

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет навчально-науковий центр заочної форми навчання  
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин  
(повна назва)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**Пояснювальна записка**

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Забезпечення QoS в NGN при наданні послуг IPTV

(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи КСМзм-22-1  
Блажиєвський С.О.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютерні системи та мережі  
(повна назва освітньої програми)

Керівник: доц. Колтун Ю.М.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ

(підпис)

Коваленко А.А.

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет навчально-науковий центр заочної форми навчання

Кафедра електронних обчислювальних машин

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютерні системи та мережі  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту Блажиевському Сергію Олександровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Забезпечення QoS в NGN при наданні послуг IPTV

затверджена наказом по університету від “ 03 ” листопада 2023 р. № 244 Стз

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 15 січня 2024 р.

3. Вхідні дані до роботи 1) тип транспортної платформи NGN – IP-мережа;

2) тип послуг IPTV – передача відео; 3) відеокодеки: MPEG 2, H.264; 4) визначити показники та механізми забезпечення QoS в NGN відповідно до стандартів ITU-T;

5) методи оцінювання – суб'єктивні і об'єктивні; 6) тип моделі: аналітична, «втрати-спотворення», на основі об'єктивних методів оцінювання якості;

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі \_\_\_\_\_

1) огляд послуг і архітектурних рішень IPTV;

2) визначення і обґрунтування показників QoS в NGN;

3) визначення і обґрунтування механізмів забезпечення QoS в NGN;

4) аналіз методів суб'єктивної оцінки якості передачі відео;

5) аналіз методів об'єктивної оцінки якості передачі відео;

6) обґрунтування та розробка аналітичної моделі;

7) практичне застосування та оцінка моделі;

8) висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) \_\_\_\_\_

Слайд-презентація – 15 слайдів \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд послуг і архітектурних рішень IPTV	07.11.23-14.11.23	
2	Визначення і обґрунтування показників QoS в NGN;	15.11.23-21.11.23	
3	Визначення і обґрунтування механізмів забезпечення QoS в NGN;	22.11.23-28.11.23	
4	Аналіз методів суб'єктивної оцінки ЯПВ;	29.12.23-07.12.23	
5	Аналіз методів об'єктивної оцінки ЯПВ	08.12.23-17.12.23	
6	Обґрунтування та розробка аналітичної моделі	18.12.23-30.12.23	
7	Практичне застосування та оцінка моделі	31.12.23-12.01.24	
8	Подання кваліфікаційної роботи на рецензування	13.01.24-14.01.24	

Дата видачі завдання 06 листопада 2023 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

доц. Колтун Ю.М.  
(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 88 с., 9 рис., 2 табл., 4 дод., 28 джерела.

IP-МЕРЕЖА, NGN, IPTV, VOD, QoS, ЯКІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ, ЯКІСТЬ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕО, СУБ'ЄКТИВНІ МЕТОДИ, MOS, PQR, DMOS, SAMVIQ, ОБ'ЄКТИВНІ МЕТОДИ, MDI, VQM, MPQM, PSNR, АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ, МОДЕЛЮВАННЯ, ВІДЕОКОДЕК, MPEG-2, CIF, QCIF.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення і обґрунтування аналітичної моделі об'єктивного оцінювання QoS в NGN для послуг IPTV.

У ході виконання кваліфікаційної роботи проведено аналіз існуючих методів суб'єктивного та об'єктивного оцінювання якості передачі відео, на підставі яких була розроблена та обґрунтована аналітична модель об'єктивного оцінювання QoS для послуг IPTV у разі передачі відео по IP-мережі, що є транспортною платформою NGN.

## THE ABSTRACT

Master's thesis: 88 pages, 9 figures, 2 tables, 4 appendices, 28 sources.

IP-NETWORK, NGN, IPTV, VOD, QoS, QUALITY OF SERVICE, QUALITY OF VIDEO STREAMING, SUBJECTIVE METHODS, MOS, PQR, DMOS, SAMVIQ, OBJECTIVE METHODS, MDI, VQM, MPQM, PSNR, ANALYTICAL MODEL, MODELING, VIDEO CODEC, MPEG-2, CIF, QCIF.

The purpose of the qualification work is development and substantiation of an analytical model for objective evaluation of QoS in NGN for IPTV services.

In the course of the qualification work, an analysis existing methods of subjective and objective assessment of video transmission quality was carried out, on the basis of which an analytical model objective QoS assessment for IPTV services in the case of video transmission over an IP network that is a NGN transport platform was developed and substantiated.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	8
ВСТУП .....	11
1 ОГЛЯД КОНЦЕПТУАЛЬНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОБУДОВИ І НАДАННЯ ПОСЛУГ IPTV .....	14
1.1 Загальна характеристика та послуги технології IPTV .....	14
1.2 Архітектурні рішення системи IPTV .....	19
1.2.1 Головна станція з вузлом кодування.....	22
1.2.2 Підсистема VoD .....	24
1.2.3 Сервісна платформа управління IPTV Middleware .....	26
1.2.4 Клієнтське обладнання .....	27
1.2.5 Підсистема CAS .....	27
2 ПОКАЗНИКИ ТА МЕХАНІЗМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ QoS В NGN.....	31
2.1 Показники QoS в NGN.....	31
2.2 Механізми забезпечення якості обслуговування в NGN .....	34
3 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕО В СИСТЕМАХ IPTV .....	39
3.1 Методи суб'єктивної оцінки якості передачі відео.....	39
3.1.1 Метод MOS .....	39
3.1.2 Метод PQR.....	41
3.1.3 Метод визначення різниці за усередненою сукупною оцінкою .....	43
3.1.4 Метод суб'єктивної оцінки якості відео.....	44
3.2 Методи об'єктивного оцінювання якості передачі відео під час надання послуг IPTV.....	45
3.2.1 Індекс доставки мультимедіа.....	46
3.2.2 Метод VQM .....	48
3.2.3 Метод на основі метрики MPQM .....	48

3.2.4	Метод оцінки кількісної міри шуму.....	50
3.2.5	Метод оцінки якості відео на основі відношення сигнал/шум .....	51
4	РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТИВНОГО ОЦІНЮВАННЯ QoS ПІД ЧАС НАДАННЯ ПОСЛУГ IPTV У МЕРЕЖАХ NGN.....	54
4.1	Обґрунтування проведення розробки моделі.....	54
4.2	Базова модель об'єктивного оцінювання QoS для послуг IPTV у разі передачі відео по IP-мережі.....	55
4.3	Моделювання впливу різних відеокодеків на відео .....	59
4.4	Практичне використання отриманої моделі для оцінки ЯПВ .....	63
	ВИСНОВКИ.....	67
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	69
	ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	72
	ДОДАТОК Б Суб'єктивні методи оцінювання якості передачі відео .....	81
	ДОДАТОК В Об'єктивні методи оцінювання якості передачі відео .....	83
	ДОДАТОК Г Публікації.....	85

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ  
І ТЕРМІНІВ

- БД – база даних
- ДК – дистанційне керування
- ПЗ – програмне забезпечення
- РМЧ – реальний масштаб часу
- ЯПВ – якість передачі відео
- CAS – підсистема умовного доступу (англ., Conditional Assess System)
- CBQ – черга (потік) у відповідності із класом (англ., Class-Based Queuing)
- CMS – система управління контентом (англ., Content Management System)
- DF – фактор затримки (англ., Delay Factor)
- DiffServ – диференційоване обслуговування (англ., Differentiated Service)
- DMOS – різниця за усередненою сукупною оцінкою (англ., Difference Mean Opinion Score)
- DSCP – поле коду диференційованих послуг (DS-байт – байт диференційованої послуги) (англ., Differentiated Services Code Point)
- DSCQS – шкала постійної якості подвійного стимулу (англ., Double Stimulus Continuous Quality Scale)
- DSIS – метод шкали погіршення стану подвійного стимулу (англ., Double Stimulus Impairment Scale)
- EBU – Європейський союз телерадіомовлення (англ., European Broadcasting Union)
- FIFO – «першим прийшов, першим вийшов» (англ., First-In, First-Out)
- HDTV – телебачення високої чіткості (англ., High-Definition Television)
- IETF – група інженерних проблем Internet (англ., Internet Engineering

Task Force)

IPDV – варіація затримки IP-пакета або джиттер (англ., IP Packet Delay Variation)

IPLR – коефіцієнт втрат IP-пакетів (англ., IP Packet Loss Ratio)

IPTD – затримка доставки IP-пакета (англ., IP Packet Transfer Delay)

IPDV – варіація затримки IP пакета (англ., IP packet delay variation)

IPLR – коефіцієнт втрати IP пакетів (англ., IP packet loss ratio)

IPTD – затримка доставки IP пакета (англ., IP packet transfer delay)

IPTV – телебачення за протоколом IP (англ., Internet Protocol Television)

ITU-T – міжнародна спілка електров'язку – сектор стандартизації телекомунікацій (англ., International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector)

JND – помітна різниця (англ., Just Noticeable Difference)

MDI – індекс доставки мультимедіа (англ., Media Delivery Index)

MLR – параметр втрат пакетів (англ., Media Loss Rate)

MOS – усереднена сукупна оцінка (англ., Mean Opinion Score)

MPLS – багатопротокольна комутація за мітками (англ., Multi-Protocol Label Switching)

MPQM – метрика оцінки якості рухомих зображень (англ., Moving Picture Quality Metric)

MSE – середньоквадратична помилка (англ., Mean Square Error)

NGN – мережа наступного покоління (англ., Next Generation Network)

NQM – метод оцінки якості відеозображення за кількісною мірою шуму англ., (Noise Quality Measure)

QoE – якість сприйняття (англ., Quality of Experience)

QoS – якість обслуговування (англ., Quality of Service)

P2P – однорангова або пірінгова комп'ютерна мережа, яка заснована на рівноправності її учасників (англ., Peer-to-Peer)

PQR – оцінка якості зображення (англ., Picture Quality Rating)

PSNR – пікове відношення сигнал/шум (англ., Peak Signal to Noise

Ratio)

PVR – персональний відеозапис (англ., Personal Video Recorder)

RED – довільне раннє виявлення (англ., Random Early Detection)

RSVP – протокол резервування ресурсів (англ., Resource Reservation Protocol)

SAMVIQ – метод суб'єктивної оцінки якості відео (англ., Subjective Assessment Method for Video Quality evaluation)

SC – метод порівняння стимулів (англ., Stimulus Comparison)

SLA – угода про рівень обслуговування (англ., Service Level Agreement)

SSCQE – метод постійної оцінки якості одного стимулу (англ., Single Stimulus Continuous Quality Evaluation)

SSCQS – шкала постійної якості одного стимулу (англ., Single Stimulus Continuous Quality Scale)

STB – клієнтський термінал («приставка»), клієнтське обладнання (англ., Set-Top-Box)

ToS – тип обслуговування (англ., Type of Service);

VoD – «відео за запитом» (англ., Video-on-Demand)

VoIP – голос поверх IP (голосовий зв'язок через мережу IP) (англ., Voice over IP)

VPN – віртуальна приватна мережа (англ., Virtual Private Networks)

VQM – вимірювання якості відеозображень (англ., Video Quality Measurement);

WFQ – зважений алгоритм рівномірного обслуговування черг (англ., Weighted Fair Queuing)

## ВСТУП

Розвиток інфокомунікаційних мереж і технологій на цей час досяг рівня, що дає змогу об'єднати мережні та інформаційні ресурси в конвергентну мультисервісну мережу зв'язку, яка забезпечує передачу різних типів мультимедійного трафіку та звичайних даних, а також доступ кінцевих користувачів до інфокомунікаційних послуг із високими вимогами до якості обслуговування (Quality of Service, QoS). Основою організації таких мереж є платформа мереж наступного покоління (Next Generation Network, NGN), яка орієнтована на використання IP-технологій, що практично не обмежує операторів і користувачів у сфері послуг такого роду, що надаються [1, 2].

За таких умов потреби користувачів у послугах постійно зростають, вони стають складнішими і динамічнішими, з'являються нові види і властивості цих послуг. Зокрема, нині найбільший інтерес для більшості інфокомунікаційних послуг викликають властивості інтерактивності (тобто коли користувач стає активним учасником процесу надання послуги), персоналізації (тобто коли користувач отримує індивідуальний для нього контент) та мобільності (тобто коли доступ до послуги можливий не лише з однієї мережі, а з будь-якої іншої, до якої у користувача є під'єднання). У цьому ключі найбільшою популярністю серед користувачів користуються послуги на основі передачі відеозображень, зокрема послуги цифрового інтерактивного телебачення в мережах передачі даних за протоколом IP (Internet Protocol Television, IPTV), і більшість операторів уже розгорнули або розгортають мережі для їх впровадження [3].

Насамперед, необхідно зазначити, що не слід плутати IPTV із технологією Internet-TV, яка заснована на двосторонній цифровій передачі телевізійного сигналу через Internet-з'єднання за допомогою ширококутового підключення. Тобто в цій технології в якості транспорту використовується загальнодоступна мережа, яка відкрита для будь-якого

користувача на будь-якому континенті, і більше того, кожен може опублікувати інформацію, яка буде глобально доступною [1].

IPTV – це технологія передачі цифрового телебачення кабельними операторами за протоколом IP. Вона являє собою закриту або напівзакриту мережу, що повністю належить оператору зв'язку, зі своєю топологією та інфраструктурою. Простіше кажучи, IPTV це всього лише один із способів доставки відео до користувача з використанням IP-мережі. Як система інтерактивного телебачення, IPTV є досить складним і цікавим комплексом різноманітних послуг, що надають телеглядачеві широкі та різноманітні можливості активної участі в телепередачах, - від відповідей на запитання в режимі on-line до персональних можливостей щодо участі в шоу-програмах за допомогою свого віртуального образу. Особливість IPTV полягає в можливості гнучкої персоналізації: з усього великого спектра програм і послуг користувач може сформувати власний пакет відповідно до своїх уподобань [1].

До системи IPTV можуть входити як звичайні канали, так і канали розширеного телебачення з інтерактивним контентом і різні варіації послуг «відео за запитом» (Video-on-Demand, VoD). VoD надає можливість перегляду замовлених програм у визначений час, дає змогу замовити фільми безпосередньо з пульта управління або клавіатури та підтримує основні функції відеопрोगравача.

Слід зазначити, що надання послуг IPTV ставить все більш нові задачі з погляду забезпечення ефективних механізмів QoS для надання цих послуг, зокрема таких, як методи для оцінювання якості сприйняття (Quality of Experience, QoE).

Тривалий час у ролі основних методів оцінювання якості IPTV розглядалися тільки суб'єктивні методи оцінювання якості передачі відео, однак їх широке використання в процесі експлуатації послуг IPTV не є можливим через складність проведення тестів (необхідність постійно мати групу або, навіть, групи експертів). Тому останнім часом великої

популярності набули методи об'єктивного оцінювання, що ґрунтуються на збиранні та аналізі мережних характеристик. Але їх теж не можна назвати універсальними і здатними точно оцінити відео, що передається, оскільки більшість таких методів не враховує характеристик, що є специфічними для відеододатків. Тому сьогодні існує досить велика кількість різноманітних методів оцінки якості IPTV як суб'єктивних, так і об'єктивних [4].

Таким чином, серед наявних методів ні суб'єктивної, ні об'єктивної оцінки якості передачі IPTV у реальному часі немає такого, що міг би однозначно визначити чи є прийнятними QoS, що надається користувачеві. У разі впровадження послуг IPTV оцінку QoS відео ділять на кілька етапів, щось можливо перевірити тільки при впровадженні послуги, а інші якісні показники можна оцінити тільки в момент експлуатації. Тобто оператор при впровадженні послуг IPTV, змушений підтримувати функціонування декількох об'єктивних і суб'єктивних методів оцінки якості відео одночасно [3, 4].

Відповідно до цього у кваліфікаційній роботі буде проведений аналіз методів забезпечення якості передачі відео в IP-мережах. На підставі цих методів буде розроблена і обґрунтована аналітична модель об'єктивного оцінювання QoS в NGN для послуг IPTV з урахуванням особливостей трафіку таких мереж, що свідчить про актуальність роботи.

# 1 ОГЛЯД КОНЦЕПТУАЛЬНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОБУДОВИ И НАДАННЯ ПОСЛУГ IPTV

## 1.1 Загальна характеристика та послуги технології IPTV

Як вже було зазначено у вступі, технологія IPTV являє собою цифрове інтерактивне телебачення в мережах, що орієнтовані на використання протоколу IP в якості протоколу передачі. Перш за все технології надання послуг IPTV є одними з найпоширеніших в NGN, тому що саме IP-мережі формують їх універсальну транспортну платформу, яка забезпечує можливість переносу всіх видів трафіку. Також технологія IPTV є одним із варіантів організації платформи надання послуг в мережах кабельного або супутникового телебачення, де в якості транспорту також використовуються IP-мережі. Це закриті мережі, іноді напівзакриті, що входять до складу операторської мережі провайдера, і залежать від його топології та інфраструктури, повністю йому належать і є не доступними у повному обсязі з Internet. Усе апаратне обладнання, що є під'єднаним до таких мереж, також повністю контролюється оператором. Фактично, технологія IPTV – являє собою один із варіантів організації сервіс-платформи доставки відео та інших послуг (телебачення, аудіо, текст, дані, графіка) до користувачів через IP-мережу в інтерактивному режимі та в режимі мовлення.

Серед властивостей IPTV виділяють декілька основних, серед яких перш за все треба звернути увагу – це підтримка інтерактивного телебачення, під якою розуміють можливість підтримувати двоспрямовану передачу. Тобто це наявність зворотного зв'язку між оператором/провайдером і користувачем послуги, що, зі свого боку, дає змогу забезпечити підтримку широкого спектру інтерактивних застосунків [1].

Наступна властивість спрямована на підтримку персоналізації послуг IPTV. Це можливість для користувачів самим обрати, що і коли вони хочуть

дивитися, – від стандартних послуг, що забезпечують трансляцію фільмів з відеосервера за запитом користувача, до формування персонального пакета каналів і програм [1].

Третя найпоширеніша властивість надає можливість здійснення відкладеного перегляду. Ця можливість дає змогу записувати програми з подальшим переглядом, наприклад, зробити перемотування записаної програми щоб не дивитись рекламу. Зазначу, що на цей час більшість систем IPTV і операторів обмежують користувачеві можливості щодо перемотування відеореклами, через різні маркетингові складові отримання прибутків від демонстрації свої ресурсів [1, 3].

Ще треба наголосити на тому, що послуги IPTV є широкодоступними. Це робить можливим здійснення перегляду на сучасному телевізорі, персональних комп'ютерах і різноманітних мобільних пристроях, що також є важливою властивістю.

Вимоги до мережного і термінального обладнання технології IPTV визначено у рекомендації ITU-T Y.1910 під назвою «Функціональна архітектура IPTV». Завдяки цій рекомендації постачальники послуг можуть пропонувати всі послуги IPTV на базі IP-мереж [1].

Характерною особливістю цифрового IPTV є висока якість зображення, тобто IPTV – це телебачення високої чіткості (High-Definition Television, HDTV). Також в IPTV передбачені додаткові послуги для глядача, що дають йому змогу через зворотний канал зв'язку активно взаємодіяти із системою IPTV і впливати на те, що відбувається на екрані. Функції інтерактивності реалізуються за допомогою пульта дистанційного керування (ДК) або інтерактивної клавіатури через клієнтський термінал (так звана «приставка») (Set-Top-Box, STB) [5, 6].

Найбільш популярні послуги IPTV діляться на три великі групи [1]:

- телевізійні сервіси та сервіси персонального відеозапису (Personal Video Recorder, PVR);
- послуги «відео за запитом» (VoD);

- інтерактивні сервіси.

До першої групи належать послуги, які містять, як класичні послуги мовлення телевізійних каналів, так і ті, що реалізовані тільки в IPTV послуги запису і повторного перегляду вибраної телепрограми. Розглянемо основні послуги цієї групи детальніше [1]:

- BTV (Broadcast Television) – класична послуга мовлення телевізійних каналів, що реалізується через IP-мережу. Основним способом здійснення оплати є абонентська плата (за пакет телеканалів або за певний канал). Передбачається, що користувач у майбутньому, з точки зору своїх уподобань, сам зможе формувати персоналізовані пакети телеканалів;

- EPG (Electronic Program Guide) – електронна програма передач. Є основним інструментом інформування користувача про майбутні програми та для використання сервісів PVR, тому ця послуга надається безкоштовно;

- NPVR (Network Personal Video Recorder) – послуга персонального мережного пристрою відеозапису, що дає змогу «замовляти» запис майбутніх програм відповідно з EPG. Кожна записана програма тарифікується окремо. Користувач може переглядати «записану» програму протягом певного часу (наприклад, 24 або 72 години) необмежену кількість разів;

- SO (Start Over) – послуга перезавантаження програми, що дає змогу здійснити перегляд поточної телепередачі від самого початку. Особливістю є відсутність перемотування. Технічно таку опцію можна реалізувати, але щоб користувачі не нехтували рекламою, тому її не включають у послугу;

- PLTV (Pause Live TV) – пауза прямого ефіру. Користувач у будь-який час прямої трансляції може натиснути кнопку «pause» на пульті ДК. Далі, натиснувши кнопку «play», можна продовжити перегляд з місця зупинки;

- IPVR (Instant Personal Video Recorder) – реалізація запису не через запит в EPG, а після натискання користувачем на пульті ДК кнопки «record» у режимі повноекранного перегляду. У результаті записується часовий проміжок між натисканнями кнопок «record» і «stop»;

- TSTV (Time-Shift TV) – телебачення із зсувом у часі. Послуга реалізується на сервісах персонального відеозапису (PVR) і дає змогу в будь-який момент часу прямої трансляції програми перемотати канал на будь-який час назад (10 хвилин, годину, і навіть день). Це робиться натисканням на пульті ДК кнопки «rewind».

До послуг другої групи відносять базову послугу VoD, а також деякі її різновиди. Розглянемо їх докладніше [1, 7]:

- VoD – відео за запитом ґрунтується на тому, що користувач може вибрати будь-який відеоконтент, що є у відеотеці, і купити його на певний період часу (наприклад, 6/12/24 години), при цьому ціни залежно від терміну оренди також можуть змінюватися. Крім того, на вартість відео впливає категорія, в якій воно перебуває. Наприклад, вартість новинки буде дорожчою, ніж у фільмів із розділу «класика». Користувач перед тим, як купити або орендувати, може безкоштовно переглянути трейлер до вподобаного фільму за його наявності, також фільм може бути забезпечений стислим описом і, як правило, постером;

- SVoD (Subscription Video on Demand) – відео за запитом по підписці. Дозволяє користувачу сплатити необмежений доступ до певного набору відеоконтенту VoD. Відео з цієї категорії у разі купівлі буде дешевшим, ніж із інших категорій. Оплата також, як і для базової VoD, буде змінюватися залежно від терміну оренди. Тут також є безкоштовний перегляд трейлерів;

- NVoD (Near Video on Demand) – «майже відео за запитом» або послуга віртуального кінозалу. Трансляція відеопрограм здійснюється за розкладом у режимі групової розсилки (multicast). Ця послуга більше цікава оператору, ніж користувачеві, тому що дає змогу заощаджувати ресурс мережі завдяки використанню режиму multicast і не завантажувати ядро мережі великою кількістю відеопотоків, які передають одне і теж саме відео приблизно в один і той самий час. Наприклад, під час виходу нового блокбастера імовірність його перегляду дуже висока. При цьому пік потоку

заявок може припасти на вечірній час (люди повернулися з роботи і вільні), а самі заявки надійдуть із різницею в кілька хвилин. У цьому разі оператор повинен у режимі unicast демонструвати кожному користувачеві персонально цей фільм. Тим самим може виникнути перевантаження мережі по смузі пропускання. Щоб передавати через мережу не безліч відеопотоків одночасно, а один, – оператор робить анонс популярного фільму і призначає йому вартість нижчу, ніж його вартість у разі замовлення за тарифами базової послуги VoD, і призначає час сеансу, що є зручним для середньостатистичного користувача. Сама оплата, як і для базової VoD або SVoD, відбувається за замовлення залежно від категорії фільму з можливістю безкоштовного перегляду трейлерів [7];

- PVoD (Push Video on Demand) – віртуальний VoD. Застосовується в системах і мережах, де ступінь інтерактивності є обмеженою, або слабка пропускна здатність мережі, чи є інші перешкоди, що ускладнюють трансляції прямим потоком, або роблять їх неможливою. Головною особливістю реалізації послуг PVoD є наявність самостійної пам'яті у приймаючого відеопристрою. Як правило, використовуються спеціальні відеореєстри, що здатні приймати та локально зберігати потік відео, що транслюється, на будь-якій доступній абоненту швидкості. Послуга PVoD надається саме після завершення завантаження, тобто коли абонент може локально виконувати всі стандартні процедури (перемотування, паузи, тощо) над фактично заздалегідь завантаженою відеопрограмою. Накопичені на реєстрі відеопрограми по мірі закінчення вільного місця будуть автоматично видалятися [7].

- TVoD (True Video on Demand) – це найбільш ресурсомісткий різновид послуг VoD, але, з іншого боку, найбільш інтерактивний. Тут замовлене абонентом відео транслюється безперервним потоком, без попереднього запису. Для підвищення ефективності цього типу роздачі, використовуються різні P2P-рішення [7].

До третьої групи найпопулярніших послуг IPTV, що були згадані вище, належать ті сервіси, які інтегруються ззовні і можуть бути приватною розробкою оператора зв'язку. Це, наприклад, ігри на базі різних технологій програмування, інтеграція із послугами IP-телефонії, різноманітні інформаційно-довідкові та комерційні сервіси (погода, курс валют, новини), тощо. Тут користувачі завдяки технології IPTV можуть створювати віртуальні пари, відвідувати телемагазини, спілкуватися у чатах, брати участь у форумах, надсилати текстові повідомлення, створювати записи-нагадування у календарях, сімейні фотоальбоми та багато іншого [1].

Слід ще раз звернути увагу на те, що в системах IPTV найважливішу роль відіграє властивість інтерактивності, яка дає змогу користувачеві під час перегляду телевізійних програм запитувати за допомогою пульта ДК через STB і отримувати на екрані різні додаткові відомості, наприклад, анонси майбутніх передач, поточну інформацію про програму та її авторів і учасників, тощо.

На завершення опису послуг технології IPTV також слід зазначити, що вони відносяться до сервісів концепції Triple Play Services, яка передбачає доставку всіх типів трафіку на основі трьох базових послуг – аудіо, відео та дані [6].

## 1.2 Архітектурні рішення системи IPTV

Спрощена архітектура IPTV у загальному вигляді представлена на рисунку 1.1 [1].

У її складі можна виділити такі основні функціональні блоки, що формують типовий комплекс IPTV [1, 8]:

- джерела контенту або постачальники контенту є посередниками між операторами/провайдерами, що надають послуги IPTV, і виробниками контенту. Джерела контенту можна розглядати як центр даних IPTV, у якому

контент, що приймається, кодується, обробляється і передається користувачам або ж накопичується в базі даних (БД);

- вузли послуг IPTV призначені для прийому відеопотоків у різних форматах із подальшою їх інкапсуляцією в пакети для передачі по IP-мережах;

- широкосмугові мережі охоплюють магістральні мережі та мережі доступу і відповідають вимогам за пропускну здатністю та показниками якості обслуговування;

- кінцеве обладнання користувача, до складу якого входить термінал STB, який виконує роль клієнта IPTV і термінує трафік послуг. Крім того, можуть входити шлюзи через які до системи підключаються домашні мережі.

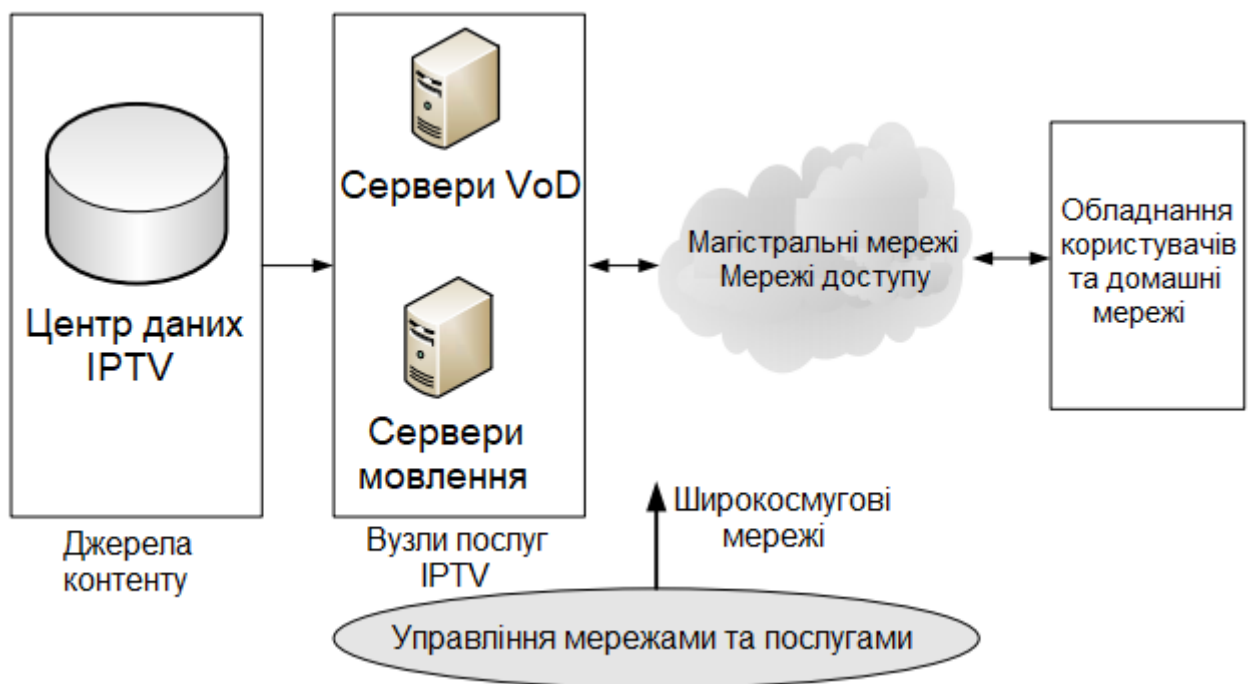


Рисунок 1.1 – Спрощена узагальнена структура IPTV

Спрощена архітектура, що наведена на рисунку 1.1, дає загальне розуміння організації системи IPTV у рамках існуючих мереж. Для того, щоб краще зрозуміти процеси, які відбуваються в мережі під час запити послуги в системі IPTV користувачем, розглянемо більш детально типовий

архітектурний комплекс цієї технології, який може мати вигляд, який відображений на рисунку 1.2 [8].



Рисунок 1.2 – Типовий архітектурний комплекс системи IPTV

Серед великої кількості рішень, що пропонуються, виділяють кілька основних вузлів, які формують функціональні блоки типової архітектури, такі як:

- головна станція і вузол кодування;
- підсистема VoD;
- сервісна платформа (Middleware);
- клієнтське обладнання (STB);
- підсистема умовного доступу (Conditional Assess System, CAS).

Розглянемо їх структуру, елементи та функції, що виконуються, докладніше.

### 1.2.1 Головна станція з вузлом кодування

Головна станція і вузол кодування реалізуються в одному функціональному блоці та являють собою програмно-апаратний комплекс, який забезпечує [8]:

- приймання сигналу від радіо і телевізійних станцій та супутників;
- формування потоків за груповими (multicast) та індивідуальними (unicast) IP-адресами;
- декодування і демультимплексування цифрових сигналів і MPEG-кодування аналогових сигналів із подальшим їх мультимплексуванням в IP-потоки.

Структуру та елементи головної станції та вузла кодування показано на рисунку 1.3. Зокрема в її структурі основними є такі елементи [8]:

- антенний пост, в основну задачу якого входить забезпечення прийому сигналів від ефірних станцій мовлення та супутників;
- цифрові супутникові приймачі або дескриптори, у задачу яких входить декодування цифрових сигналів, що отримані з антенного поста, і передача декодованих сигналів стримеру/мультимплексору;
- вузол цифрового кодування – реалізує MPEG-кодування аналогових і цифрових сигналів і передачу матеріалів стримеру/мультимплексору;
- стример/мультимплексор – це найважливіший елемент головної станції, який забезпечує мультимплексування даних та IP-мовлення таким чином, що кожен канал має свою унікальну адресу та порт IP-мовлення.

Головна станція IPTV повинна працювати з широким колом вхідних джерел відеоконтенту, зокрема [9]:

- супутникові TV-канали у форматі DVB-S;
- аналогове і цифрове некомпресоване відео, що отримується від студійного TV-обладнання у форматах SDI, S-video, композитний відеосигнал, через цифрові відеоінтерфейси DVI (Digital Video Interface) і HDMI (High-Definition Multimedia Interface);

- ефірні цифрові програми через інтерфейс DVB-T і аналогові ефірні канали у форматі композитного відео, яке отримане з виходу аналогових ефірних демодуляторів;
- відеоконтент, що передається через транспортні мережі у форматі IPTV (MPEG over IP).

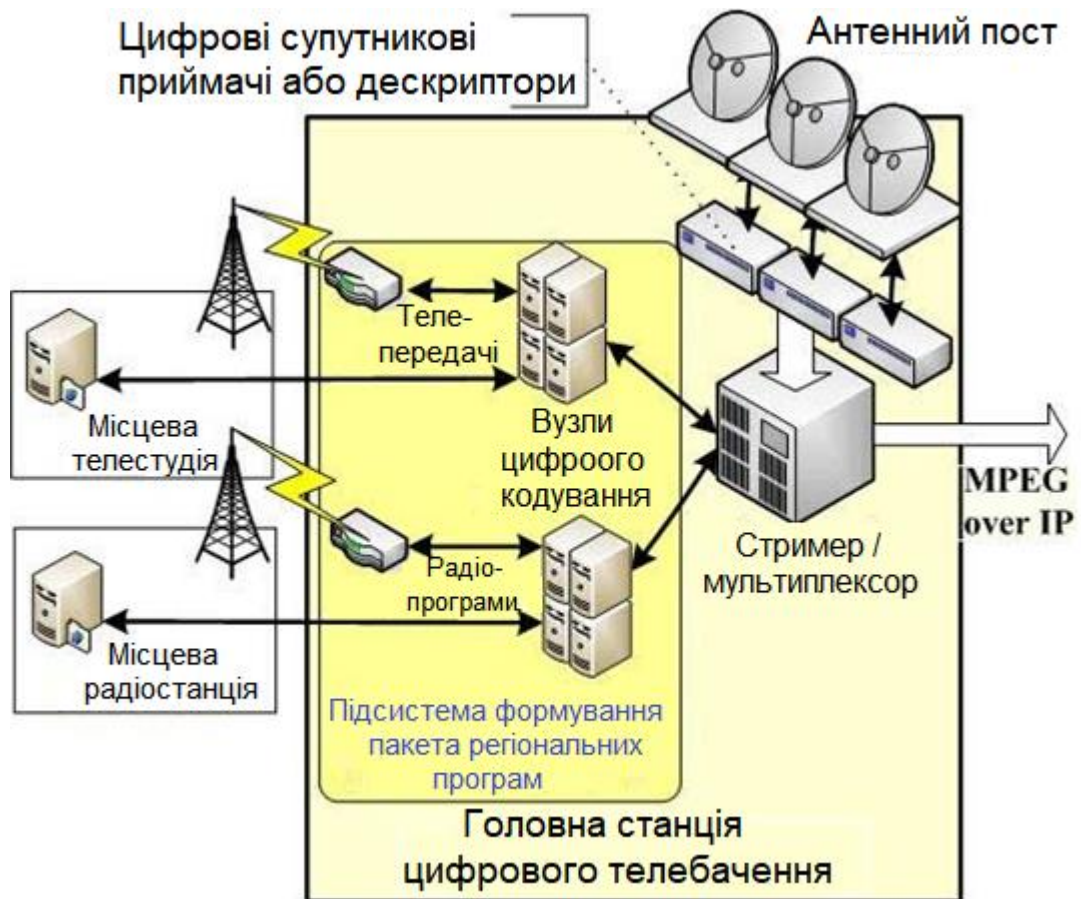


Рисунок 1.3 – Структура і елементи головної станції та вузла кодування IPTV

Головним процесом, який виконує головна IPTV-станція, є IP-інкапсуляція, під час якої забезпечується включення транспортних MPEG-пакетів в якості корисного інформаційного навантаження до складу IP-пакетів і подальша передача даних по традиційним пакетним мережам [9].

Серед інших функцій, які забезпечує головна станція системи IPTV, можна назвати такі [1]:

- трансрейтинг (Transrating) – зміна швидкості потоку даних;

- транскодування (Transcoding) – зміна формату стиснення мета-даних, наприклад, потік MPEG-2 транскодується в MPEG-4;
- енкодинг (Encoding) – компресія нестисненого відео з метою отримання на виході «енкодера» транспортного потоку у форматах MPEG-2 або MPEG-4 (зазначимо, що на вході відеосигнал може бути в аналоговому вигляді);
- декодування – відновлення вихідної нестиснутої інформації;
- скремблінг (Scrambling), під яким розуміється шифрування з використанням системи умовного доступу;
- де-скремблінг (De-scrambling) – операція дешифрування, під якою мається на увазі розкриття скрембльованих TV-каналів;
- мультиплексування вхідних однопрограмних або багатопрограмних транспортних потоків у необхідний оператору вихідний мультипрограмний транспортний потік із подальшою фільтрацією даних, які не є важливими або зайвими;
- редагування таблиць, що містять інформацію про конкретну програму.

### 1.2.2 Підсистема VoD

Підсистема VoD архітектури IPTV (рисунок 1.1 і 1.2) виконує задачі запису і програвання за запитом користувача відеоконтенту.

Елементами підсистеми VoD є [1]:

- центральний вузол, що являє собою апаратно-програмний комплекс (АПК), який розташований, як правило, у "центрі" мережі в безпосередній логічній близькості до системи CAS і головної станції;
- система управління контентом (Content Management System, CMS) – програмне забезпечення (ПЗ), що здійснює управління відеосерверами і розподілом контенту;

- відеосервер – АПК, який встановлюється для обслуговування груп користувачів на певній території, наприклад, у межах одного вузла агрегації.

Потоки даних, які формують контент підсистеми VoD, шифруються системою попереднього кодування, після чого вони разом із метаданими надходять у систему зберігання (сховище). Метадані є найважливішою складовою послуг VoD. Відповідно до них користувачеві може бути надано розгорнутий опис програми або фільму, трейлера, постера. Система управління контентом здійснює розподіл контенту на відеосервери відповідно до визначених правил (Рисунок 1.4) [1].

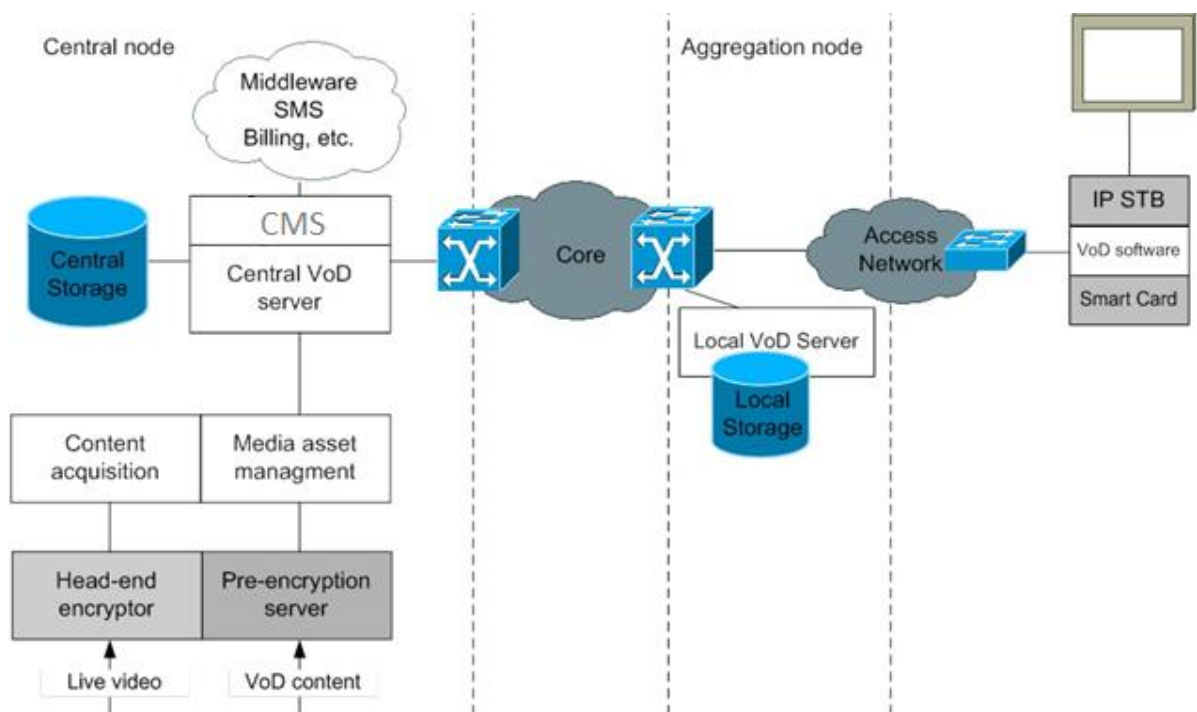


Рисунок 1.4 - Функціональна структура підсистеми VoD

При надходженні запиту користувача на отримання того чи іншого контенту, після процедур аутентифікації підсистемою CAS, сервісна платформа Middleware отримує від CMS посилання на найближчі вільні відеосервери, які мають у своїй базі контент, що був замовлений користувачем. Це дає змогу мінімізувати трафік unicast у ядрі мережі, оскільки більша частина мовлення VoD здійснюється з локального

відеосервера, який є найближчим до користувача. У результаті в ядрі мережі просувається трафік службових даних і розподілу відеоконтенту між центральним вузлом і відеосерверами. Він створює незначне навантаження і не висуває істотних вимог до мережі [1, 10].

Під час планування системи VoD необхідно враховувати її архітектуру та завантаження мережі. Центральний вузол здебільшого забезпечує отримання контенту та його розподіл по периферійних серверах, а також відпрацювання запитів користувачів у разі недостатності функціоналу периферійних відеосерверів. Необхідно зазначити, що на першому етапі впровадження та розвитку послуг VoD центральний вузол можна використовувати для надання послуг користувачам, а надалі, зі збільшенням кількості користувачів, знадобиться додаткове встановлення відеосерверів на вузлах агрегації [10].

### 1.2.3 Сервісна платформа управління IPTV Middleware

Платформа Middleware являє собою АПК, що реалізує підсистему управління всіма функціональними блоками архітектури IPTV (рисунок 1.2), а також забезпечує спрощення задач адміністрування та управління послугами, що надаються. Зокрема вона забезпечує [1, 8]:

- авторизацію абонента;
- формування програми передач (послуга EPG);
- формування інтерфейсу та інструментів управління системою IPTV;
- взаємодію з підсистемами VOD, CAS, головною станцією, клієнтським обладнанням STB;
- взаємодія з білінговими системами і системами підтримки бізнесу мережного оператора.

Сервісна платформа Middleware має відкриту архітектуру, що дає змогу ефективно реалізувати управління функціональними блоками IPTV і послугами, що надаються. Вона є єдиною вхідною точкою в систему IPTV,

через неї здійснюється взаємодія з усіма підсистемами IPTV (VoD, CAS тощо), а також із зовнішніми функціональними модулями і системами (білінгові системи, робоча станція адміністратора тощо), що дають змогу у повній мірі врахувати потреби мережних операторів та їх користувачів. Платформа складається зі шлюзу доступу, який організує доступ до серверів додатків із загальнодоступної мережі в приватну мережу. Також до складу Middleware входять сервери додатків, які забезпечують обробку всіх запитів, проводять розрахунки, роблять запити до інших інформаційних систем. Усі дані про користувачів, історії їх запитів зберігаються в БД [1].

#### 1.2.4 Клієнтське обладнання

Клієнтське обладнання (STB) забезпечує взаємодію між системами формування, доставки аудіо- та відеоматеріалів і TV-пристроєм користувача. STB являє собою мінікомп'ютер з операційною системою, web-браузером і декодером. Основними його функціями є встановлення з'єднання із системою IPTV через сервісну платформу Middleware, декодування і дешифрування відеопотоків, відображення управління з боку користувача. Серед такого обладнання виділяють як дуже прості пристрої з мінімальним набором функцій, так і ті, що підтримують широкий набір можливостей, наприклад, збір статистики, реалізацію деяких методів оцінки якості передачі відео (ЯПВ) тощо. [1, 8].

#### 1.2.5 Підсистема CAS

Підсистема CAS функціонально являє собою технічний засіб захисту аудіовізуальних та інших повідомлень і матеріалів, які розповсюджуються у складі TV-програми ефірними, кабельними та супутниковими мережами зв'язку. Також CAS дає змогу розмежовувати доступ користувача до мультимедійних послуг, дотримуватися авторських прав, забезпечувати захист

контенту від несанкціонованого доступу/копіювання. На рисунку 1.5 представлена схема шифрування мовного контенту за принципом «на льоту» [1].

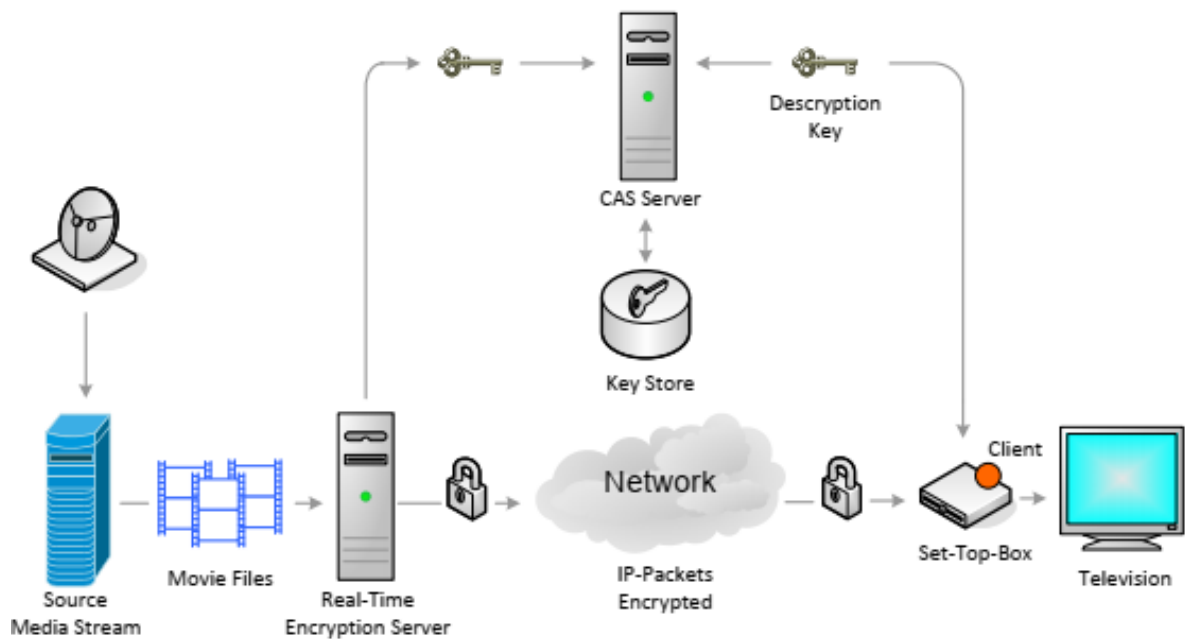


Рисунок 1.5 – Шифрування мовних каналів підсистемою CAS

Сервери шифрування мовних TV-каналів підписуються на multicast-групи відкритих каналів і шифрують їх на рівні компресії MPEG. Результатом шифрування каналу є нова multicast-група в мережі загального доступу. Клієнтське обладнання STB отримує ключі на канали, на які вони підписані під час завантаження і періодично оновлюються. При перемиканні каналів звернення за ключами не відбувається, що прискорює цей процес [1].

Шифрування контенту послуг VoD відрізняється від шифрування мовного контенту. Кожен відеофайл попередньо шифрується підсистемою CAS і через систему розподілу контенту потрапляє на відеосервери. Надалі, під час перегляду контенту, відбувається звернення STB до CAS за отриманням ключа, яким було закодовано цей контент. Наприклад, у разі запиту перегляду фільму користувачем відбуваються наступні дії [1]:

- користувач формує запит із використанням STB на перегляд відеоконтенту;

- сервер доступу, який стоїть на вході в мережу оператора, звертається до сервера користувача, до якого занесені всі користувачі, що підключені до послуги IPTV;
- призначений для користувача сервер звертається до БД де зберігається вся інформація про користувачів, стан їх рахунків, про придбаний відеоконтент, доступні послуги, вікові обмеження, тощо;
- якщо користувач має право на перегляд відеоконтенту, який ним був запитаний, то користувачеві надсилається посилання на сервер, що входить до складу системи відеосерверів VoD і відповідає за опрацювання запитів користувача;
- STB відправляє запит на зазначений сервер і у відповідь отримує посилання на відеосервер де зберігається файл із відеоконтентом, що був запитаний користувачем, і який розташовується найближче до нього;
- STB відправляє запит на відеосервер на здійснення перегляду відеоконтенту;
- відеосервер починає робити відтворення відеоконтенту у режимі unicast.

Розглянуте вище типове рішення щодо надання послуг IPTV (рисунок 1.2), підходить для великих операторів. Для дрібніших операторів або провайдерів існує альтернативний спосіб надання своїм користувачам послуг IPTV, без необхідності закупівлі дороговартісного обладнання та витрат на утримання кваліфікованого обслуговуючого персоналу. Такий спосіб отримав назву «агентська схема». Його зміст полягає в тому, що частина функцій підсистеми управління на основі Middleware перекладається на STB.

Таким чином, із вищенаведеного аналізу видно, що послуги IPTV є доволі перспективними та затребуваними користувачами, особливо ті з них, що належать до групи «Відео на вимогу» (VoD), тобто, які пов'язані з передачею відео по IP-мережі. Це фактично і зумовило надалі сформувані критерій вибору подальших досліджень у цій кваліфікаційній роботі. Слід

зазначити, що існує ще багато питань, які не є до кінця вирішеними під час реалізації та надання послуг IPTV і особливо послуг, що пов'язані з передачею відео. Тому особливу увагу слід приділити розробці та аналізу механізмів із забезпечення та оцінки якості надання таких послуг.

Зокрема, на основі аналізу послуг IPTV і типових архітектурних рішень організації системи IPTV показано, що потрібно забезпечити ефективну взаємодію великої кількості різнотипного обладнання, мережних елементів і програмних засобів. Проаналізовані особливості їх функціонування, що надалі дозволить більш точно обґрунтувати моделі здійснення оцінки ЯПВ та застосування існуючих суб'єктивних і об'єктивних методів.

## 2 ПОКАЗНИКИ ТА МЕХАНІЗМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ QoS В NGN

### 2.1 Показники QoS в NGN

Мережі NGN на відміну від традиційних мереж зв'язку є універсальними і орієнтовані на те, щоб надавати користувачеві будь-які послуги. При цьому однією з найважливіших проблем є забезпечення необхідного рівня QoS для кожної послуги, причому з урахуванням того, що вимоги до параметрів передачі різномірної інформації по мережі є специфічними для різних сервісів та додатків. Це не дає змоги сформулювати загальні вимоги щодо якості обслуговування користувачів в рамках єдиних мережних ресурсів [1].

У рекомендації ITU-T Y.1540 визначено наступні мережні параметри, що характеризують доставку IP-пакетів та є найбільш важливими з погляду ступеня їх впливу на QoS [11, 13]:

- пропускна здатність;
- надійність (мережі та/або мережних елементів);
- затримка та джиттер затримки;
- величина втрат;
- життєздатність мережі.

Зазначимо відразу, що під життєздатністю мережі будемо розуміти можливість збереження працездатності мережі у разі виходу з ладу окремих її елементів.

Пропускна здатність мережі фактично визначається як ефективна швидкість передачі даних. Вона вимірюється в бітах за секунду. У рекомендації ITU-T Y.1540 не наведено значень пропускної здатності для різних додатків, але зазначено, що параметри, які тим або іншим чином пов'язані з пропускною здатністю, можуть бути визначені за допомогою рекомендації ITU-T Y.1221 [12].

Надійність мережі або її мережних елементів може визначатися низкою параметрів. З них найчастіше використовується коефіцієнт готовності, який є відношенням часу роботоспроможності об'єкта до часу спостереження. В ідеальному варіанті коефіцієнт готовності має дорівнювати «1», що означає стовідсоткову готовність мережі [12].

Затримка доставки IP-пакета (IP Packet Transfer Delay, IPTD) визначається як час доставки IP-пакета між джерелом і одержувачем для всіх пакетів (як для тих, що успішно передані, так і для пакетів, що були уражені помилками). Середнє значення IPTD визначається як середнє арифметичне затримок IP-пакетів у визначеному наборі переданих і прийнятих пакетів. Наприклад, зростання навантаження і зменшення доступних мережних ресурсів призводять до збільшення черг у вузлах мережі і, відповідно, до підвищення значення середньої затримки доставки [13].

Варіація затримки IP-пакета (IP Packet Delay Variation, IPDV) або джиттер (jitter) являє собою відхилення значень затримки від заданої величини між вхідною і вихідною точками мережі. Джиттер проявляється у тому, що пакети, які регулярно передаються, прибувають до одержувача в нерегулярні моменти часу. В системах IP-телефонії, наприклад, це призводить до специфічних порушень передачі мови і її сприйняття, що проявляються як тріски або клацання, і в результаті мова може стати нерозбірливою [13].

Коефіцієнт втрат IP-пакетів (IP Packet Loss Ratio, IPLR) визначається як відношення сумарного числа втрачених пакетів до загальної кількості прийнятих пакетів у визначеному наборі переданих і прийнятих пакетів [13].

Коефіцієнт спотворених IP-пакетів (IP Packet Error Ratio, IPER) визначається як відношення сумарного числа пакетів, що були прийняті з спотвореннями, до суми успішно прийнятих пакетів і пакетів, що були прийняті із спотвореннями [13].

Мовна інформація та відеоінформація – це приклади трафіку, що є чутливим до затримок, а, відповідно, трафік звичайних даних до затримок є

менш чутливим. Коли затримка доставки пакета перевищує якийсь певне значення  $T_{max}$ , то пакет відкидається. У додатках реального часу (таких як IP-телефонія або системи відеоконференцій) – це один з факторів, який призводить до погіршення QoS [13].

Рекомендація ITU-T Y.1541 визначає для наведених вище мережних параметрів чисельні значення норм, яких слід дотримуватися в IP-мережах у разі реалізації міжнародних з'єднань. Ці норми розподілені за класами якості обслуговування, які визначені у відповідності з додатками та мережними механізмами, що застосовуються для забезпечення гарантованого QoS. У таблиці 2.1 наведені норми для розглянутих вище мережних параметрів [13 - 15].

Таблиця 2.1 – Норми для параметрів IP-мереж із розподілом за класами QoS

Мережні параметри	Класи QoS					
	0	1	2	3	4	5
IPTD	100 мс	400 мс	100 мс	400 мс	1 с	не нормов.
IPDV	50 мс	50 мс	не нормов.	не нормов.	не нормов.	не нормов.
IPLR	$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-33}$	$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$	не нормов.
IPER	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$	не нормов.

Значення параметрів, наведені в таблиці 2.1, являють собою, відповідно, верхні межі для середніх затримок, джиттера, втрат і спотворень пакетів. Рекомендація Y.1541 визначає також відповідність між класами QoS та додатками [14, 15]:

- клас 0 – об'єднує додатки реального часу, які чутливі до джиттера, що характеризуються високим рівнем інтерактивності, для якого характерна безпосередня взаємодія (діалог) користувачів через послугу зв'язку або через обладнання користувача (наприклад, VoIP, відеоконференції);

- клас 1 – об'єднує додатки реального часу, властивістю яких є чутливість до джиттера та інтерактивність;

- клас 2 – об'єднує транзакції даних, які характеризуються високим ступенем інтерактивності (наприклад, сигналізація);
- клас 3 – об'єднує транзакції даних, що генеруються інтерактивними додатками;
- клас 4 – об'єднує додатки з низьким рівнем втрат (наприклад, короткі транзакції, потокове відео, масиви даних);
- клас 5 – об'єднує традиційні види додатків, що надаються у IP-мережах.

## 2.2 Механізми забезпечення якості обслуговування в NGN

Окрім визначення мережних параметрів і значень норм для них міжнародні органи стандартизації також активно працюють над розробкою механізмів для забезпечення QoS в IP-мережах. На цей час визначені три основні групи механізмів, які структуровані відповідно із наступними логічними площинами, що показані на рисунку 2.1, зокрема: управління, даних і менеджменту [15, 16].

Група механізмів QoS, що відноситься до площини управління, працює із каналами, по яким здійснюється передача трафіка користувачів. До цієї групи входять такі механізми [15]:

- управління доступом у разі здійснення з'єднання (Call Admission Control, SAC). Цей механізм робить контроль за надходженням нових заявок і, при цьому, визначає, чи може трафік, що знову надходить, спричинити перевантаження у мережі або погіршити рівень QoS трафіку, який вже є у мережі. Прикладом, що реалізує цей механізм, є протокол TCP;
- QoS-маршрутизація (QoS Routing) відповідає за вибір шляху, який задовольняє вимогам до QoS, що висуваються конкретним потоком даних. Зазвичай під час здійснення обчислення оптимального шляху в QoS-маршрутизації враховують або одну мережну характеристику, або, максимум

дві (вартість/продуктивність, продуктивність/затримка, вартість/затримка, тощо). В якості протоколів QoS-маршрутизації можуть виступати протоколи OSPF або BGP;

- резервування ресурсів (Resource Reservation). В IP-мережах найтипівішим і найпоширенішим механізмом резервування ресурсів є механізм, що базується на однойменному протоколі резервування ресурсів (Resource Reservation Protocol, RSVP). Зазначимо, що ефективність застосування цього протоколу значно зростає у разі використання в технологіях MPLS і VPN.

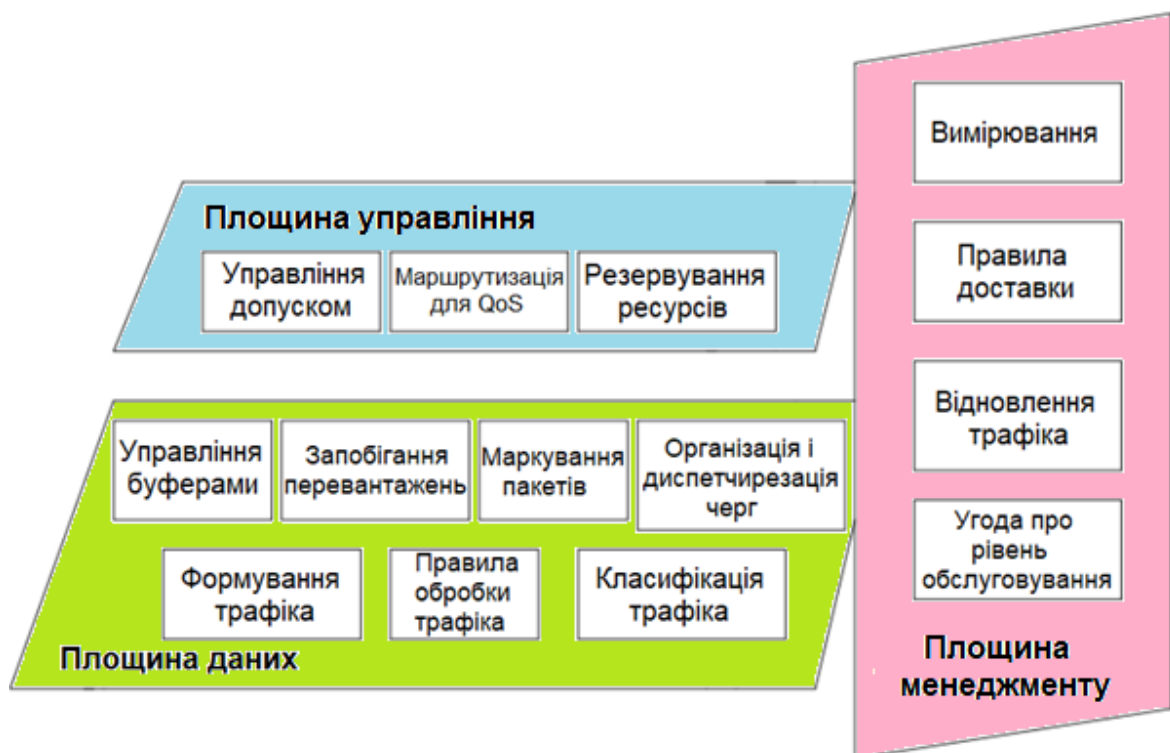


Рисунок 2.1 – Механізми забезпечення QoS та їх структуризація за логічними площинами відповідної моделі

Група механізмів QoS площини даних взаємодіє безпосередньо з трафіком користувача. До цієї групи входять такі механізми [15, 16]:

- управління буферами вузлів (Buffer Management) або чергами, яке полягає у здійсненні управління пакетами, що стоять у черзі на передачу.

Основні задачі такого управління - це мінімізація середньої довжини черги у разі одночасного високого використання каналу, а також забезпечення справедливого розподілу буферного простору між різними потоками даних. Типовим прикладом активного управління чергами є алгоритм імовірнісного завчасного виявлення перевантаження (Random Early Detection, RED), у разі використання якого, пакети, що надходять у буфер, відкидаються на підставі визначеної оцінки середньої довжини черги, а імовірність скидання пакетів підвищується із зростанням середньої довжини черги;

- управління параметрами трафіку (Traffic Shaping) – передбачає контроль швидкості та обсягу потоків, що надходять на вхід мережі. При проходженні через спеціальні формувальні буфери зменшується пачечність початкового трафіку, і його характеристики стають більш прогнозованими. Серед такого роду механізмів найбільш відомі Leaky Bucket («діряве відро») і Token Bucket («кошик маркерів»). Алгоритм Leaky Bucket регулює швидкість пакетів, що залишають вузол. Незалежно від швидкості вхідного потоку, швидкість на виході вузла є постійною. Коли «відро» (буфер) переповнюється, зайві пакети відкидаються. На відміну від цього, алгоритм Token Bucket не регулює швидкість на виході вузла і не скидає пакети. Швидкість пакетів на виході вузла може бути такою ж, як і на його вході, якщо тільки у відповідному буфері («кошику») є маркери. Маркери генеруються з певною швидкістю і далі накопичуються в буфері. Алгоритм характеризується двома важливими параметрами – швидкістю генерації маркерів і розміром буфера («кошика») для них. Пакети не можуть покинути вузол, якщо в буфері немає маркерів. І навпаки, одразу група пакетів може покинути вузол, використавши необхідну кількість маркерів [15];

- запобігання перевантажень (Congestion Avoidance) – задачею цих механізмів є підтримка потрібного рівня навантаження в мережі, що має бути трохи нижчим за пропускну здатність мережі. Звичайний шлях запобігання перевантажень передбачає зменшення трафіку, що надходить у мережу. Як правило, обмеження трафіку насамперед застосовується до

низькопріоритетних його джерел. Одним із найпоширеніших прикладів механізму запобігання перевантаженням є механізм вікна, що застосовується у протоколі TCP;

- маркування пакетів (Packet Ordering). Тут пакети можуть бути марковані відповідно із певним класом обслуговування. Маркування зазвичай проводиться у вхідному вузлі, де у спеціальне поле заголовка (Type of Service, ToS, яке знаходиться у заголовку IP-пакета) вводиться певне значення. Зазначимо, що в моделі забезпечення диференційованих послуг (DiffServ), яка є однією з найпоширеніших технологій QoS в IP-мережах, поле ToS містить 64 біти і називається полем коду диференційованих послуг (Differentiated Services Code Point, DSCP) або DS-байтом – байтом диференційованої послуги. Зазначимо також, що модель DiffServ рекомендована до застосування в NGN (рекомендація ITU-T Y.1291) і є основою для формування стандартів QoS не тільки в IP-мережах, але також у мережах на основі технологій Wi-Fi (стандарт IEEE 802.11e) і WiMax (стандарт IEEE 802.16m) [15, 16];

- організація і планування черг (Queuing and Scheduling). Особливістю цього механізму є вибір пакетів, що стоять у черзі на обслуговування, для передачі з буфера у канал. Більшість дисциплін обслуговування (або так званих планувальників) заснована на принципі «перший прийшов – перший обслуговується» (First In, First Out, FIFO). Для забезпечення більш гнучких процедур виведення пакетів із черги використовуються схеми, в основі яких лежать механізми формування декількох черг. Наприклад, так звані механізми пріоритетного обслуговування, гнучкої організації черги. В основі останнього механізму лежить принцип зваженої справедливої буферизації (Weighted Fair Queuing, WFQ), при якому обмежена пропускна здатність на виході вузла розподіляється між декількома потоками (чергами) у залежності від вимоги до пропускної здатності з боку кожного потоку. Ще один принцип організації черги ґрунтується на класифікації потоків за класом обслуговування черги (Class-Based Queuing, CBQ). Потоки трафіку

класифікуються відповідно до певних класів обслуговування, а потім розміщуються в буфері в різних чергах. Кожній черзі виділяється потрібний відсоток вихідної пропускної здатності залежно від класу, а самі черги обслуговуються за циклічною схемою [15];

- класифікація трафіку (Traffic Classification). Пакети класифікуються на вході в мережу у вузлі доступу (наприклад, прикордонному маршрутизаторі). Це необхідно для того, щоб виділити групу пакетів, які належать до одного потоку, який характеризується загальними вимогами до QoS. Потім трафік піддається процедурі нормування (Traffic Conditioning), яка передбачає вимірювання параметрів трафіку і порівняння отриманих результатів вимірювань з параметрами, які вказані в угоді про рівень обслуговування (Service Level Agreement, SLA). Якщо умови, що прописані в SLA, будуть порушуватися, то частина пакетів може бути відкинута.

Група механізмів QoS у площині менеджменту охоплює такі з них, що стосуються експлуатації, адміністрування та управління мережею відповідно до доставки трафіку користувача. Основними механізмами цієї групи є наступні [15]:

- вимірювання (Metering) – забезпечують контроль показників обслуговування трафіку (наприклад, реальна швидкість потоку даних порівнюється зі швидкістю, яка прописана в SLA). За результатами вимірювань можуть бути реалізовані певні процедури (наприклад, скидання пакетів), а також можуть бути застосовані алгоритми Leaky Bucket і Token Bucket, особливості яких стисло були описані вище;

- угода про рівень обслуговування (SLA) – це договір між користувачем і провайдером послуг, в якому описуються основні характеристики трафіку. Наприклад, описуються параметри трафіку, що формується в обладнанні користувача, а також параметри QoS, які надає провайдер.

## 3 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕО В СИСТЕМАХ IPTV

### 3.1 Методи суб'єктивної оцінки якості передачі відео

Суб'єктивні методи оцінки QoS у більшій мірі враховують специфічні фактори відеододатків, ніж мережні параметри. Вони дають змогу загалом оцінити послугу IPTV на етапі її впровадження. В основі методів суб'єктивної оцінки ЯПВ лежить метод, що ґрунтується на суб'єктивній оцінці якості групою незалежних експертів, і відомий як усереднена сукупна оцінка (Mean Opinion Score, MOS). Первісно цей метод був описаний у Рекомендації ІТУ-Т Р.800, що використовувалася для суб'єктивного оцінювання якості передачі голосу [16, 17].

Для методів суб'єктивної оцінки можна виділити три основні етапи проведення тестування: вибір або поєднання способів демонстрації відеопослідовностей, визначення методики збору міркувань експертів, вибір методики обробки отриманих результатів. Комбінації можливих методик у перерахованих етапах дають змогу реалізовувати різні методи проведення суб'єктивної оцінки. Проаналізуємо їх більш детально [17, 18].

#### 3.1.1 Метод MOS

У відповідності з методом MOS якість передачі відео, що отримується при проходженні сигналу від джерела через мережу зв'язку до приймача, оцінюється як середнє арифметичне від усіх оцінок, які виставляють експерти після перегляду відео, переданого по тракту передачі, що підлягає тестуванню. Експертні оцінки визначаються за п'ятибальною шкалою: 5 (відмінно), 4 (добре), 3 (прийнятно), 2 (погано); 1 (неприйнятно), при цьому [17, 18]:

- бали 4-5 показують еталон якості;

- бали 3-4 – це рівень прийнятної комунікаційної якості;
- бали нижче 3 – це синтетична якість.

Очевидно, що цей метод не враховує низку факторів, що є типовими для мереж передачі даних та які впливають на ЯПВ в системах IPTV [18].

У методі, що ґрунтується на MOS, відсутня можливість на кількісному рівні врахувати фактори, що впливають на якість відео, а саме не враховуються: наскрізна затримка («End-to-End») між джерелом відео та приймачем, вплив джиттера і втрати пакетів. Також метод MOS не надає змоги здійснювати контроль якості у реальному масштабі часу (РМЧ) і, відповідно, вчасно реагувати на можливі проблеми в мережі та попереджувати погіршення якості послуг. Тому цей метод зазвичай застосовують для первинної оцінки мережі у разі тестування нового обладнання або нової послуги. Також цей метод є досить затратним, оскільки для отримання достовірної оцінки необхідно запросити групу незалежних експертів, у складі порядку 15-50 фахівців. З іншого боку, на цей час це один із найточніших методів оцінки якості відео. У межах Рекомендації ІТУ-Р ВТ.500-13 запроваджуються додаткові методи для підвищення точності оцінки ЯПВ групою експертів. Ці методи поділяються на три групи [17, 19]:

- методи «double stimulus» передбачають послідовне відтворення кожної пари відео, що складається з опорного відео і відео, що тестується;
- методи «single stimulus» реалізують відтворення та оцінку тільки послідовності, що тестується;
- методи «stimulus comparison» представляють відтворення пари різних відеопослідовностей і робиться оцінка їх якості відносно одна одної.

У методах шкали постійної якості одного стимулу (Single Stimulus Continuous Quality Scale, SSCQS) або шкали постійної якості подвійного стимулу (Double Stimulus Continuous Quality Scale, DSCQS) відеопослідовність, що тестується, або пара відеопослідовностей (опорна і та, що тестується та яка зазнала впливу, що погіршує її якість), відтворюються та оцінюються за 5-ти бальною шкалою групою експертів [19].

Метод шкали погіршення стану подвійного стимулу (Double Stimulus Impairment Scale, DSIS) є аналогічним методу DSCQS, тільки послідовність, що тестується, оцінюється у порівнянні з еталонною послідовністю іншого змісту за дискретною шкалою [19]:

- незначне погіршення якості;
- помітне погіршення, але не дуже дратує;
- трохи дратує;
- дратує;
- дуже дратує.

Метод порівняння стимулів (Stimulus Comparison, SC) має на увазі, що програються дві відеопослідовності, робиться оцінка якості однієї відеопослідовності відносно іншої (наприклад, гірше, однаково, краще) [19].

Метод постійної оцінки якості одного стимулу (Single Stimulus Continuous Quality Evaluation, SSCQE) неперервно робить оцінку однієї програми тривалістю 10 - 20 хвилин, а не серію тестових сцен. Група експертів виставляє оцінки за 5-ти бальною шкалою. Оцінка залежить, у тому числі, і від змісту програми [19].

### 3.1.2 Метод PQR

Метод оцінки якості зображення (Picture Quality Rating, PQR) надає можливість визначити здібність користувача щодо «бачення» (фіксування) різниці між еталонним відео та відео, що тестується, в той час як MOS визначає шкалу експертних оцінок і дає змогу виставляти їх будь-якому відео. Цей метод ґрунтується на алгоритмі помітної різниці (Just Noticeable Difference, JND), який оцінює можливості сприйняття зорової системи людини. Алгоритм JND визначає кількість впливу, яку потрібно застосувати, щоб користувач зміг помітити різницю між двома сигналами щонайменше у половині випадків. Під час експерименту, який ґрунтується на JND, робиться порівняння двох відеопослідовностей: еталонного відео та відео, що

тестується та яке формується завдяки штучному додаванню на еталонне відео впливу, що погіршує його сприйняття [18, 20].

Відео, що тестується ( $Video_{\text{тест}}$ ), можна представити так [1]:

$$Video_{\text{тест}} = Video_{\text{еталон}} + k (Video_{\text{погірш.}} - Video_{\text{еталон}}),$$

де  $Video_{\text{еталон}}$  – оригінальна відеопослідовність;

$Video_{\text{погірш.}}$  – оригінальна відеопослідовність, що спотворена впливом, що погіршує її сприйняття;

$k$  – коефіцієнт, який встановлюється під час експерименту,  $0 < k < 1$ .

Під час експерименту експертній групі показують відео, що тестується, та еталонне кілька разів за різних значень  $k$  і просять визначити, яке з переглянутих відео зазнало впливу, що погіршує його якість. При низьких значеннях  $k$ , коли різниця між відео, що тестується, та еталонним є невеликою, – правильні відповіді становлять десь 50%. У разі збільшення  $k$  відсоток правильних відповідей буде зростати. Дослідження реакції експертів показали, коли глядачі правильно ідентифікують відеопослідовність, що тестується, то у 75% випадків, різниця між відео, що тестується, та еталонним становить «1» в оцінках JND, якщо правильних відповідей десь 87%, то різниця між відео, що тестується, та еталонним відео становить «2» в оцінках JND [1].

Таким чином, метод PQR перетворює різницю, яка може бути сприйнята між відео, що тестується, та еталонним відео у значення, яке показує здатність глядача «помічати» відмінності між відеопослідовностями. Експерименти, які спрямовані на оцінку чутливості сприйняття, визначають рівень здатності глядача помічати різницю. Цей метод підходить для оцінювання послуги передавання відео на етапі її впровадження, коли реалізується вибір формату, стандарту кодування, технології передачі, здійснюється підбір експертів для проведення тестів щодо оцінки якості

відео. Водночас цей метод неприйнятний для оцінювання ЯПВ в процесі надання послуг IPTV, оскільки не дає змоги у реальному масштабі часу контролювати якість передачі відео, що доставляється кожному користувачеві послуги [20].

### 3.1.3 Метод визначення різниці за усередненою сукупною оцінкою

Метод визначення різниці за усередненою сукупною оцінкою (Difference Mean Opinion Score, DMOS) обчислює різницю між оцінками MOS еталонного відео та відео, що тестується. Він порівнює пару відеопослідовностей: еталонне відео та відео, що тестується (та ж сама послідовність, яка зазнала впливу, що погіршив її якість). Глядачі спочатку оцінюють за 5-ти бальною шкалою еталонну послідовність, а потім ту, що тестується. Оцінки MOS відеопослідовностей, що тестуються, віднімаються від оцінок еталонних послідовностей MOS, що і визначає оцінку за методом DMOS [18, 20].

Перед початком експерименту групі експертів показують відео («тренувальна» відеопослідовність) і пропонують оцінити його якість. Подальші оцінки експертів орієнтуватимуться на якість саме цієї відеопослідовності. Наприклад, якщо в експерименті приймають участь дві групи експертів, то одній показують тренувальне відео з хорошою якістю, іншій групі показують відео з гіршою якістю. Відповідно, оцінки послідовності, що тестується, також будуть різними. Таким чином, значення DMOS залежать від діапазону, в якому розташовані оцінки «найкращого і найгіршого випадку» передачі тренувальної відеопослідовності, і мають відносний характер [20].

Метод DMOS використовують, коли різниця між відеопослідовностями неочікувана, тобто неможливо передбачити, в який момент і з якої причини станеться погіршення відео, або взагалі необхідно визначити кількісно цю різницю, тоді як метод PQR більше підходить для оцінювання здатності глядача помітити хоч якусь різницю між досліджуваними

відеопослідовностями. Тобто метод DMOS має відносний характер і не відображає процеси, що відбуваються у мережі [20].

### 3.1.4 Метод суб'єктивної оцінки якості відео

Метод суб'єктивної оцінки якості відео (Subjective Assessment Method for Video Quality evaluation, SAMVIQ) був створений у Європейському союзі телерадіомовлення (European Broadcasting Union, EBU). Цей метод реалізований у вигляді програмного додатка, що має назву MSU Perceptual Video Quality tool, розробленого для здійснення оцінки якості відеофайлів. У додатку використовується метод «порівняння наосліп», який полягає в послідовному відтворенні двох файлів. При цьому невідомо, які саме файли порівнюються в конкретний момент часу. До переліку функцій включено два типи порівняння та аналіз «стабільності» показників [1, 21].

MSU Perceptual Video Quality Tool складає тест, потім пограє файли за допомогою функції «Player». І далі повторює цю пару відеофайлів кілька разів для отримання графіка стабільності. Додаток підтримує близько 30-ти відеоформатів, зокрема з 10-, 14- і 16-бітною глибиною кольору. Формати, що підтримуються, зокрема такі: AVI, YUV і Y4M (YUV, YV12, UYVY, тощо), BMP, MOV, VOB, WMV та інші [21].

Експертам показують спочатку первісну відеопослідовність, на якість якої вони надалі орієнтуватимуться, з метою створити загальну шкалу оцінок, тобто щоб оцінка "відмінно" означала приблизно одне і те ж саме у різних експертів. Під час тесту експертам показують відеопослідовності, що були стиснуті різними кодеками, причому експерт не знає, яким саме кодеком закодована відеопослідовність (для цього їх позначають буквами). Основна задача експерта зробити оцінку відео, що демонструється, за шкалою від 1 до 100. Ці оцінки потім опрацьовуються і усереднюються [1].

Оскільки оцінка відео проводиться людиною, на нього можуть впливати зовнішні фактори (наприклад, черговість показу відеопослідовності

або «ефект пам'яті»). Під час перегляду великої кількості відео в експерта стирається грань між якістю різних відеопослідовностей. Для подолання цієї проблеми в методі SAMVIQ, по-перше, періодично під час проведення тесту демонструють первісну оригінальну відеопослідовність, і, по-друге, експерту дозволено повторно переглядати відео і змінювати свої оцінки. Як і всі суб'єктивні методи, SAMVIQ не використовується для оцінювання якості в РМЧ і, в основному, застосовується для суб'єктивного порівняння сучасних відеокодеків [1].

Для більш наочного порівняння основні особливості та характеристики розглянутих вище суб'єктивних методів оцінювання ЯПВ зведені до таблиці Б.1, що наведена в Додатку Б. Зазначимо, що суб'єктивні методи не враховують особливостей пакетних мереж і не дають змоги оцінювати якість відео в РМЧ, тому в цьому напрямку потрібно здійснювати розробку нових моделей, методів і механізмів оцінювання.

### 3.2 Методи об'єктивного оцінювання якості передачі відео під час надання послуг IPTV

Методи оцінювання ЯПВ, що на цей час застосовуються, ґрунтуються на аналізі параметрів мережі. Вони є фактично тими ж засобами, що використовуються для контролю якості передачі голосової інформації, тобто засновані на вимірюванні параметрів транспортної мережі. На відміну від суб'єктивних методів, об'єктивні методи не надають уявлення про те, що ж насправді бачить користувач на екрані свого TV-пристрою, тому що по суті вони роблять різниці між пакетами, що переносять відео або іншу інформацію. Різні видимі спотворення, такі як мерехтіння, блочність, застигли відеокадри, – викликані різним рівнем втрат. Таким чином, складно розробити метод об'єктивного оцінювання ЯПВ, що буде ґрунтуватися на одному або декількох мережних показниках. Існує низка методів і ще більше

метрик, які суттєво різняться між собою і базуються на різних підходах. Розглянемо найосновніші з них більш детально [1, 22].

### 3.2.1 Індекс доставки мультимедіа

Індекс доставки мультимедіа (Media Delivery Index, MDI), первісно був описаний у Рекомендації IETF RFC 4445. Він надає на цей момент часу найпростіший у реалізації метод щодо контролю якості послуг передачі відео та іншої інформації, яка є чутливою до затримок і втрат пакетів, в IP-мережах. MDI визначає критичний розмір буфера приймального пристрою, що зумовлений джиттером і втратою пакетів. Час вимірювань може варіюватися від досить великого інтервалу (щоб побачити аномальну ситуацію на мережі), до нескінченно великого – для здійснення постійного контролю [22].

MDI складається з двох параметрів: фактора затримки (Delay Factor, DF), який вимірюється в мс, і параметра втрат пакетів (Media Loss Rate, MLR), який вимірюється в пакетах за секунду [22].

Фактор затримки являє собою максимальну різницю між реальним часом прибуття пакета та очікуваним, що спостерігається під час приймання кожного пакета транспортного потоку. DF визначає час, на який потік даних повинен поміщатися в буфер приймального пристрою для досягнення постійної швидкості передачі і запобігання втрат даних. Таким чином, DF враховує джиттер і розмір буфера, що допомагає уникнути втрат пакетів через спустошення буферів, наприклад, у разі великого значення затримки і недостатнього розміру буфера. Значення DF може бути в діапазоні від 0 до 50 мс (згідно з Рекомендацією ITU-T G.1050, де описана добре контрольована мережа, по якій здійснюється передача звуку та відео) [1, 22].

Параметр втрати пакетів визначає кількість втрачених пакетів або прийнятих з помилками за період часу, що досліджується. В ідеальному випадку параметр MLR має нульове значення, але на практиці всі без

винятку мережі мають певний рівень втрат IP-пакетів. Так, при втратах менше 0,5% пакетів вважається, що мережа забезпечує хорошу якість відео для кінцевого користувача. При втратах біля 5% з'являються помітні для користувача проблеми, наприклад, розпад зображення на квадрати, змазаність, тощо [1, 22].

Довжина кожного пакета транспортного потоку MPEG-2 становить 188 байт. Як правило, якщо для передачі використовується технологія Ethernet, для якої розмір поля даних не може перевищувати 1500 байт, то в одному IP-пакеті передаються сім пакетів транспортного потоку MPEG-2. Втрата одного такого кадру Ethernet буде свідчити про втрату семи пакетів даних MPEG-2 [22].

Однією з основних переваг індексу MDI є локалізація проблем, що виникають в мережі, оскільки MDI дає змогу проводити вимірювання в різних точках мережі. У свою чергу це дає змогу отримати дані, що вказують на наявність проблеми в мережі до того, як вона призведе до погіршення якості відео. Для вимірювання індексу MDI використовується інформація транспортного заголовку, водночас MDI не залежить від типу відеокодека, що дає змогу проводити вимірювання одночасно на великій кількості каналів і для зашифрованих відеопотоків. Оскільки метод MDI є орієнтованим на мережні параметри, то його можна використовувати для встановлення порогових значень у мережі, досягнення яких буде сигналізувати про наближення проблеми, що впливатиме на якість відео. Також він може застосовуватися для контролю мережного обладнання, на якому найчастіше трапляються затримки і втрати пакетів [1].

До недоліків індексу MDI можна віднести те, що він не дає чіткого розуміння, що за картинку бачить користувач на екрані. За своєю суттю параметр лінійно відображає характеристики мережі, тоді як відеодані залежно від алгоритмів стиснення відрізняються нелінійністю, і, як результат, значення мережних параметрів, що будуть задовільними в одному випадку, можуть виявитися критичними для якості відео в іншому [1].

### 3.2.2 Метод VQM

Метод вимірювань якості відеозображень (Video Quality Measurement, VQM) первісно був описаний у Рекомендації ITU-R BT.1683. Він базується на тому, що в більшості випадків під час оцінювання якості зображення користувач є менш уважним до дрібних деталей, тому що його основна увага концентрується на великих об'єктах. Для отримання відео, яке буде придатним для передачі мережею, його піддають кодуванню та стисненню. Переважно методи стиснення інформації, що використовуються на цей час, є методами з незворотними втратами, які виникають під час скорочення просторової, часової та спектральної надмірності. Отже, можна представити високочастотну часову і просторову інформацію з меншою точністю, а втратою якості у такому разі можна знехтувати, тому що людське око малочутливе до спотворень на подібному рівні. Метод VQM оцінює видимий результат погіршення відео, враховуючи змазаність, тремтіння, блоковість, шум, погіршення кольору. Надалі всі ці параметри комбінуються в одну метрику для оцінки якості [1, 18].

Результати тестування показують, що VQM має високу кореляцію із суб'єктивними методами оцінювання ЯПВ та претендує на те, щоб у майбутньому стати стандартом у сфері об'єктивного оцінювання якості. Так як у ньому для розрахунку якості передачі відбувається порівняння початкового та отриманого в кінцевій точці відео, то для його практичного втілення потрібне високопродуктивне обладнання, що робить цей метод не придатним для оцінювання якості відео в РМЧ, коли одночасно необхідно проводити аналіз великої кількості потоків [1].

### 3.2.3 Метод на основі метрики MPQM

Найефективнішим методом оцінювання якості зображення в системах IPTV є використання так званих «гібридних» метрик, тобто метрик, які в якості

вхідних параметрів використовують інформацію із заголовків пакетів, цифрового потоку і декодованого відеосигналу. Наразі розробки в цій галузі знайшли практичне застосування в метриці оцінки якості рухомих зображень (Moving Picture Quality Metric, MPQM). Практична реалізація моделі MPQM заснована на гібридній метриці якості «V-фактор», яка виконує контроль у РМЧ [22].

Процес формування такої метрики якості складається з декількох кроків. На першому кроці аналізується вся відеопослідовність. Її пропускають через набір спеціальних фільтрів, які вимірюють кількість спотворень. У результаті формується кілька каналів. Для кожного каналу обчислюється контрастна чутливість і маска, що необхідна для корекції спотворень. Накладення маски відбувається тільки в тому разі, якщо помилка перевищує заздалегідь задане порогове значення, що дає змогу усунути найпомітніші спотворення. Обчислення метрики відбувається на основі параметрів, що отримуються на виході фільтрів, для кожного блоку даних за допомогою виразу [23]:

$$E = \left( \frac{1}{N} \sum_c \left( \frac{1}{N_x N_y N_t} \sum_{t=1}^{N_t} \sum_{x=1}^{N_x} \sum_{y=1}^{N_y} |e[x, y, t, c]| \right)^\beta \right)^{\frac{1}{\beta}}, \quad (3.1)$$

де  $e[x, y, t, c]$  – сигнал помилки, яка має координати  $(x, y)$  та яка виникла у момент часу  $t$  у поточному блоці даних, що оброблюється в каналі  $c$ ;

$N_x, N_y$  – відстані по горизонталі та вертикалі;

$N_t$  – час передачі блока даних;

$N$  – кількість каналів (наборів фільтрів), що необхідні для обробки даних;

$\beta$  – параметр Минковського, який зазвичай становить 4.

Масштаб зображення зазвичай вимірюють у децибелах. Додатковою метрикою, яку використовують під час оцінювання якості відеоінформації, є масковане пікове відношення сигнал-шум (MPSNR) [23]:

$$MPSNR = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{255^2}{E^2} \right). \quad (3.2)$$

Перевагами цього методу є орієнтованість на сприйняття людиною відео, можливість здійснення контролю на будь-якому етапі – від формування сигналу до його доставки, наявність інформації про фактичний стан відеозображення. Таким чином, MPQM контролює параметри відеопотоку, причому саме з точки зору користувача. Однак, попри те, що цей метод дає змогу доволі повно та точно оцінити якість зображення, яке бачить користувач, він є витратним із погляду використання ресурсів і не підходить для застосування в РМЧ [1, 22].

### 3.2.4 Метод оцінки кількісної міри шуму

В основі методу оцінювання якості відеозображення за кількісною мірою шуму (Noise Quality Measure, NQM) лежить підрахунок впливу адитивного шуму на вихідний сигнал. Тут спотворене зображення моделюється як початкове, що було піддано лінійним частотним спотворенням і додаванням адитивного шуму. Ефекти від частотного спотворення і впливу шуму, що сприймаються людським оком, є незалежними, і під час експерименту ці два джерела погіршення відео розділяють, а потім вимірюють, наскільки ефект, який вони створюють, є видимим. У процесі обчислення NQM розглядаються такі аспекти, як: зміни контрастної чутливості з відстанню, розміри зображення і просторової частоти; зміна локальної яскравості середнього значення; контрастна взаємодія між просторовими частотами і маскувальними ефектами. [18, 24].

Спотворене зображення обробляється алгоритмом відновлення, що призводить до появи зображення з лінійними спотвореннями та адитивним шумом. Первинне зображення також обробляється тим самим алгоритмом відновлення, результатом якого є також поява зображення з лінійними

спотвореннями. NQM зазвичай виражається в (дБ) і обчислюється за формулою [24]:

$$NQM = 10 \lg \left( \frac{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} B^2_{x,y}}{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} [B_{x,y} - \hat{B}_{x,y}]^2} \right), \quad (3.3)$$

де  $B_{x,y}$  і  $\hat{B}_{x,y}$  – еталонне і спотворене зображення, відповідно, з розмірністю  $M \times N$ .

Такий підхід дає змогу визначити фундаментальне співвідношення між спотворенням і шумом, щоб поліпшити алгоритми відновлення відеопослідовностей, що отримуються, але він не дає повного уявлення про ситуацію, тому що не враховує більшість мережних параметрів і специфічних особливостей відеододатків. [1].

### 3.2.5 Метод оцінки якості відео на основі відношення сигнал/шум

Метод вимірювання пікового відношення сигнал/шум (Peak Signal to Noise Ratio, PSNR) належить до найбільш традиційних методів вимірювання якості системи обробки та передачі цифрового відео (вимірюється в [дБ]). Пікове відношення сигналу до шуму вимірюється між вихідним сигналом і сигналом на виході системи. Цей метод не дає змоги виміряти всі специфічні для відео параметри, оскільки точність подання зображення постійно змінюється залежно від його візуальної складності, доступної швидкості передачі і навіть методу компресії [18].

Таким чином, даний метод не може визначити наскільки помітними ці спотворення будуть для користувача. Основною перевагою метода PSNR є його невисока обчислювальна складність. Тому, часто саме PSNR беруть за основу для створення різноманітних моделей оцінки ЯПВ та доповнюють його необхідними показниками [24].

Пікове відношення сигналу до шуму найпростіше визначити через середньоквадратичну помилку (Mean Square Error, MSE), яка для двох монохромних зображень  $B_{x,y}$  і  $\hat{B}_{x,y}$ , що мають розмір  $M \times N$  (одне з яких вважається еталонним, а інше – спотвореним відносно першого). Зокрема MSE і PSNR можна визначити з наступних виразів [24]:

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} [B_{x,y} - \hat{B}_{x,y}]^2, \quad (3.4)$$

$$PSNR = 10 \lg \frac{(2^A - 1)^2}{MSE}. \quad (3.5)$$

Параметр  $A$  являє собою розрядність відображення яскравості пікселя зображення. Коли пікселі мають розрядність 8 біт, то  $A = 255$  [1].

Об'єктивні методи оцінювання ЯПВ, які були проаналізовані вище, можна віднести до загальних методів оцінювання працездатності мережі, які у повній мірі не враховують особливостей застосунку. Ці методи призначені для контролю параметрів, вони значно краще підходять для забезпечення QoS послуг IPTV, проте не дають змоги оцінити цю якість у повній мірі. Для більш детальної оцінки QoS послуг IPTV під час передачі відео необхідно проводити розробку моделей, які під час аналізу показників якості орієнтуються не тільки на параметри мережі, але також і на характеристики відеопотоку.

Для більш наочного порівняння, основні особливості та характеристики розглянутих вище моделей зведено в таблицю В.1, що представлена у Додатку В.

Таким чином, у процесі проведеного аналізу методів суб'єктивного оцінювання якості передачі відео в IP-мережах виявлено низку недоліків, які не дають змоги використовувати розглянуті методи в якості основних під час оцінювання якості відео в РМЧ в системах IPTV, а також у разі заходів щодо запобігання можливих збоїв у мовленні та трансляціях. Аналіз об'єктивних

методів оцінювання якості IPTV показав специфічні особливості їх застосування та реалізації, які не дають змоги задіяти ефективно повсюдне їх застосування. Проведено порівняння переваг і недоліків суб'єктивних і об'єктивних методів оцінки якості відео [1].

У результаті проведеного аналізу методів оцінювання ЯПВ в системах IPTV показана необхідність врахування специфічних властивостей відеотрафіку на суб'єктивні та об'єктивні параметри з подальшою можливістю їх реалізації в сучасних моделях забезпечення QoS під час оцінювання якості сприйняття послуг IPTV.

## 4 РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТИВНОГО ОЦІНЮВАННЯ QoS ПІД ЧАС НАДАННЯ ПОСЛУГ IPTV У МЕРЕЖАХ NGN

### 4.1 Обґрунтування проведення розробки моделі

Як можна бачити з проведеного аналізу існуючих методів оцінювання ЯПВ в аспекті забезпечення QoS під час надання відеопослуг IPTV, найбільший інтерес викликають методи об'єктивного оцінювання якості передачі відео, які ґрунтуються на зборі та аналізі мережних характеристик. Нижче пропонується та обґрунтовується відповідна модель об'єктивного оцінювання якості IPTV, у якій QoS відео, що передається, оцінюється не тільки на основі мережних параметрів, але й також враховуються і інші особливі характеристики відеопотоку.

Методи оцінювання ЯПВ, що застосовуються і дотепер, та які ґрунтуються на аналізі параметрів мережі, є фактично тими самими засобами, які використовувалися раніше для контролю якості передачі голосової інформації, тобто вони по факту вимірюють параметри транспортної мережі. Як було показано в попередньому розділі, об'єктивні методи, на відміну від суб'єктивних, не дають розуміння про те, що ж насправді бачить користувач на екрані свого TV-пристрою, тому що вони не розрізняють пакети, які передають відео, і пакети, які передають іншу, наприклад, голосову інформацію [25].

Для того, щоб виміряти в якомусь кількісному відношенні якість послуги IPTV, необхідно ввести певну конкретну метрику. На сьогодні не розроблено таких рекомендацій, які б надавали специфікації щодо запровадження будь-якої метрики, тому методи, що були проаналізовані вище (MDI, VQM, MPQM, NQM тощо), мають суттєві відмінності між собою, а в їх основі лежать різні підходи. Необхідно також зазначити, що ці методи можна віднести до загальних методів оцінювання працездатності мережі, у яких до кінця не враховуються особливості конкретного відеозастосування. Для більш детального оцінювання QoS, що забезпечується

тому або іншому відеопотоку конкретного застосунку, необхідна розробка моделей, які при визначенні показників QoS орієнтуються не тільки на параметри мережі, але й на характеристики відеопотоку. Ряд підходів ґрунтується на моделях типу «втрати – спотворення», тобто на тих із них, які показують вплив втрат пакетів на якість відео (у формі спотворень) [25, 26].

Під час розробки такої моделі для оцінки якості відео необхідно взяти до уваги дві основні вимоги [26]:

- модель має оперувати різними мережними параметрами і параметрами додатків, а також з високим ступенем точності повинна використовувати їх для оцінки QoS під час передачі відео;

- модель має бути здатною кількісно визначити ці параметри для того, щоб мати можливість застосовувати оцінку QoS під час передачі відео в РМЧ для потенційно великої кількості відеопотоків.

Дотримання цих двох вимог є досить складною задачею. З одного боку, якщо робити точні оцінки QoS під час передачі відео, то потрібно провести детальний аналіз стану мережі та зібрати детальну інформацію про додаток, який генерує відеопотік. З іншого боку, дуже складно провести вимірювання всіх цих параметрів у РМЧ у необхідному обсязі. Зрештою, будь-яке рішення на практиці має бути компромісним між точністю і швидкістю обчислень або їх складністю. Тому на модель накладається низка обмежень, зокрема модель не враховує В-кадри, які кодуються шляхом двоспрямованого передбачення на основі попереднього І-кадру і наступного Р-кадру. У них скорочується і часова, і просторова надмірність та досягається найбільший ступінь компресії [26].

#### 4.2 Базова модель об'єктивного оцінювання QoS для послуг IPTV у разі передачі відео по IP-мережі

Для того щоб здійснити оцінку якості відеопослуг IPTV, необхідно дослідити відношення між втратами пакетів і спотвореннями в декодованому відео. Розглянемо відеопослідовність із кадрами розміром  $N_1 \times N_2$  пікселів.

Позначимо через  $f[k]$  вектор 2-D (розміром  $N_1 \times N_2$ ), який отриманий через рядкову розгортку кадру  $k$ . Аналогічно через  $\hat{f}[k]$  позначимо відповідний кадр, який буде відновлено декодером. Тоді сигнал помилки у кадрі  $k$ , який є погіршенням сигналу, яке виникло через втрату пакетів, визначається із виразу [26]:

$$e[k] = \hat{f}[k] - f[k]. \quad (4.1)$$

Квадрат помилки у кадрі  $k$  визначається як [26]:

$$\sigma^2[k] = (e^T[k] \times e[k]) / (N_1 \times N_2). \quad (4.2)$$

Значення  $\sigma^2[k]$  піддається впливу деяких факторів, зокрема мережних і тих, що залежать від додатка. У цій моделі «втрати – спотворення» здійснюється спроба знайти взаємозв'язок між суб'єктивними та об'єктивними методами оцінки. Зазначмо, що для простоти викладення аналітичних співвідношень та виразів, спотворення вимірюються в разях [26].

Важливою проблемою при моделюванні спотворень є визначення меж, у яких помилка розмножується серед кадрів. Оскільки часове прогнозування передбачає наявність залежності між сусідніми кадрами, то поодинокі втрата пакета зачіпає не тільки кадр із даними, які переносилися у втраченому пакеті, але також і інші кадри з кодовими залежностями від втраченого кадру. Якщо помилка відбувається в кадрі  $k$ , то значення розмноженої помилки в кадрі  $[k + i]$  може бути виражене наступним чином [26]:

$$\sigma^2[k + i] = \sigma^2[k] \times \gamma^i. \quad (4.3)$$

Фактор загасання  $\gamma$  ( $\gamma < 1$ ) враховує вплив просторової фільтрації і є залежним від спектра сигналу помилки та типу просторової фільтрації, яка застосовується в декодері, тобто змінюється як функція характеристик відео

та процесу декодування. Якщо  $(T - 1)$  кадрів закодовано з односпрямованим передбаченням ( $P$ -кадри) між двома послідовностями кадрів із внутрішнім кодуванням ( $I$ -кадри), то загальне спотворення, яке виникає внаслідок втрат у кадрі  $k$ , становитиме [26]:

$$D = \sum_{i=0}^{x-1} \sigma^2[k + i], \quad (4.4)$$

де  $x$  – це число кадрів (від кадру, в якому сталася первинна помилка (кадр  $k$ ) до наступного  $I$ -кадру);

$T$  – кількість  $P$ -кадрів у групі кадрів, закодованих із передбаченням на основі попереднього  $I$ -кадру.

Елементарний відеопотік має ієрархічну структуру, яка складається з шести типів елементів: відеопослідовності, групи кадрів (зображень), кадру, зрізу, макроблоку і блоку. Залежно від факторів, які є специфічними для відеододатків IPTV, наприклад, формату дискретизації, IP-пакет може містити як цілий кадр, так і один або кілька блоків, які відносяться до одного кадру. Роблячи припущення, що очікуване вихідне спотворення, яке виникло через втрату блоку, дорівнює  $\sigma_s^2$ , і що всередині групи кадрів, яка закодована з передбаченням, місцезнаходження  $x$  кадру із втраченим блоком рівномірно розподілене на інтервалі  $[0, T - 1]$ , то загальне середнє спотворення, що виникло через втрату одного блоку, становитиме [26]:

$$D_1 = \sum_{i=0}^{T-1} \sigma_s^2 \gamma^i \left(1 - \frac{i}{T}\right) = \frac{\gamma^{T+1} - (T+1)\gamma + T}{T(1-\gamma)^2} \sigma_s^2 = \alpha \sigma_s^2, \quad (4.5)$$

де  $\alpha$  – функція від  $\gamma$  і  $T$ , яка враховує загальний вплив розмноження сигналу помилки.

Оскільки в IP-мережах втрати відеоданих відбуваються через втрати пакетів, а не блоків, то наступний крок призводить до відображення втрати

IP-пакетів на втрати блоків відеокадру. Коли втрачається  $n$  ( $n \geq 1$ ) послідовних пакетів за одну подію, то це торкнеться  $f(n)$  блоків, де  $f(n)$  являє собою відображення числа втрачених пакетів на число втрачених блоків. Це відношення залежить від реалізації кодека і техніки відновлення втрат. Наприклад, якщо кожен пакет містить рівно один блок і декодер просто пропускає декодування блоків, що містяться у втраченому пакеті, тоді  $f(n) = n$ . Однак, якщо декодер відкидає відеокадр щоразу, коли один з IP-пакетів втрачається, то відношення  $f(n)$  набуває іншої форми. Втім, для будь-якого кодека функцію  $f(n)$  можна визначити, і загальні спотворення, що виникають у разі  $n$  послідовно втрачених пакетів, можна змоделювати пропорційно спотворенням, що виникають у разі втрати блоків, тобто отримаємо вираз [26]:

$$D_n = f(n)D_1. \quad (4.6)$$

Далі в процесі моделювання виразимо середні спотворення як функцію моделі втрат, враховуючи розмір пачки помилок і місце, що було зачеплене помилкою. Використаємо  $P_n$  для визначення ймовірності втрати  $n$  послідовних пакетів і  $P_m$  для визначення ймовірності того, що дві послідовні події втрати торкнулися окремо  $m$  пакетів (починаючи з пакета, що потрапив у першу подію втрати, і закінчуючи пакетом, що потрапив у другу подію). Припустимо, що кожен кадр передається  $L$  пакетами і що  $n$  та  $m$  є незалежними випадковими величинами. Тоді загальне середнє спотворення відновленого відео можна розрахувати за формулою [26]:

$$\bar{D} = \frac{\sum_n P_n D_n}{\sum_m P_m (m/L)} = \frac{\overline{f(n)}}{\bar{m}} LD_1 \quad (4.7)$$

або

$$\bar{D} = P_e \overline{f(n)} LD_1, \quad (4.8)$$

де  $P_e$  – це імовірність втрати відеопослідовності будь-якої довжини у відеопотоці;

$f(n)$  – середнє число блоків, на які вплинули втрати.

$P_e$  та  $f(n)$  виражають характеристики процесу втрат (параметр  $f(n)$  також залежить від схеми пакування і техніки відновлення після втрат, яка використовується в декодері), у той час як  $L$  і  $D_1$  є параметрами, що враховують особливості відеододатку [26].

### 4.3 Моделювання впливу різних відеокодеків на відео

Незважаючи на те, що більшість стандартів стиснення відеоінформації підтримують розділення відеокадрів на блоки, кодеки реалізують різні схеми відновлення відеокадру у разі втрати блоків. Для розуміння та порівняння результатів розглянемо кодеки, які реалізовано відповідно до стандартів MPEG-2 і H.264, та які мають різну реакцію на помилку, що сталася. У кодеку MPEG-2 якщо декодер виявляє, що якесь число IP-пакетів, котрі переносили інформацію одного відеокадру, були втрачені, то він відкидає весь пошкоджений кадр і замінює його попереднім декодованим кадром. У кодеку H.264 усі отримані блоки декодуються, у той час як блоки, які переносяться втраченими IP-пакетами, – відновлюються через використання блоків попереднього кадру та інформації компенсації руху інших блоків цього ж кадру [26].

У кодеку MPEG-2 втрата торкається не тільки тих блоків, які містяться у загублених IP-пакетах, але також і інших блоків цього кадру, в той час як у кодеку H.264 зачіпаються лише ті блоки, які входили до загублених пакетів. Слід зазначити, що опис MPEG-2 і H.264, який зроблено вище, являє собою конкретну реалізацію кодека. Для спрощення аналізу, припустимо, що кожен відеопакет містить  $s$  блоків, і що кожен відеокадр передається  $L$  пакетами. При цьому кожна втрата пакета є причиною втрати  $s$  блоків [25, 26].

Тоді загальне спотворення, що впливає на відеопослідовність у разі  $n$  послідовно втрачених пакетів, може бути подане як [26]:

- для кодека MPEG-2:

$$\bar{D} = s(\bar{n} + L - 1)P_e L D_1; \quad (4.9)$$

- для кодека H.264:

$$\bar{D} = s \bar{n} P_e L D_1. \quad (4.10)$$

Отже, модель, яка описана вище, дає змогу врахувати [26]:

- модель втрат пакетів (виражається величинами  $n$  та  $P_e$ );
- бітову швидкість передачі, що виражається через число IP-пакетів, які передають відеокадр ( $L$ ), і число блоків у відеокадрі ( $s$ );
- схему пакетизації, яка виражається через  $L$ ;
- механізми відновлення від втрат, що визначаються значенням  $f(n)$  для кодеків MPEG-2 і H.264;
- чутливість відеопослідовності до помилок (параметр  $D_1$ ).

Оскільки спотворення  $\bar{D}$  визначене, то результуюча якість відео може бути визначена за допомогою PSNR, відповідно з формулою (3.5) [24, 26]:

$$PSNR = 10 \lg \left( \frac{255^2}{\bar{D}} \right). \quad (4.11)$$

Однак PSNR не дає чіткого уявлення про те, як користувач оцінить ЯПВ, тобто PSNR може показувати, що якість прийнятна, а насправді відбувається систематична втрата кадрів відеопослідовності і користувач спостерігає картинку низької якості. Тобто об'єктивні та суб'єктивні методи з урахуванням особливостей формування відеопотоку можуть давати різний ступінь ЯПВ [26].

Експертна група з якості відео (Video Quality Expert Group, VQEG) у співпраці з різними Університетами США, Європи, Азії та дослідницькими лабораторіями провела низку експериментів, які були націлені на відображення результатів об'єктивних методів на суб'єктивні оцінки. Скористаємося результатами, що були отримані цією експертною групою, і виразимо ЯПВ через PSNR, як це показано на рисунку 4.1 [26, 27].

Відношення між цими параметрами описується виразом [26]:

$$\text{КПВ} = \frac{1}{1 + \exp(b_1(\text{PSNR} - b_2))} \quad (4.12)$$

де  $b_1$  і  $b_2$  – параметри, які враховують характеристики відео.

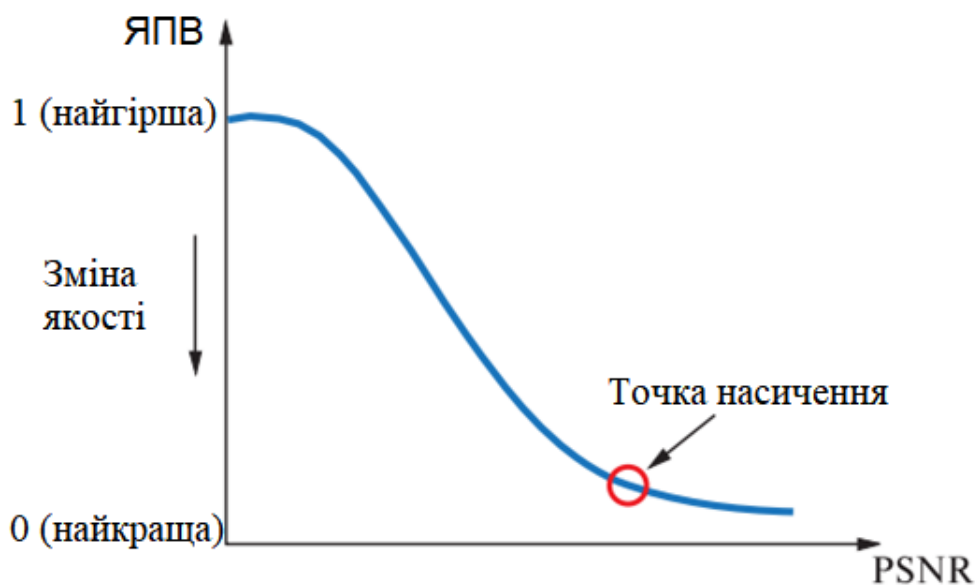


Рисунок 4.1 – Відношення між ЯПВ та PSNR, яке запропоноване VQEG

Вираз (4.12) припускає, що PSNR може зробити оцінку суб'єктивної якості відео. Наприклад, коли його значення менше за відповідну «точку насичення» (рисунок 4.1), PSNR має більш лінійну залежність із якістю передачі відео. Коли значення PSNR досягає «точки насичення», суб'єктивна якість відео фактично «насихується до межі», і подальше збільшення PSNR

не призводить до помітного поліпшення якості відео, яке може помітити людське око користувача [26, 27].

Пропонується змінити графік, що був запропонований VQEG. Для цього введемо наступний коефіцієнт [26]:

$$C = 1 + \exp(b_1(PSNR - b_2)), \quad (4.13)$$

який враховує характеристики відео та відображає спотворення відеопослідовності. Звідси формула (4.12) матиме такий вигляд [26]:

$$\text{ЯПВ} = 1 - \frac{1}{C}. \quad (4.14)$$

Відповідний взаємозв'язок між об'єктивними і суб'єктивними оцінками ЯПВ показаний на рисунку 4.2 [26, 27].

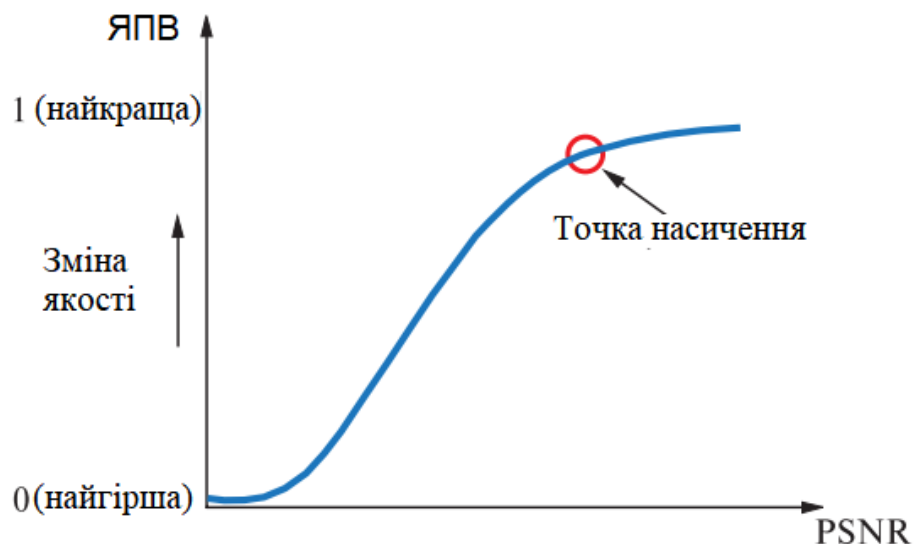


Рисунок 4.2 – Взаємозв'язок між ЯПВ і PSNR з урахуванням коефіцієнта  $C$

У разі досягнення об'єктивних оцінок «точки насичення», покращувати ЯПВ далі недоцільно, оскільки особливості людського зору такі, що користувач уже не помітить різниці [26].

#### 4.4 Практичне використання отриманої моделі для оцінки ЯПВ

Проведемо оцінку аналітичної моделі, що обґрунтована вище, у процесі передачі відео в кадрах CIF і QCIF для кодека MPEG-2.

Зазначимо, що загальний проміжний стандарт (Common Intermediate Format, CIF) – це формат, який застосовують для того, щоб стандартизувати горизонтальну та вертикальну роздільну здатність у колірній моделі відеосигналу YCbCr (входить до сімейства колірних просторів, що використовуються для передачі кольорових зображень у компонентному відео та цифровій фотографії). Спочатку CIF був використаний у протоколі стиснення відео H.261, який у свою чергу входить до складу стандарту IP-телефонії H.323. Найчастіше цей формат використовується у відеоспостереженні, мобільному телебаченні (стандарт DVB-H) і системах відеоконференцзв'язку. Користувачі мають справу з цим стандартом у разі зйомки відео на свої смартфони. CIF підтримує від 65 тисяч до 16 мільйонів кольорів, але одноразово відображається не більше 65 тисяч кольорів. CIF також дає змогу здійснювати конвертацію між телевізійними стандартами PAL (352×288, 25 Гц) і NTSC (352×240, 30 Гц) у єдиний формат кадру CIF (352×288, 30 Гц) [28].

Стандарт QCIF (Quarter CIF), тобто чверть від стандартної роздільної здатності CIF (роздільна здатність 176×144), є одним із подальших розвитків формату загального CIF. Формат QCIF був розроблений для відеоконференцій на найповільніших каналах зв'язку (від 64 Кбіт/с) і наразі майже ніде не використовуються, тому що є не дуже зручним (маленький розмір зображень; сучасні канали зв'язку, які використовуються для передачі відеопотоків, передбачають значно більші пропускні здатності) [28].

Для проведення оцінки будемо використовувати формули (4.9 - 4.12) та визначимо загальне спотворення, що впливає на відеопослідовність через  $\bar{n}$  послідовних втрат. Візьмемо такі значення параметрів [26]:

- $s = 2$  – кількість блоків у пакеті;
- $L = 2$  – кількість пакетів у кадрі;
- $n = 3$  – кількість послідовно втрачених пакетів за одну подію;
- $D_1 = 150$  – загальне середнє спотворення, що виникло через втрату одного блоку відеокадру.

Тоді, при значенні імовірності втрати відеопослідовності будь-якої довжини у відеопотоці  $P_e = 0,04$  за формулою (4.9) отримаємо значення спотворення, яке впливає на відеопослідовність:  $\bar{D} = 96$ , а пікове відношення сигнал/шум відповідно до формули (4.11) буде:  $PSNR = 28,38$  дБ. Відповідно до формули (4.12), що визначає відношення між цими параметрами у відносних одиницях, тобто якісний показник передачі відео, отримаємо ЯПВ  $= 0,75$ . Аналогічно, у разі  $P_e = 0,4$  та по формулам (4.9 - 4.12) отримаємо наступні значення параметрів, які нас цікавлять:  $\bar{D} = 960$ ;  $PSNR = 18,35$  дБ;  $ЯПВ = 0,38$  [26].

У процесі аналізу моделі, що досліджується, було розглянуто безліч варіантів із різними параметрами. Результати дослідження зведено в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати дослідження моделі об’єктивної оцінки ЯПВ

Формат	$P_e$	$\bar{D}$	PSNR, дБ	ЯПВ
1	2	3	4	5
Кадр CIF ( $s = 2$ , $L = 4$ )	0.008	6.4	40.06	0.946
	0,01	16	36.08	0.906
	0,02	52	30.97	0.817
	0,03	120	27,33	0,722
	0,04	256	24.04	0.613
	0,06	672	19.85	0,458
	0,08	1184	17.39	0.369
	0,1	2040	15.03	0,291
	0,2	5120	11.03	0,184
	0,3	9600	8.3	0.13

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5
QCIF ( $s = 2,$ $L = 1$ )	0.008	0,64	50,06	0.988
	0,01	1,6	46.08	0.978
	0,02	5,2	40.9	0.953
	0,03	12	37,33	0,921
	0,04	25,6	34.04	0.877
	0,06	67,2	29.85	0,791
	0,08	118,4	27.39	0,724
	0,1	204	25,03	0.647
	0,2	512	21.03	0.502
	0,3	960	18.3	0.401

З наведених у таблиці 4.1 результатів видно, що у разі збільшення втрат, виникає більше спотворення, що призводить до зниження значень PSNR і погіршення якості передачі відео.

На графіку, що поданий на рисунку 4.3, показано взаємозв'язок між об'єктивними та суб'єктивними оцінками якості передачі відео, яке передається по мережі у форматі QCIF. При побудові графіка взяті наступні припущення: кожен пакет містить 2 блоки, 1 пакет передає 1 відео кадр.

З графіка видно, що при досягненні значень об'єктивних оцінок деякої величини, далі покращувати якість передачі недоцільно, оскільки це вже не відбивається на суб'єктивній оцінці якості відео, тобто користувач, як зазначалося раніше, вже не бачить цих поліпшень.

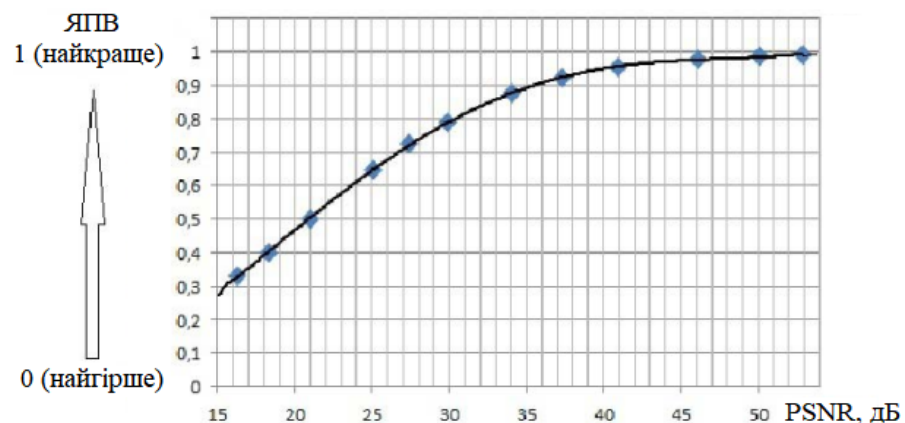


Рисунок 4.3 – Відношення між ЯПВ та PSNR для формату кадра QCIF

Таким чином, у цьому розділі запропонована і проаналізована модель об'єктивного оцінювання, що відноситься до типу моделей «втрати – спотворення», та яка дає змогу контролювати параметри QoS під час передачі відео по IP-мережах. Тобто такого типу модель може у повній мірі бути орієнтована на забезпечення якості обслуговування під час надання послуг IPTV. Розроблена модель враховує вплив різних чинників, що залежать від параметрів мережі та специфіки додатків, на якість переданих відеопотоків. Її особливістю є те, що вона не вимагає детальних знань про параметри відеопотоку, але водночас вона дає змогу досить точно оцінити ЯПВ. При цьому цю оцінку можна скорелювати із суб'єктивними методами оцінки.

## ВИСНОВКИ

У процесі виконання цієї кваліфікаційної роботи проведено аналіз існуючих методів суб'єктивного та об'єктивного оцінювання якості передачі відео, на підставі яких була розроблена та обґрунтована аналітична модель об'єктивного оцінювання QoS для послуг IPTV під час передачі відео по IP-мережі. При цьому зазначено, що сучасні IP-мережі та технології є транспортною основою мереж наступного покоління (NGN). Перехід до NGN спирається на концепцію створення універсальної мережі, яка дозволяє передавати будь-які види інформації (голос, відео, дані та будь-які їх комбінації), а також забезпечувати можливість надання необмеженого спектра інфокомунікаційних послуг усім без винятку користувачам, незалежно від їх місця знаходження, підключення до мережі та абонентського терміналу, що використовується.

У першому розділі кваліфікаційної роботи зроблено огляд концептуальних особливостей організації та надання послуг IPTV. В огляді розглянуті загальні характеристики, послуги та архітектурні рішення технології IPTV. Показано, що послуги IPTV є затребуваними користувачами, особливо ті з них, які пов'язані з передачею відеопотоків. Зазначено, що у разі надання такого роду послуг, особливу увагу слід приділити аналізу методів та розробленню моделей щодо забезпечення QoS.

У другому розділі кваліфікаційної роботи в рамках поставлених задач визначені мережні параметри, що характеризують доставку IP-пакетів, та які є найбільш важливими з погляду міри їх впливу на QoS (відповідно до Рекомендації ІТУ-Т Y.1540). Зокрема до них належать: пропускна здатність, надійність, затримка, джиттер, величина втрат тощо. Для цих мережних параметрів, відповідно до Рекомендації ІТУ-Т Y.1541, також визначені значення норм, яких слід дотримуватися в IP-мережах у разі реалізації з'єднань. Ці норми розділені на шість класів якості обслуговування, які визначені залежно від додатків і мережних механізмів, що застосовуються для

забезпечення гарантованої QoS. Крім того, у розділі визначені і описані групи механізмів для підтримки QoS в IP-мережах. Ці механізми структуровані відповідно до логічних площин управління, даних і менеджменту [1].

У третьому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз методів суб'єктивної та об'єктивної оцінки ЯПВ під час надання послуг IPTV. У процесі аналізу методів суб'єктивного оцінювання ЯПВ в IP-мережах виявлено низку недоліків, які не дають змоги використовувати розглянуті методи в якості основних під час оцінювання якості відео у реальному часі в системах IPTV, а також у разі здійснення запобігання можливим збоєм у мовленні та трансляціях. Аналіз об'єктивних методів оцінювання якості IPTV показав специфічні особливості їх застосування та реалізації, які не дають змоги задіяти їх ефективно повсюдне застосування [1].

У результаті проведеного аналізу методів оцінювання ЯПВ у системах IPTV виявлена необхідність щодо зважання на специфічні властивості відеотрафіку на суб'єктивні та об'єктивні параметри з подальшою можливістю їх реалізації в сучасні моделях забезпечення QoS під час оцінювання якості сприйняття послуг IPTV.

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи запропонована та проаналізована модель об'єктивного оцінювання, яка дає змогу контролювати параметри QoS під час передачі відео в IP-мережах. Модель враховує вплив різних факторів, що залежать від параметрів мережі та специфіки додатків, на якість відеопотоків, що передаються. Її особливістю є те, що вона не вимагає детальних знань про параметри відеопотоку, але водночас дає змогу досить точно оцінити ЯПВ. При цьому, важливим є те, що цю оцінку можна скорелювати із суб'єктивними методами [26].

У рамках практичного застосування отриманої аналітичної моделі для оцінки ЯПВ, зроблений відповідний розрахунок для випадку передачі відео в кадрах CIF і QCIF для кодека MPEG-2. Було отримано результати, з яких видно, що в разі збільшення втрат, виникає більше спотворення. Це призводить до зниження значень PSNR та погіршення якості передачі відео.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Маколкина М.А. Методы оценки качества обслуживания IPTV: уч. пособ. / М.А. Маколкина. – СПб.: СПбГУТ, 2012. – 34 с.
2. Шалогоинов В.А. Моделирование сети следующего поколения при оценке качества инфокommunikационных услуг [Электронный ресурс] // T-Comm. – №7. – 2010. – С. 184–186. – Режим доступа до ресурсу: <http://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-seti-sleduyuschego-pokoleniya-pri-otsenke-kachestva-infokommunikatsionnyh-uslug>.
3. Блажиевський С.О. Забезпечення QoS в мережах наступного покоління у разі надання послуг IPTV / С.О. Блажиевський, Ю.М. Колтун // матеріали 11-ої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми інформатизації». Том 3. – Черкаси – Баку – Харків – Бельсько-Бяла. – 16 - 17 листопада, 2023 р. – С. 91.
4. NetUP IPTV Middleware [Електронний ресурс] / Copyright © NetUP. – 2012. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.netup.tv/ru-RU/middleware.php>
5. Кривошеев М. И. Интерактивное телевидение / М. И. Кривошеев, В. Г. Федунин. – М. : Радио и связь, 2000. – 380 с.
6. Бабайцев А. Организация доступа к услугам Triple Play в мультисервисных сетях [Электронный ресурс] / Бабайцев Алексей // Технологии и средства связи. – 2009. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.tsonline.ru/articles2/multiplay/organizatsiya-dostupa-k-uslugam-triple-play-v-multiservisnyh-setyah>.
7. Анатомия VoD – основы «видео по запросу» [Электронный ресурс] – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <http://internetno.net>.
8. Пример построения сети IPTV [Электронный ресурс] // Компания DEPS. – Доступ здійснено 24.12.2023. – Режим доступа до ресурсу: <https://deps.ua/knowegable-base-ru/primery-tehnicheskikh-reshenij/455-primer-postroeniya-seti-iptv.html>.

9. Колпаков И.А. IP-телевидение начинается с головной станции [Электронный ресурс] / И.А. Колпаков, А.И. Барг, С.Ю. Колгатин // Кабельщик. – № 10. – 2006. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.konturm.ru/helpstat.php?id=stat171106>.

10. Hardin, Glen VOD servers-Equations and solutions / Glen Hardin, W. Paul Sherer // CED. – Aug. 2005. – Vol. 31, Issue 8 – P. 32.

11. Recommendation Y.1540, Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters // ITU-T. – 2011.

12. Recommendation Y.1221. Traffic control and congestion control in IP-based networks // ITU-T. – 2002.

13. Смирнов П.И. Способы оценки показателей качества обслуживания в мультисервисных сетях [Электронный ресурс] / П.И. Смирнов // АО «НИИ «Масштаб». – 2012. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.mashtab.org/company/massmedia/articles/qos/>.

14. Recommendation Y.1541. Network performance objectives for IP-based services // ITU-T. – 2006.

15. Гольдштейн Б.С. Сети связи / Б.С. Гольдштейн, Н.А. Соколов, Г.Г. Яновский. – СПб. : БХВ-Санкт-Петербург, 2010. – 400 с.

16. Вегешна Ш. Качество обслуживания в сетях IP / Ш. Вегешна. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 368 с.

17. Саякин В. Анализ технологий и планирование качества мультисервисных сетей [Электронный ресурс] / Вадим Саякин // Мобильные системы. – №11. – 2002.– Режим доступа до ресурсу: <http://www.nvconsulting.net/pressa21.html>

18. Дмитренко А.І. Аналіз моделі об'єктивної оцінки якості передачі відеопотоків в IP-мережах / А.І. Дмитренко, О.О. Супрун, О.О. Усольцев // Бионика интеллекта. – № 2 (89). – 2017. – С. 158–163.

19 Рекомендация BT.500-13. Методика субъективной оценки качества телевизионных изображений // ITU-R. – 2012.

20. Understanding PQR, DMOS and PSNR Measurements [Электронный ресурс] // Tektronix. – Доступ здійснено 31.12.2023. – Режим доступа до ресурсу: [https://download.tek.com/document/28W\\_21224\\_0\\_HR.pdf](https://download.tek.com/document/28W_21224_0_HR.pdf).

21. MSU Video Quality Measurement Tool 10.1 [Электронный ресурс]. – Доступ здійснено 31.12.2023. Режим доступа до ресурсу: <https://www.download3k.ru/Audio-i-Video/Video-Kodeki/Download-MSU-Video-Quality-Measurement-Tool.html>.

22. Кабинетский М. Оценка качества услуг в системах IPTV [Электронный ресурс] / Максим Кабинетский // «Теле-Спутник». – 2013. – С. 68 - 72. – Режим доступа до ресурсу: <https://old.telesputnik.ru/archive/pdf/207/68.pdf>.

23. Марков М.В. Сравнительный анализ метрик оценки качества восприятия потокового видео [Электронный ресурс] / М.В. Марков. – Доступ здійснено 01.01.2024. Режим доступа до ресурсу: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyu-analiz-metrik-otsenki-kachestva-vozpriyatiya-potokovogo-video/viewer>.

24. Ошаровская Е.В. Оценка показателей качества ТВ изображений / Е.В. Ошаровская // Цифрові технології. – № 19. – 2016. – С. 91 - 102.

25. Shu Tao Real-time monitoring of video quality in IP networks / Tao Shu, John Apostolopoulos, Roch Guerin // IEEE/ACM Transactions on Networking, Volume 16, Issue 5. – 2007. – pp. 1052 - 1065.

26. Маколкина М.А. Анализ модели объективной оценки качества передачи видео в IP-сетях / М.А. Маколкина // Элекросвязь. – №12. – 2011. – С. 20 – 23.

27. VQEG. Final Report on the Validation of Objective Models of Video Quality Assessment [Электронный ресурс]. Aug. 2003. – Режим доступа до ресурсу: [https://www.vqeg.org/VQEGSharedFiles/Publications/Validation\\_Tests//FRTV\\_Phase2/FRTV\\_Phase2\\_Final\\_Report.pdf](https://www.vqeg.org/VQEGSharedFiles/Publications/Validation_Tests//FRTV_Phase2/FRTV_Phase2_Final_Report.pdf).

28. Формат CIF [Электронный ресурс] // PowerVideo. – Доступ здійснено 03.01.2024. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.powervideo.ru/slovar/cif.html>.