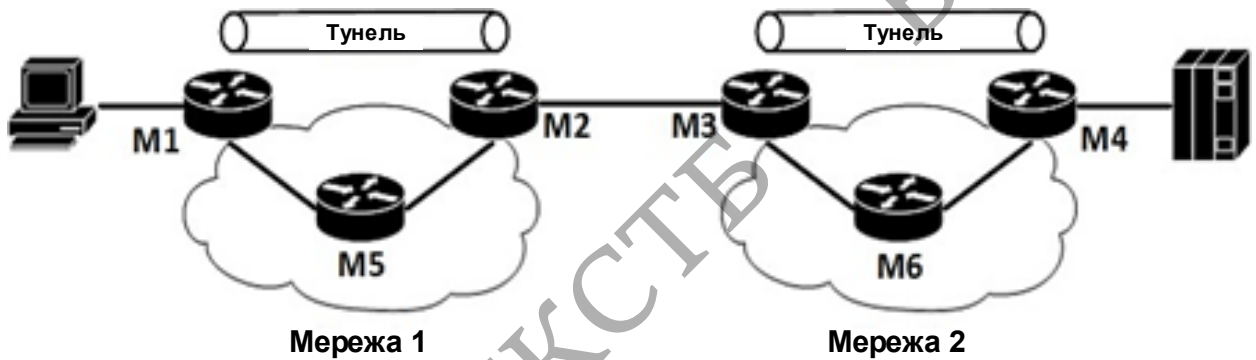


Рисунок 2 - Використання віртуальних з'єднань усередині мережі оператора зв'язку

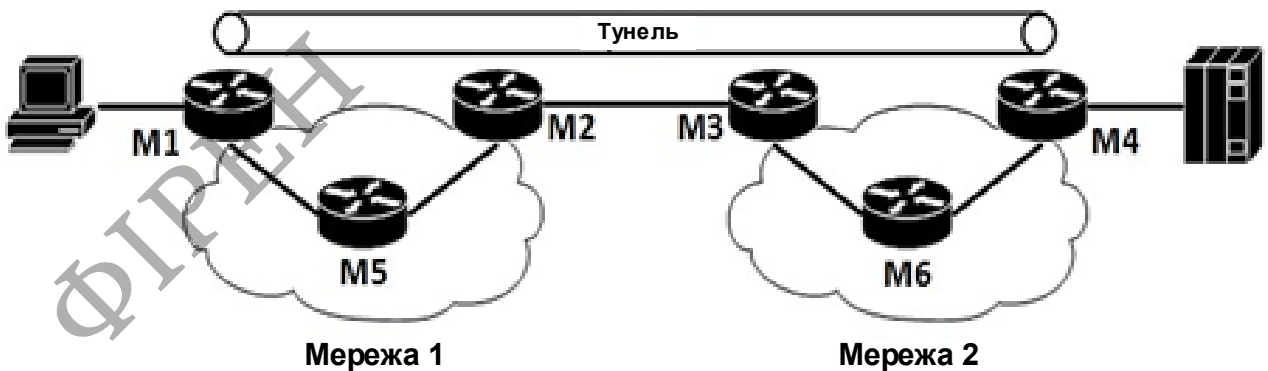


Рисунок 3 - Використання віртуальних з'єднань через мережі декількох операторів зв'язку

					08-34.МКР.009.00.000					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Використання віртуальних з'єднань					
Розроб.		Паламарчук І.А.						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Стальченко О.В.							1	1
Реценз.		Семенов А.О.						ВНТУ, гр. ТКС-20м		
Н. Контр.		Стальченко О.В.								
Затверд.		Кичак В.М.								

## Результати досліджень

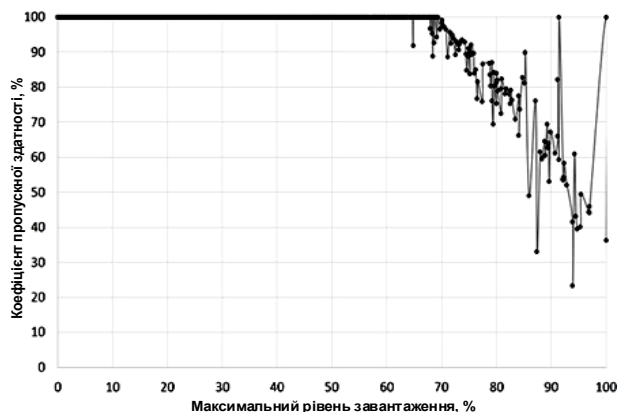


Рисунок 1 - Залежність значень коефіцієнта пропускної спроможності від величини рівня завантаження мережевого з'єднання на 5-хвилинних інтервалах часу

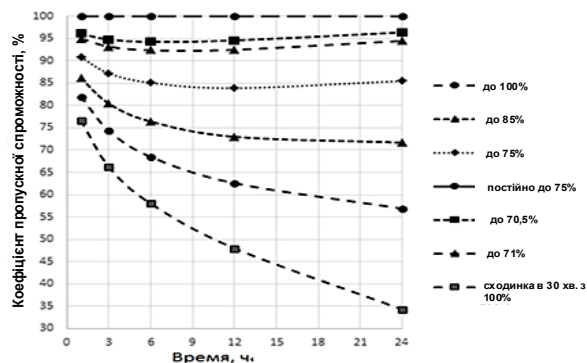


Рисунок.2 - Залежність значень коефіцієнта пропускної спроможності від величини і тривалості перевищення рівнем завантаження встановленого порогового значення

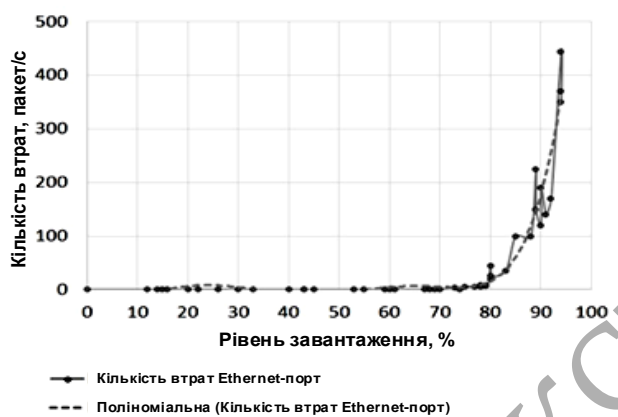


Рисунок 3 - Залежність середнього значення кількості втрат пакетів даних залежно від рівня завантаження порту маршрутизатора

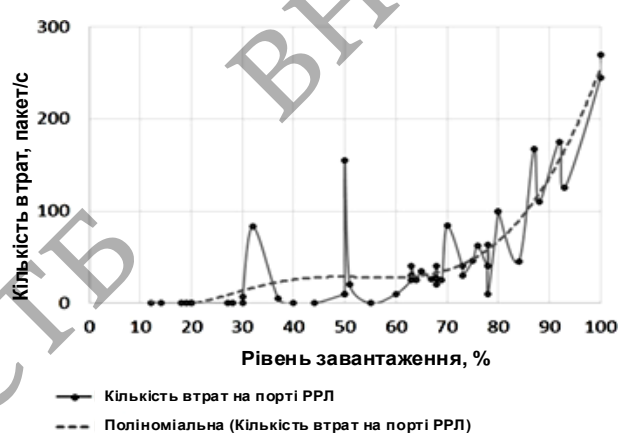


Рисунок 4 - Залежність середнього значення кількості втрат пакетів даних залежно від рівня завантаження порту радіоканалу обладнання РРЛ

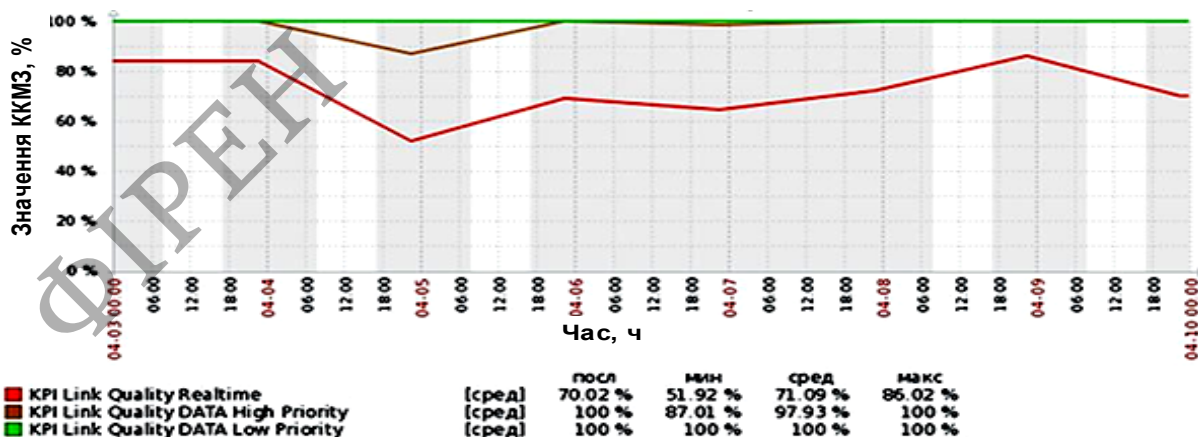


Рисунок 5 - Графіки зміни значень коефіцієнта якості мережевого з'єднання для різних класів пакетного трафіку

08-34.МКР.009.00.000				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Паламарчук І.А.		
Перевір.		Стальченко О.В.		
Реценз.		Семенов А.О.		
Н. Контр.		Стальченко О.В.		
Затверд.		Кичак В.М.		
Результати досліджень				
		Літ.	Арк.	Аркушів
		1	1	1
ВНТУ, гр. ТКС-20м				