

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ,
ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО
“ _____ ” _____ 2022 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР

Тема: «Метод аналізу взаємозалежностей параметрів QoE та QoS на основі алгоритмів машинного навчання»

Виконавець: _____ Марина ІВАНОВА
(підпис)

Керівник: _____ Роман ОДАРЧЕНКО
(підпис)

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

Консультант розділу «Охорона праці» _____ Батир ХАЛМУРАДОВ
(підпис)

Консультант розділу «Охорона навколишнього середовища»
_____ Євгеній БОВСУНОВСЬКИЙ
(підпис)

Нормоконтролер: _____ Денис БАХТІЯРОВ
(підпис)

Київ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО

“ ” 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Іванової Марини Сергіївни

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Метод аналізу взаємозалежностей параметрів QoE та QoS на основі алгоритмів машинного навчання»

затверджена наказом ректора від «07» вересня 2022 р. №1321/ст

2. Термін виконання роботи: з 05.09.2022 р. по 30.11.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1) історичні дані значень QoS та QoE для абонентських скарг;

2) основні вимоги до методу аналізу взаємозалежностей параметрів QoE та QoS на основі алгоритмів машинного навчання.

4. Зміст пояснювальної записки:

1) Дослідження методів та моделей встановлення взаємозв'язків між параметрами QoE та QoS;

2) Розробка методу встановлення взаємозв'язків між параметрами QoE та QoS на основі алгоритмів машинного навчання;

3) Експериментальні дослідження розробленого методу;

4) Охорона праці;

5) Охорона навколишнього середовища;

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: _____

1) Піраміда QoE/QoS; _____

2) Методологія регулярного моніторингу QoE/QoS мобільним оператором; _____

3) Інформація, що надана на вхід програми; _____

4) Розподіл оцінок відповідно до рівня Cell Availability; _____

5) Скріншоти результатів роботи алгоритму машинного навчання. _____

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Розробити деталізований зміст розділів кваліфікаційної роботи	05.09.2022- 06.09.2022	Виконано
2	Вступ	07.09.2022- 10.09.2022	Виконано
3	Дослідження методів та моделей встановлення взаємозв'язків між параметрами QoE та QoS	12.09.2022- 05.10.2022	Виконано
4	Розробка методу встановлення взаємозв'язків між параметрами QoE та QoS на основі алгоритмів машинного навчання	06.10.2022- 15.10.2022	Виконано
5	Експериментальні дослідження розробленого методу	17.10.2022- 05.11.2022	Виконано
6	Охорона праці	07.11.2022- 12.11.2022	Виконано
7	Охорона навколишнього середовища	14.11.2022- 19.11.2022	Виконано
8	Усунення недоліків та захист кваліфікаційної роботи	21.11.2022- 30.11.2022	Виконано

7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	к.м.н., проф. Батир ХАЛМУРАДОВ		
Охорона навколишнього середовища	к.т.н., доц. Євгеній БОВСУНОВСЬКИЙ		

8. Дата видачі завдання: “22” серпня 2022 р.

Керівник кваліфікаційної роботи _____
(підпис керівника)

Роман ОДАРЧЕНКО
(П.І.Б.)

Завдання прийняла до виконання _____
(підпис випускника)

Марина ІВАНОВА
(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Метод аналізу взаємозалежностей параметрів QoE та QoS на основі алгоритмів машинного навчання» містить 113 сторінок, 32 рисунки, 3 таблиці, 122 використаних джерел.

QOE, QOS, RANDOM FOREST, МАШИННЕ НАВЧАННЯ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ПРОВАЙДЕРИ.

Об'єкт дослідження – процес обслуговування абонентів телекомунікаційної мережі.

Предмет дослідження – методи та механізми оцінки та забезпечення QoE абонентів телекомунікаційної мережі.

Мета кваліфікаційної роботи – підвищення якості обслуговування абонентів телекомунікаційними провайдерами.

Метод дослідження – визначення відношення параметрів QoE та QoS шляхом взаємопов'язаних кроків та етапів, що підкріплені математичною моделлю оцінки та підвищення QoE.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати телекомунікаційним провайдерам при визначенні задоволеності абонентів від якості отриманих послуг.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ВСТАНОВЛЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ПАРАМЕТРАМИ QoE ТА QoS	16
1.1. Аналіз концепції якості обслуговування абонентів	16
1.2. Визначення QoE для абонентів телекомунікаційних мереж.....	27
1.2.1. Моделювання QoE	27
1.2.2. QoE моделювання в контексті бездротових мереж.....	35
1.2.3. Огляд підходів до моніторингу та вимірювання QoE.....	39
1.2.3.1. Загальні засади моніторингу QoE.....	39
1.2.3.2. Вимірювання QoE на боці клієнта.....	42
1.2.3.3. Вимірювання QoE на боці мережі.....	45
1.2.3.4. Моніторинг QoE, шляхом поєднання вимірювання на стороні клієнта та мережі	47
1.2.4. Оптимізація та контроль QoE	49
1.3. Моделі взаємозалежностей QoE та QoS	55
1.3.1. Степеневий закон Стівенса	56
1.3.2. Закон Вебера-Фехнера.....	58
1.3.3. Гіпотеза IQX	59
1.3.4. Порівняння відношень орієнтованих на сприйняття та відношень орієнтованих на стимул	60
1.3.4.1. Порівняння ступеневої та логарифмічної форм відношення.....	61
1.3.4.2. Порівняння логарифмічної та експоненціальної форм відношення.....	62
1.3.5. Модель VQM	64
1.3.6 Адитивні та мультиплікативні моделі QoS-QoE для кількох параметрів QoS .	65
1.3.7 Моделі QoE на основі методів машинного навчання	69
1.4. Аналіз недоліків існуючих методів встановлення взаємозв'язків між параметрами QoE та QoS.....	69
1.5. Постановка задач дослідження.....	70

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МЕТОДУ ВСТАНОВЛЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ПАРАМЕТРАМИ QoE ТА QoS НА ОСНОВІ АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ.....	73
2.1. Удосконалення моделі встановлення взаємозв'язків між параметрами QoE та QoS.....	73
2.2. Розробка методу аналізу взаємозалежностей параметрів QoE та QoS на основі алгоритмів машинного навчання.....	77
2.2.1. Аналіз алгоритмів машинного навчання.....	77
2.2.1.1. Лінійна регресія.....	77
2.2.1.2. Множинна лінійна регресія.....	78
2.2.1.3. Логістична регресія.....	79
2.2.1.4. Поліноміальна регресія.....	80
2.2.1.5. Деревя рішень.....	81
2.2.1.6. Метод випадкового лісу.....	81
2.2.2. Структура методу.....	81
2.2.3. Формування наборів даних.....	83
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО МЕТОДУ	86
3.1. Опис вхідних даних.....	86
3.2. Опис дослідження.....	86
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	93
4.1. Аналіз умов праці.....	94
4.1.1. Організація робочого місця.....	94
4.1.3.1. Мікроклімат робочої зони.....	99
4.1.3.2. Природне та штучне освітлення.....	100
4.1.3.3. Електробезпека.....	102
4.2. Розробка заходів охорони праці.....	103
4.2.1. Нормалізація повітря робочої зони.....	104
4.2.2. Виробниче освітлення.....	104
4.3. Пожежна безпека.....	104
4.4. Перевірочний розрахунок штучного освітлення для офісного приміщення.....	105

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	108
5.1. Майбутній офіс – «Зелений офіс»	108
5.2. Принципи «Зеленого офісу» у компанії lifecell	111
ВИСНОВКИ	113
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	114
ДОДАТОК А	126

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

KPI (key performance indicators) – ключові показники ефективності.

MOS (mean opinion score) – середня оцінка думки.

NGN (next-generation network) – мережа наступного покоління.

QoCE (quality of customer experience) – якість взаємодії з клієнтом.

QoE (quality of experience) – якість досвіду.

QoS (quality of service) – якість послуг.

QoS_D (QoS delivered/achieved by service provider) – QoS, наданий/досягнутий постачальником послуг.

QoS_E (QoS experienced/perceived by customer/user) – QoS, що відчувається/сприймається клієнтом/користувачем.

QoS_O (QoS offered/planned by service provider) – QoS, запропонований/запланований постачальником послуг.

QoS_R (QoS requirements of user/customer) – вимоги до QoS для користувача/клієнта.

QoUE (quality of user experience) – якість взаємодії з користувачем.

SDH (synchronous digital hierarchy) - синхронна цифрова ієрархія.

ВСТУП

Сьогодні більшість постачальників телекомунікаційних послуг зацікавлені в тому, щоб клієнти були задоволені послугами, які їм надаються. Очевидно, що користувачі певної послуги будуть і надалі обирати одного і того ж провайдера, якщо їх очікування якості послуг виправдалися. Тому, щоб задовольняти очікування клієнтів, провайдерам необхідно постійно вимірювати поточний рівень якості послуг, які вони надають. Проведення таких вимірювань називають процесом моніторингу якості.

Розрізняють якість обслуговування (QoS) та якість моніторингу досвіду (QoE). Якість обслуговування (QoS) визначається як «сукупність характеристик телекомунікаційної послуги, яка впливає на її здатність задовольняти заявлені та непрямі потреби користувача» [1]. Якість моніторингу досвіду (QoE) – це «ступінь задоволення або роздратування користувача від користування програмою чи послугою» [2]. QoE – це багатовимірна концепція, яка вимагає врахування великої кількості факторів [3] для різних застосувань: вимірювання, керування та QoE-контроль з точки зору як кінцевого користувача, так і провайдера. Деякі чинники мають технічний характер, але є також умови середовища, які впливають на сприйняття.

Основні методи моніторингу акцентуються на вимірюванні параметрів рівня якості мережі, пов'язані з QoS, такі як втрата пакетів, зміна затримки в потоці пакетів між двома системами та пропускна здатність. Ключові показники ефективності (KPI), такі як затримка, втрата пакетів і пропускна здатність та відповідні порогові значення для цих KPI зазвичай визначають оператори мережі та послуг. Ці KPI постійно контролюються з метою відслідковування поточного рівня якості надання певної послуги.

Перераховані вище базові інструменти моніторингу однозначно не враховують сприйняття користувачами наданих провайдером послуг, тому їх можна вважати радше технологічно орієнтованими, ніж орієнтованими на кінцевого користувача. Є

низка факторів, що впливають на оцінку якості користувачами та не повністю враховується QoS концепціями. Дані фактори включають характеристики обладнання користувача та інші фактори контексту, такі як місце, час, обставини під час використання послуги. Крім того, QoS зазвичай зосереджується на телекомунікаційних послугах і має справу з аспектами продуктивності фізичної системи, в той час, коли QoE охоплює набагато ширший діапазон, який стосується оцінки користувачем продуктивності системи з урахуванням факторів контексту та очікувань. Таким чином, можна зробити висновок, що QoE ніколи не можна повністю передбачити на основі вимірювань QoS.

Засоби моніторингу повинні не тільки враховувати фактори QoS, але також включати фактори QoE, щоб отримати кращу продуктивність (у сенсі кореляції з людськими думками). Крім того, інструменти моніторингу часто розробляються лише для однієї конкретної служби, що ускладнює розробку «універсального» інструменту моніторингу QoE.

Із збільшенням кількості постачальників мультимедіа та різноманітності додатків і послуг, посилилися зусилля щодо покращення якості надання послуг, з точки зору мережі. Щоб відповідати зростаючим очікуванням користувачів, у підходах концепції якості в моніторингу все більше враховується досвід. Відповідно, QoS–QoE відображення — це техніка для прогнозування сприйнятої користувачем якості на основі факторів QoS, які можна виміряти для мережі або клієнтського пристрою. У цьому підході відображення взаємозалежності між KPI та ключовими показниками якості (наприклад, KQI, доступність послуг, надійність, зручність використання тощо) забезпечить об'єктивну оцінку сприйнятої якості для типового користувача послуг.

Наразі використовується декілька підходів для пошуку зв'язків між індикаторами QoS і оцінки якості людиною, що отримуються в результаті суб'єктивних тестів користувачів. До них належать регресія, статистичний аналіз, машинне навчання або краудсорсинг [4]. В останніх підходах фокус інструментів моніторингу змістився, адже в ході досліджень стало зрозуміло, що контекстний фактор краще враховує концепції QoE і призводить до більш точних прогнозів

оцінювання якості користувачем. Фактори можуть, наприклад, включати місцезнаходження користувача, його попередній досвід і очікування, типи пристроїв тощо.

Міжнародний союз електрозв'язку (ITU) визначає QoE як загальну прийнятність програми чи послуги, суб'єктивно оцінену кінцевим користувачем. QoE можна розглядати як розширення традиційного QoS у тому сенсі, що QoE надає інформацію про надану послугу від точки зору кінцевого користувача.

У той час як QoS стоїть між мережею та додатком, QoE зосереджено на абоненті. Зокрема, QoE зосереджується на людині як користувачеві, який взаємодіє з програмою, і людині як клієнтові, який має справу з постачальником послуг.

Метою QoE є врахування кожного із факторів, який впливає на сприйняту користувачем якість системи чи послуги. Моніторинг включає системний, людський і контекстуальний фактори [3]. Фактори впливу були визначені та класифіковані наступним чином:

Фактори впливу на людину:

- Низький рівень обробки (гострота зору та слуху, стать, вік, настрій);
- Обробка вищого рівня (когнітивні процеси, соціокультурне та економічне походження, очікування, потреби та цілі, інші риси особистості).

Фактори впливу на систему:

- Пов'язані зі змістом;
- Пов'язані з медіа (кодування, роздільна здатність, частота дискретизації);
- Мережа (пропускна здатність, затримка);
- Пов'язані з пристроєм (роздільна здатність екрана, розмір дисплея, технології, що підтримуються).

Фактори впливу контексту:

- Фізичний контекст (розташування та простір);
- Тимчасовий контекст (час доби, частота використання);
- Соціальний контекст (міжособистісні стосунки під час досвіду);
- Економічний контекст;

- Контекст завдання (багатозадачність, переривання, тип завдання);
- Технічний та інформаційний контекст (зв'язок між системами).

Дослідження в галузі QoE, як правило, зосереджені на системних факторах, головним чином через їх походження в областях QoS і мережевої інженерії.

QoE тісно пов'язаний із сферою взаємодії з користувачем (UX). Історично QoE виникла з телекомунікаційних досліджень, тоді як UX сягає корінням у взаємодію людини з комп'ютером [3]. Обидві галузі можна вважати мультидисциплінарними. На відміну від UX, мета покращення QoE для користувачів була сильніше мотивована економічними потребами [5].

Якість досвіду (QoE) не є новою концепцією. Усі зусилля оператора чи постачальника в бізнесі мають на меті покращити задоволеність клієнтів і QoE. Постає запитання: чому тоді QoE все ще є проблемою в управлінні мережею?

Легкий і точний спосіб оцінки QoE ще не знайдено. Організації зі стандартизації, інтернет-провайдери та оператори стільникового зв'язку проводять дослідження питань QoE та стандартів і опубліковують результати.

Щоб визначити QoE, необхідно отримати статистику QoS. Існує багато Інтернет-додатків і тисячі Інтернет-протоколів, які постійно змінюються. Аналізувати кожну транзакцію в мережі дуже дорого і ранній опис QoS у рекомендаціях ITU-T G.1010 був дуже загальним. Рекомендація ITU-T G.1010 визначає три ключові фактори, які впливають на QoE: затримку, зміну затримки та втрату інформації (включаючи втрату пакетів і втрату інформації через кодек) [6].

Щоб виміряти QoE, деякі постачальники обладнання та організації зі стандартизації аналізують KPI мережі та KQI послуг, а потім з KQI вираховують QoE. Оскільки існує багато KPI та KQI, взаємозв'язок відображення є матрицею даних із параметрами, які можна визначити за допомогою інтелектуального комп'ютерного підбору даних з анкет клієнтів.

Таким чином, актуальність теми обумовлена потребою покращення та удосконалення існуючих механізмів моніторингу оцінки якості телекомунікаційних послуг абонентом в рамках клієнтоорієнтованості провайдерів, через те, що у сучасному світі послуги повинні надаватися найкращим чином. Оцінка якості

напряму залежить від показників KPI та QoS для мережі, проте метрику QoE важко оцінювати в режимі реального часу, адже провайдер може корегувати лише технічні характеристики і це ніяким чином не пов'язано з умовами використання наданих послуг та попереднього досвіду користувача.

Мета написання кваліфікаційної роботи – підвищення якості обслуговування абонентів телекомунікаційними провайдерами.

Основним завданням написання кваліфікаційної роботи є необхідність аналізу та удосконалення існуючих механізмів моніторингу QoE для підвищення якості обслуговування.

Об'єктом дослідження, виходячи з вищеописаного, є процес обслуговування абонентів телекомунікаційної мережі.

Предметом дослідження є методи та механізми оцінки та забезпечення QoE абонентів телекомунікаційної мережі.

Задачі, які необхідно виконати:

1. Проаналізувати якість та механізми оцінки QoE абонентів.
2. Удосконалити модель оцінки користувацького досвіду телекомунікаційної мережі.
3. Розробка методу аналізу взаємозалежностей параметрів QoE та QoS на основі алгоритмів машинного навчання.
4. Експериментальне дослідження розробленого методу.

Метод дослідження полягає у визначенні відношення параметрів QoE та QoS шляхом взаємопов'язаних кроків та етапів, що підкріплені математичною моделлю оцінки та підвищення QoE.

Наукова новизна отриманих результатів – в ході аналізу існуючих методів машинного навчання та складання математичної моделі удосконалено недоліки, що виявлено в існуючих механізмах визначення QoE.

Практичне значення – отримані в ході написання роботи удосконалення зможуть використовувати у своїй роботі телекомунікаційні провайдери та оператори стільникового зв'язку з метою покращення процесу надання послуг в рамках підвищення клієнтоорієнтованості.

РОЗДІЛ 1

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ВСТАНОВЛЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ПАРАМЕТРАМИ QoE ТА QoS

З розвитком телекомунікаційних технологій та мобільних мереж потреби та поведінка клієнтів змінилися. Мобільний зв'язок означає набагато більше, ніж простий голосовий зв'язок; тепер є мобільний Інтернет із веб-серфінгом, відеодзвінками, потоковим медіа та мікроблогами. Традиційні KPI більше не підходять для вимірювання якості мобільних послуг. Мета оптимізації мережі поступово перемістилася від підвищення продуктивності мережі до покращення QoE. Таким чином, оцінка та оптимізація QoE є трендом для оптимізації майбутніх телекомунікаційних мереж.

QoE — це якість мережі та послуг, які клієнт насправді відчуває. Ця метрика охоплює не лише технічну продуктивність мережі, а також особливості поведінки клієнтів, імідж бренду провайдера, якість послуг і ціни.

У випадку співіснуючих стандартів зв'язку оцінка та оптимізація мережі часто незалежні, що унеможливорює точну оцінку досвіду клієнтів. Таким чином, життєво важливо розробити всебічні та наукові засоби оцінки та оптимізації QoE [7].

1.1. Аналіз концепції якості обслуговування абонентів

Більшість погодиться, що цифровий зв'язок є однією з рушійних сил розвитку бізнесу та суспільства, і цілком нормально, що всі очікують найкращої якості телекомунікаційних послуг, які вони використовують у своїй повсякденній цифровій взаємодії. У суворій ринковій реальності сьогодення погляд клієнта напевно тяжіє до того, що якщо послуга не забезпечує найвищої якості, вона рано чи пізно буде відкинута. З іншого боку, постачальники послуг можуть бути не в повній мірі обізнані ні про потреби своїх клієнтів, ні про інструменти, які можуть бути використані для запобігання їх невдоволенню. Щоб усунути цю прогалину, було введено поняття

«Якість обслуговування» як мірило для того, щоб зрозуміти як оцінюють користувачі отримані послуги і, зрештою, пропонувати кращі рішення.

Зводячи це до простого та зрозумілого визначення, можна сказати, що якість досвіду є показником загального рівня задоволеності користувача послугою. Але далі складніше. Справжній QoE має на меті вимірювати не лише об'єктивні параметри продуктивності системи (QoS). Він спрямований на охоплення суб'єктивного досвіду користувача послуг з усіма його складнощами та залежними від людини змінними, такими як фізичні, часові та навіть соціальні та економічні фактори.

Завдання вимірювання QoE у телекомунікаційних послугах є дуже складним і не може бути успішно реалізоване без належних інструментів для збору правильних даних для аналізу. Крім того, провайдер повинен знати, які параметри послуги важливі для користувача, щоб оцінити сервіс максимально позитивно. Тому суть визначення QoE в залежить від обсягу того, що потрібно виміряти та перетворити в метрику. Йдеться радше про те, щоб знати, які з багатьох параметрів послуги є важливими факторами задоволеності користувачів, і про їх вимірювання з точки зору, якомога ближчої до сприйняття користувачем.

З роками серед телекомунікаційних провайдерів та операторів зростає усвідомлення того, як QoE допомагає підвищити рівень задоволеності користувачів і, зрештою, їх лояльність. У результаті з'явилися програмні рішення, спеціально призначені для моніторингу параметрів якості досвіду при використанні телекомунікаційних послуг. Але оскільки Quality of Experience має на меті охопити кожен фактор, який впливає на сприйняття користувачем якості послуги, включаючи аспекти, пов'язані з людиною, системою та контекстом, зробити надійні та неупереджені висновки на їх основі надзвичайно складно.

Таким чином, з усіх факторів, що впливають на результати перевірки QoE, параметри, що пов'язані з продуктивністю мережі, ймовірно, є найбільш релевантними та об'єктивними, для вимірювання. Серед всесвітньо визнаних лідерів у цій галузі є багатопрокольна платформа UMP від AVSystem, яка використовується телекомунікаційними операторами для управління, контролю та моніторингу продуктивності своєї мережевої інфраструктури.

Пропонуючи комплексне рішення для вимірювання QoE, UMP допомагає вимірювати наскрізну продуктивність мереж і пристроїв за допомогою інструментів діагностики в реальному часі та гнучких механізмів моніторингу. Вони можуть підходити практично до будь-якого сценарію вимірювання QoE, дозволяючи провайдерам та операторам негайно реагувати на будь-які проблеми, що виникають, завдяки представленню параметрів продуктивності з точки зору користувача.

Але UMP — це не лише вимірювання та показники QoE. Ще одна чудова функція в контексті QoE — інтелектуальний моніторинг і керування послугами Wi-Fi. Завдяки автоматизованому механізму Smart Workflows оператори зв'язку можуть заощаджувати свій час на ручному вирішенні повторюваних мережевих проблем своїх клієнтів, що значно впливає на їх досвід роботи з системою, а також зі службами обслуговування клієнтів оператора.

У телекомунікаційних послугах лояльність абонентів залежить від рівня QoE кінцевого користувача. Якість досвіду є глибшою, ніж якість обслуговування, оскільки гарантує, що об'єктивні параметри ефективності обслуговування, а також суб'єктивні враження користувачів залишаються на високому рівні. Таким чином, постачальники послуг повинні знати QoE своїх користувачів у режимі реального часу, щоб мати можливість оперативного покращувати якість надання послуг. Завдяки UMP можна забезпечити наскрізне вимірювання QoE з точки зору використання телекомунікаційних послуг [8].

Загальна термінологія QoS, як визначено в ITU-T E.800, включає наступне:

- Вимоги до QoS для користувача/клієнта (QoS requirements of user/customer - QoSR): заявлені вимоги до QoS від клієнта/користувача або сегмента/ів групи клієнтів/користувачів з унікальними вимогами до продуктивності або потребами.
- QoS, запропонований/запланований постачальником послуг (QoS offered/planned by service provider — QoSO): заявлені вимоги до рівня якості, що заплановані а, отже, і запропоновані клієнту постачальником послуг.
- QoS, наданий/досягнутий постачальником послуг (QoS delivered/achieved by service provider — QoS D): заявлений рівень QoS, що досягнуто або доставлено

замовнику. Ці параметри мають бути такими ж, як зазначено для запропонованого QoS, щоб їх можна було порівняти, щоб визначити, що було насправді досягнуто, щоб оцінити рівень отриманої продуктивності.

- QoS, що відчувається/сприймається клієнтом/користувачем (QoS experienced/perceived by customer/user — QoSE): метрика вказує на рівень якості, яку клієнти/користувачі вважають, що вони відчули. Оцінюється сприйнятий QoS за допомогою опитувань клієнтів і власних коментарів клієнтів щодо рівня обслуговування.

Можна зробити висновок, що QoE відрізняється від QoS, оскільки дана метрика базується на сприйнятті клієнтом наданого сервісу. QoE включає повні наскрізні елементи системи (клієнт, термінал, мережа, служби інфраструктура тощо) і може залежати від очікувань користувачів і контексту. Тобто, QoE оцінюється суб'єктивно кінцевим користувачем і може відрізнитися від одного користувача до іншого.

Найбільш використовуваним показником QoE є середня оцінка думки (mean opinion score - MOS). Спочатку йшлося про шкалу MOS лише для голосової служби (ITU-T P.800), але тепер використовується для інших послуг, таких як, наприклад, IPTV. MOS виражається одним числом у діапазоні від 1 до 5, де значення 1 відповідає найнижчій якості, яку відчуває кінцевий користувач, а 5 – найвищій, як показано в таблиці 1.1 [9].

Таблиця 1.1.

Оцінка якості абонентом наданих послуг за 5-бальною шкалою

<i>MOS</i>	<i>Якість</i>
5	Відмінно
4	Добре
3	Задовільно
2	Незадовільно
1	Дуже погано

Продуктивність мережі визначається продуктивністю мережевих елементів: одного або мережі в цілому. Тобто — це сукупність продуктивності всіх окремих елементів. Проте продуктивність мережі впливає на QoS, і вона є його частиною, адже QoS складається з продуктивності мережі та продуктивності поза мережею.

Продуктивність мережі стосується планування, розробки, експлуатації та обслуговування мережевим провайдером. Як показано на рисунку 1, загальна продуктивність мережі є детальною технічною частиною запропонованого QoS. Як зазначено в ITU-T Rec. G. 1000, функції послуги залежать від продуктивності елементів мережі та продуктивності кінцевого обладнання користувача. QoS завжди наскрізний, тобто від користувача до користувача або від користувача до вмісту, тому вимірювання QoS також проводяться наскрізно. Наскрізна якість обслуговування складається з компонентів, як описано на рисунку 1, включаючи користувача, обладнання користувача, мережу доступу, IP-транспорт, базову мережу [10].

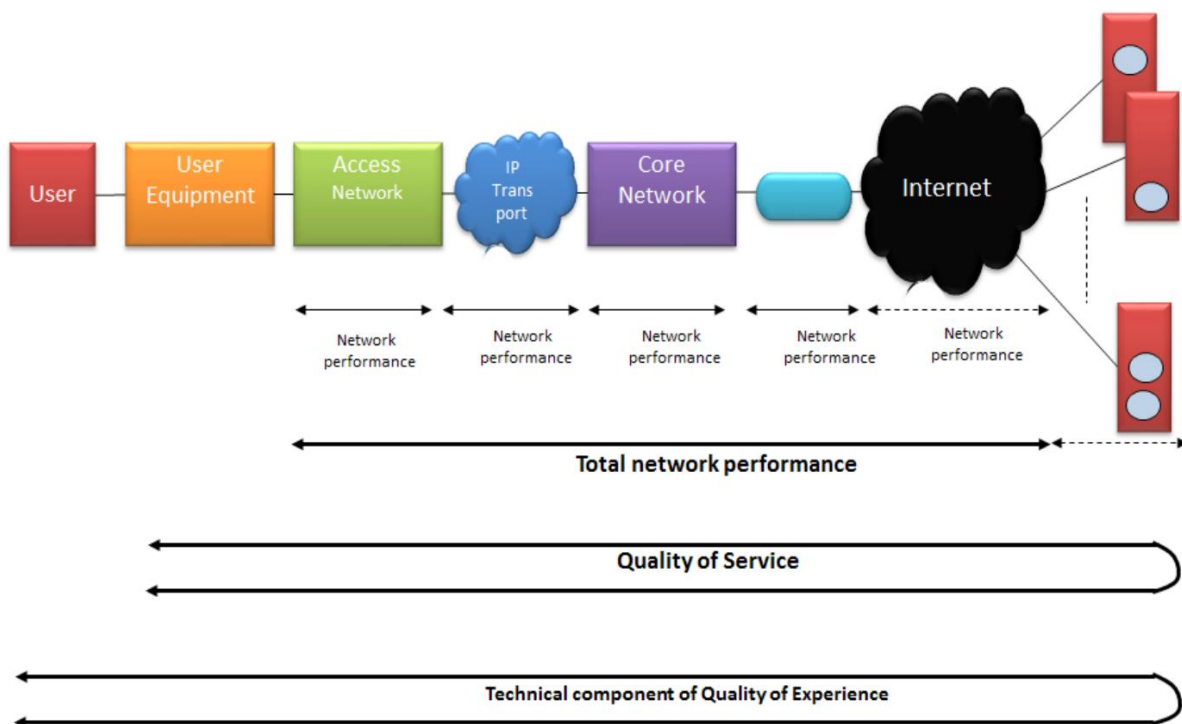


Рис. 1.1. NP, QoS та QoE

Щоб забезпечити підтримку QoS для певної послуги, потрібні критерії та параметри QoS. ITU-T Rec. G.1000 визначає такі критерії, які забезпечують загальну структуру QoS:

- швидкість (відноситься до всіх сервісних функцій);
- точність (наприклад, якість мовлення, відсоток успішних викликів, правильність рахунку тощо);
- доступність (наприклад, покриття, доступність послуг тощо);
- надійність (наприклад, коефіцієнт пропущених дзвінків, кількість скарг на виставлення рахунків тощо);
- безпека (наприклад, запобігання шахрайству);
- простота (наприклад, легкість оновлення програмного забезпечення, легкість розірвання контракту тощо);
- гнучкість (наприклад, легкість зміни контракту, доступність різних методів виставлення рахунків, наприклад, онлайн виставлення рахунків тощо) [10].

Сім критеріїв якості обслуговування відображаються на наборі функцій обслуговування за допомогою заданої матриці, як показано в таблиці 2, де наведений приклад є матрицею для оцінки надання послуг мобільним оператором.

Таке відображення згадується як модель продуктивності в ІТУ-Т Е.802. Це одна із трьох можливих моделей для ідентифікації критеріїв QoS користувача, які необхідні перед визначенням параметрів QoS (найважливіші критерії, які використовуються для визначення параметрів QoS) [11].

1. Універсальна модель: загальна та концептуальна модель. У цій моделі всі критерії QoS можуть бути згруповані за чотирма категоріями: продуктивність, естетика, презентація та етика. Кожен функціональний елемент послуги перехресно перевіряється за чотирма попередньо визначеними компонентами якості та критеріями.

2. Модель продуктивності: модель більше підходить для визначення критеріїв продуктивності телекомунікаційні послуги, як показано в таблиці 1.2.

3. Чотиринкова модель: модель особливо підходить для мультимедійних послуг (як більшість послуг сьогодні), оскільки враховується поділ між транспортним і сервісним рівнем.

Матриця відображення критеріїв якості послуг

		Критерій якості послуги						
		Швидкість 1	Точність 2	Доступність 3	Надійність 4	Безпека 5	Простота 6	Гнучкість 7
Функція обслуговування								
Управління послугами	Продажі та передконтрактна діяльність 1	Час обробки						
	Забезпечення 2	Час постачання		Покриття				
	Зміна 3	Час реакції						Простота зміни договору
	Сервісна підтримка 4	Час реакції		Наяв. КЦ			Професіоналізм	
	Ремонтні роботи 5	Час обробки						
	Припинення 6	Час встановлення виклику					Процес розірв. договору	
Якість зв'язку	Встановлення з'єднання 7	Час встановлення виклику		Доступ. послуги				
	Передача інформації 8	Затримка в один бік			Коеф. обірваних викликів			

	Звільнення підключення 9	Час звільнення						
	Виставлення рахунків 10	Частота виставлення рахунків			Кількість скарг на рахунки	Захист/запо-бігання шахрайству		Різні способи
	Управління мережею/сервісом клієнтом 11						Оновлення ПЗ	

Загалом QoE залежить від усіх семи критеріїв QoS. Наприклад, швидкість впливає на доступну пропускну здатність і затримки, і це має вирішальне значення для QoE. Ось чому при переході до широкосмугового доступу та вищих швидкостей загальний QoE покращується. Доступність і надійність також дуже важливі, бо залежать від можливостей мережі відновлюватися після збою (наприклад, рішення для самоорганізації мереж (SON) у 4G, рішення для стійкості в оптичних мережах тощо). Важливо також відповідне планування та визначення розмірів мережі, щоб відповідати очікуваній кількості користувачів для певної послуги. Наприклад, типові показники якості для доступності мережі, починаючи з епохи синхронної цифрової ієрархії (synchronous digital hierarchy — SDH), є так званими «п'ятьма дев'ятками», тобто послуга має бути доступною 99,999 відсотка часу для кінцевих користувачів: механізми мережі повинні бути надійно реалізовані (наприклад, перенаправлення трафіку в разі збою через альтернативні або зарезервовані шляхи в мережі). Аспекти безпеки, точність, гнучкість щодо послуг і професіоналізм служби підтримки додатково впливають на QoE.

Управління QoS можна розділити на чотири точки зору, як описано в ITU-T Rec. G.1000, які охоплюють QoS як з точки зору клієнта, так і з точки зору постачальника послуг (рис. 2).

Погляди клієнтів такі:

- Вимоги клієнта: це рівень QoS, який вимагається абонентом.

- Сприйняття клієнтом: рівень QoS, отриманий за оцінками користувачів наданих оператором/провайдером послуг, який можна використовувати для порівняння між рівнями QoS, що надаються різними постачальниками послуг, а також для коригувальних дій (наприклад, коли сприйнятий рівень QoS нижче QoS, запропонованого постачальником).

Точка зору постачальника послуг:

- QoS, запропонований постачальником послуг (або запланований/цільовий QoS): включає критерії QoS або параметри, запропоновані постачальником послуг, який можна використовувати для кількох пропозицій:

- Угода про рівень обслуговування (SLA) як двостороння угода між клієнтом і постачальником послуг.

- Публічна пропозиція (тобто декларація) рівня обслуговування, на який може розраховувати абонент.

- Планування та підтримка послуги на заданому рівні продуктивності.

- Для того, щоб абоненти могли зробити найкращий вибір із запропонованих провайдером послуг.

- QoS досягнуто: фактичний рівень QoS, досягнутий або наданий постачальником послуг, який можна використовувати як перевірку наданого QoS (наприклад, відповідно до SLA) або як основу для будь-яких виправлень дії щодо QoS [10].

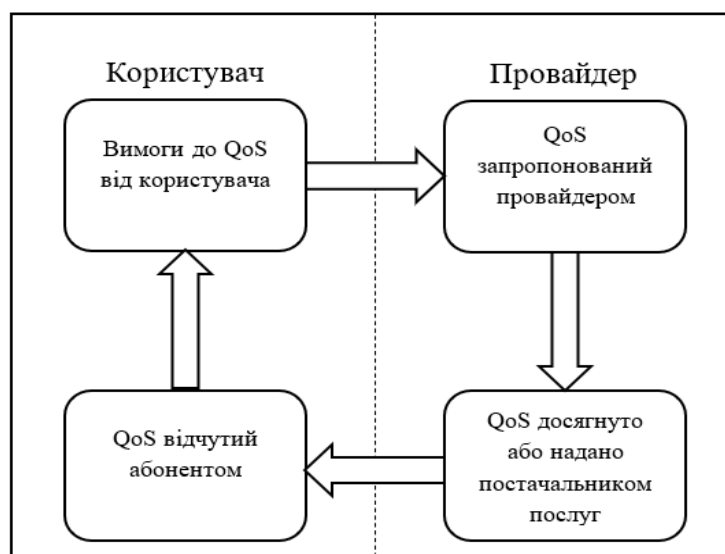


Рис. 1.2. Концепція чотирьох точок зору QoS

Чотирьох ринкова модель QoS, що зображена на рисунку 3 краще підходить для мультимедійних послуг. Вона визначає ланцюжок дій від створення контенту до надання послуг, транспортування послуг і обладнання для клієнтів. Існує чотири елементи: контент, надання послуг, транспортування послуг і клієнтське обладнання, які зазвичай постачаються та працюють незалежно один від одного. За встановлення, експлуатацію та технічне обслуговування можуть відповідати різні сторони. Різні служби мають різні вимоги до QoS. Така модель надає можливість визначити критерії QoS для одного або кількох компонентів у моделі. Наприклад, для служби завантаження файлів (наприклад, завантаження музичного вмісту) для даної моделі можна застосувати такі критерії:

- Створення вмісту: придатність вмісту, його популярність, формат кодека та його якість, аспекти піратства тощо.
- Надання послуг: легкість навігації, чесний договір, безпека персональних даних, ціноутворення, обслуговування клієнтів тощо.
- Транспортування послуг: пропускна здатність (у бітах/с), затримка, частота помилок, спотворення тощо .
- Обладнання користувача: якість відтворення, необхідний обсяг пам'яті (у байтах), легкість вибору та відтворення, легкість навігації та завантаження, ергономічні аспекти пристрою користувача тощо.

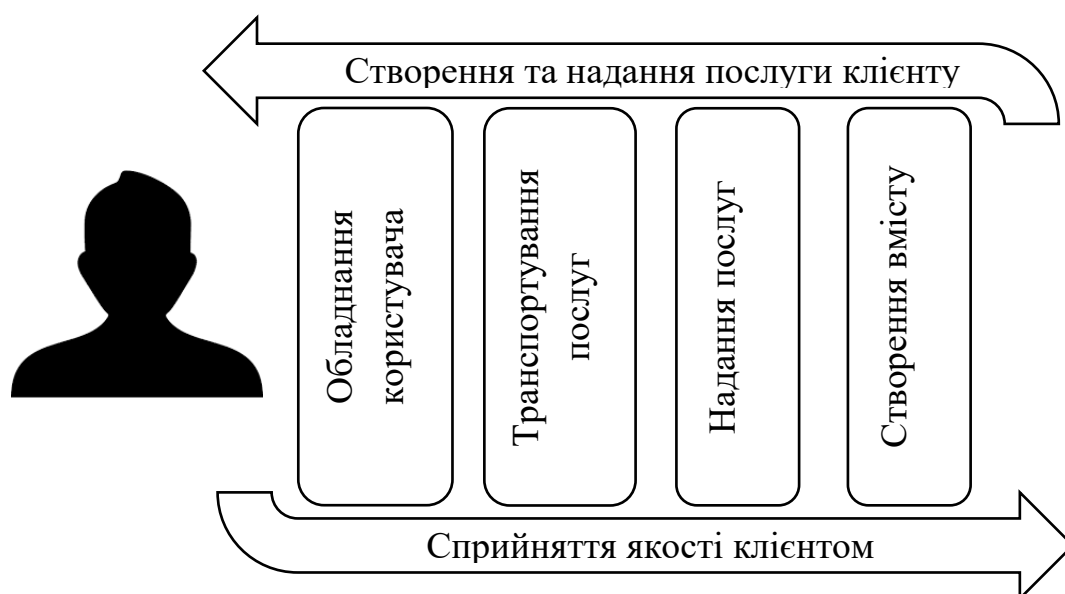


Рис. 1.3. Чотирьохринкова модель

Концепція чотирьох точок зору та чотирьох ринкової модель забезпечують основу для визначення і подальшого регулювання QoS. Регулювання QoS може бути спрямоване на регулювання послуг NGN (Next-generation network) та на регулювання послуг Інтернету. Зокрема, регулювання QoS може застосовуватися:

1. Між операторами на рівні з'єднання;
2. Між операторами та кінцевими користувачами.

Однак регулювання QoS у цих випадках викликає ряд питань:

1. Які критерії QoS для певних послуг (наприклад, голос, телебачення) потрібно змінити під час переходу від комутованої телефонної мережі загального користування/сухопутної мережі мобільного зв'язку загального користування та мереж широкомовної передачі до мереж на основі IP-адрес, таких як NGN?

2. Які критерії якості обслуговування слід включити до послуг, що регулюються та контролюються національними регулятивними органами, якщо існують відмінності між країнами (наприклад, відмінності в якості мережевої інфраструктури, потужності мережі або потужності сервера, людських ресурсах тощо)?

Крім того, слід враховувати особливості мереж, такі як найкращий характер Інтернету та його архітектура, яка, хоча й не підходить для надання QoS (наприклад, передача голосу через IP (VoIP)), але може розвиватися відповідно до додавання певних функцій у вузлах мережі та сервісних платформах, стандартизованих для NGN. Технічні параметри QoS також відрізняються між Інтернетом з комутацією пакетів і традиційними телекомунікаційними мережами з комутацією каналів.

Регулювання може знадобитися для забезпечення/виконання угоди про рівень обслуговування (SLA) між домінуючими постачальниками послуг на певному ринку (наприклад, домінуючими мережевими провайдерами в даній країні). QoS для певних послуг, наприклад, таких як голос у будь-якій мережевій інфраструктурі на основі IP не має бути нижчим за затримку, яка виникає у звичайних телефонних службах з комутацією каналів. Загалом, Інтернет-середовище є здебільшого конкурентоспроможним через його відкритість для нових послуг і додатків локально (послуги надаються в даній мережі) або глобально (наприклад, веб-сайти), отже

регуляторне втручання має бути обмеженим. Однак у випадках, коли ринок послуг доступу до Інтернету недостатньо конкурентний, виникає потреба в регулюванні.

1.2. Визначення QoE для абонентів телекомунікаційних мереж

Сьогодні люди є вимірювачами якості, і їхні очікування, сприйняття та потреби щодо конкретного продукту, послуги чи програми мають велику цінність [12]. У той час, коли ІТУ-Т визначив QoE як «загальну прийнятність програми або послуги, як суб'єктивно сприйнятої кінцевим користувачем» [13], ETSI визначає QoE як «міру продуктивності користувача, обґрунтовану як об'єктивними, так і суб'єктивними психологічними показниками використання послуги або продукту ІКТ» [14] і розширює QoE за межі суб'єктивних, включаючи об'єктивні психологічні показники. Різні підходи, такі як [15–19], дають визначення QoE, які тісно пов'язані з технологічно-центричною логікою, не враховуючи суб'єктивний характер людського досвіду та не враховуючи ширшого визначення QoE [20]. Як наслідок можна припустити, що оптимізація параметрів пов'язаних із QoS, автоматично призведе до збільшення загального QoE, що пришвидшить впровадження продуктів і послуг на стороні споживача. Однак QoS є лише частиною загального обсягу QoE. Вищий QoS у багатьох випадках, ймовірно, призведе до вищого QoE, але виконання всіх вимог QoS, пов'язаних із трафіком, не обов'язково гарантує високий показник QoE користувача. Крім того, передбачається, що продукти та послуги, які відповідають вимогам і очікуванням користувачів, проте мають нижчий показник QoE, ймовірно, будуть більш успішними, ніж продукти та послуги, які мають вищий рівень якості обслуговування, але не відповідають високим вимогам користувачів [21].

1.2.1. Моделювання QoE

Для успішного управління QoE, існує потреба в глибокому та всебічному розумінні факторів впливу (influencing factors - IF) і багатьох вимірах сприйняття якості абонентом. Моделювання QoE має на меті забезпечити взаємозв'язок між

різними вимірюваними QoE, IF та кількісно визначеними параметрами (або характеристиками) QoE для певного сценарію обслуговування. Такі моделі служать для створення оцінок QoE за набору умов, які максимально відповідають QoE кінцевого користувача. На основі даної моделі QoE, яка визначає зважену комбінацію параметрів QoE та подальше відображення IF, підхід до управління QoE буде спрямований на отримання ключових показників якості (Key Quality Indicators-KQI) та їх співвідношення з параметрами, які можна вимірювати, разом із пороговими значеннями якості з метою досягнення постановленої мети оптимізації (наприклад, максимізація QoE для максимізації прибутку, максимізація кількості «задоволених» клієнтів). Важливо зауважити, що різні суб'єкти, задіяні в ланцюжку надання послуг, використовуватимуть модель QoE по-різному, зосереджуючись на тих параметрах, над якими даний суб'єкт має контроль (наприклад, провайдер мережі розглядатиме, як параметри продуктивності, пов'язані з QoS, будуть впливати на QoE, тоді як постачальник контенту чи послуг буде зацікавлений у тому, як дизайн або зручність використання наданих послуг впливатимуть на QoE).

Фактори впливу на QoE визначаються як «будь-яка характеристика користувача, системи, служби, програми або контексту, чий фактичний стан або налаштування можуть впливати на якість досвіду для користувача» [2]. На рисунку 4 проілюстровано безліч різних факторів, які можуть впливати на QoE. З цього можна зробити висновок, що їх групування в категорії допомагає систематизувати такі фактори.

Існуючі підходи розглядають цю проблему та пропонують класифікацію QoE IF за кількома вимірами. Слід зазначити, що конкретні IF актуальні для різних типів послуг і програм.

Р. Станкевич та А. Ящук [22] класифікували технологічні фактори, які впливають на QoE, на три групи: фактори QoS, фактори рівня обслуговування (Grade of Service - GoS) і фактори якості стійкості (Quality of Resilience - QoR), вважаючи, що надання цих факторів на належному рівні є має вирішальне значення для досягнення високого QoE. Крім того, вони враховують низку додаткових факторів, (здебільшого не пов'язаних із технологіями), таких як емоції, профіль користувача,

цінова політика, особливості програми, термінали, кодеки, тип контенту, а також екологічні, психологічні та соціологічні аспекти, але їх автори не поділяли на групи.

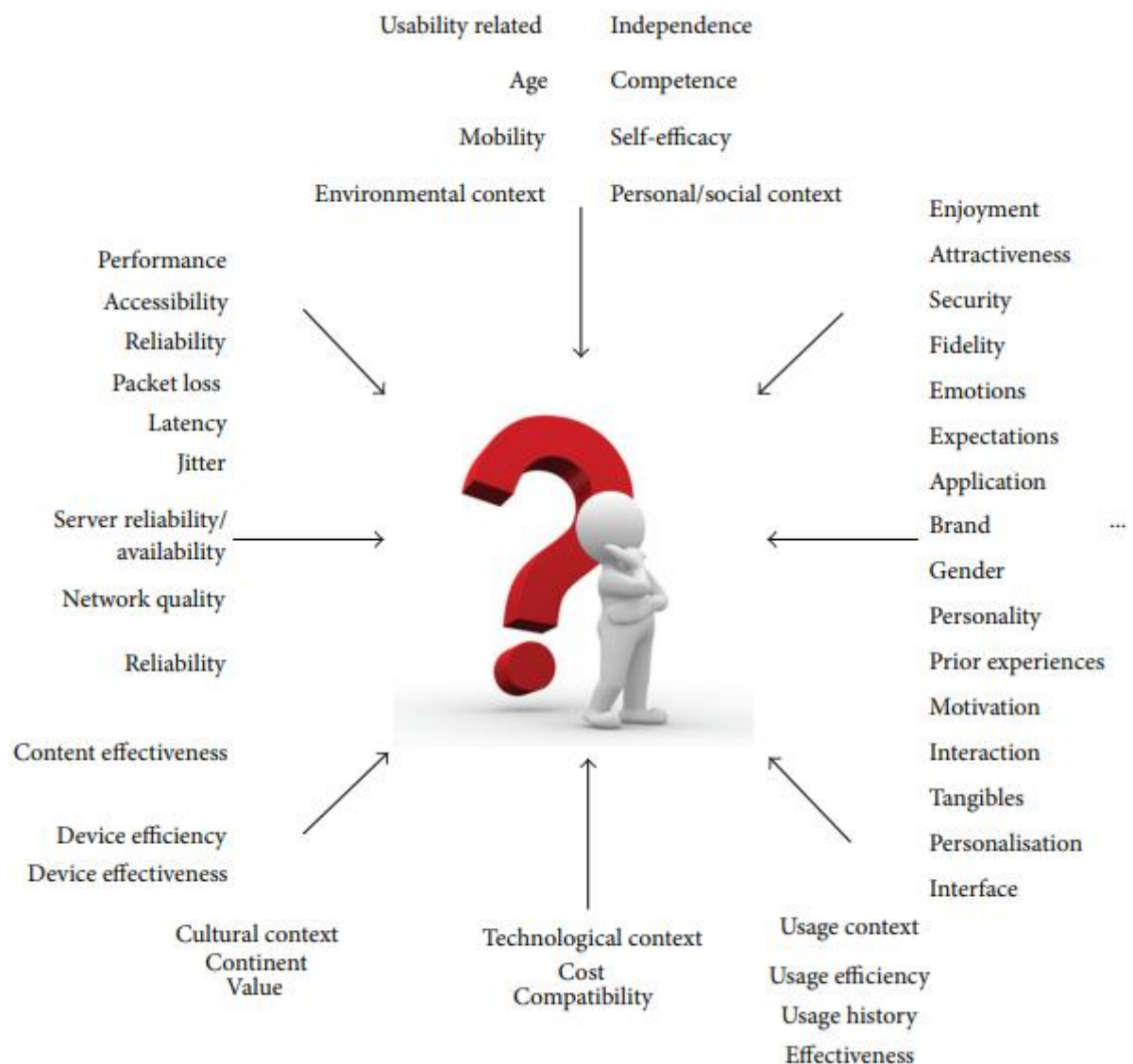


Рис. 1.4. Фактори впливу на QoE

З іншого боку, у своїй роботі «QoE dimensions and QoE measurement of NGN services» [21] автори класифікували фактори впливу QoE на п'ять вимірів:

- Продуктивність технології на чотирьох рівнях: додаток/сервіс, сервер, мережа та пристрій.
- Зручність використання, яка стосується поведінки користувачів під час користування послугою.
- Суб'єктивна оцінка.

- Очікування.
- Контекст.

Л. Скорін-Капов і М. Варела запропонували модель ARCU (Application-Resource-Context-User), яка групує фактори QoE у чотири багатовимірні простори IF: Додаток (фактори, пов'язані з конфігурацією програми), Ресурс (фактори, пов'язані з мережею/системою), Контекст і Користувач [23].

В результаті багатьох досліджень з'явилася класифікація, відповідно до якої фактори впливу на QoE згруповані у наступні категорії [24]:

1. Людські фактори впливу представляють будь-які незмінні властивості або характеристики людини-користувача. Характеристика може описувати демографічне та соціально-економічне походження, фізичну та психічну конституцію або емоційний стан користувача (наприклад, гострота зору та слуху, стать, вік, мотивація, рівень освіти, емоції).

2. Системні фактори впливу відносяться до властивостей і характеристик, які визначають технічну якість програми або послуги. Вони пов'язані із захопленням, кодуванням, зберіганням, рендерингом, відтворенням/відображенням, а також із передачею самої інформації (наприклад, пропускна здатність, затримка, втрата даних, безпека, розмір дисплея, роздільна здатність).

3. Контекстні фактори впливу визначаються як фактори, які охоплюють будь-яку ситуаційну властивість для опису середовища користувача з точки зору фізичних, часових, соціальних, економічних завдань і технічних характеристик» (наприклад, місцезнаходження, рухи, час доби, витрати, тип підписки, конфіденційність).

Розглянемо ряд загальних підходів до моделювання QoE. Для цього наведемо аналіз кількох загальних моделей QoE, перевірених різними типами послуг. Хоча всі перелічені моделі не обмежуються суто бездротовим середовищем, вони спрямовані на ідентифікацію численних ФВ на QoE і забезпечують механізми для їх зв'язку з QoE. У науковій літературі узагальнено моделі QoE на основі наступних параметрів порівняння: ФВ відповідно до категоризації в [22], типу послуги, розгляду бездротових аспектів, забезпечення конкретної моделі QoE та застосовності щодо

управління QoE. Це порівняння забезпечує розширення та модифікацію аналізу, проведеного Лагарі та ін. в [12].

Перкіс та ін. в [25] представили модель для вимірювання QoE мультимедійних послуг, розрізняючи вимірювані та невимірювані параметри. Іншими словами, цей підхід не передбачає будь-яких формул зв'язку показників QoE, а скоріше розглядає фактори, які впливають на QoE користувача. Вимірні параметри моделі тісно пов'язані з технологічними аспектами терміналу та послуги, а невимірні об'єкти зі сприйняттям послуги користувачем, його очікуваннями та поведінкою. Крім того, описано структуру для кількісного визначення параметрів моделі за допомогою послуг Voice on Demand (VoD) і послуг мобільного телебачення в мобільному середовищі 3G. Хоча автори класифікують параметри, враховуючи QoS, QoE та бізнес-аспекти, і таким чином охоплюють параметри людини та системи, модель не повністю включає вимір контексту. Однак запропонована структура моделювання надає вхідну інформацію для процесу вимірювання і, таким чином, сприяє загальному управлінню QoE, допомагаючи різним сторонам у покращенні їх продуктивності.

Модель, яка чітко не охоплює всі параметри QoE, а скоріше розглядає їх обмеженим чином, представлена Кімом та ін. [26]. In-service Feedback QoE Framework (IFQF) — це схема ініціювання користувача, спрямована на дослідження основних причин погіршення якості та, таким чином, внесок у загальний процес управління QoE. Архітектура складається з чотирьох агентів: сервера, мережі, користувача та агента керування, які збирають інформацію та формують цикл зворотнього зв'язку, щоб з'ясувати причину та локацію несправностей і таким чином мінімізувати різницю між значенням QoE, оціненим операторами та реальним QoE.

У [27] Кілкі запропонував структуру, яка визначає зв'язок між QoS і QoE, але не розглядає компоненти QoE в деталях. Структура об'єднує різні дослідницькі спільноти, включаючи інженерів, економістів і вчених-біхевіористів. Автор наводить вагомні аргументи на користь цілісного підходу до визначення QoE і пропонує створити міждисциплінарну дослідницьку групу, яка займатиметься питаннями складності QoE. Крім того, зазначено ключові терміни в комунікаційній екосистемі, але не надано класифікації факторів QoE або будь-яких деталей таксономії. Однак

структура вводить нові поняття, такі як якість взаємодії з користувачем (Quality of User Experience — QoUE) і якість взаємодії з клієнтом (Quality of Customer Experience — QoCE).

На відміну від попередніх підходів, що розглядають різні фактори QoE лише частково або більш абстрактно, Мюлер та ін. [28] розробили детальну таксономію найбільш актуальних аспектів QoS і QoE, зосереджуючись на мультимодальних взаємодіях людини і машини, а також на факторах, що впливають на QoS. Таксономія складається з трьох рівнів:

1. Фактори, що впливають на QoS, пов'язані з користувачем, системою та контекстом використання;
2. Аспекти продуктивності взаємодії QoS, що описують поведінку та продуктивність користувача та системи;
3. Аспекти QoE, пов'язані з процесами сприйняття якості та судження, що відбуваються всередині користувача.

На додаток до раніше описаних підходів, цей підхід також не надає жодного конкретного формулювання взаємозв'язку метрик QoE, але визнає потребу в підході з відповідними вагами, наданими ФВ на QoE, щоб сприяти цільово-орієнтованій розробці та оптимізації QoE в майбутніх системах.

Як і в [27], Гіртс та ін. в [29] застосували міждисциплінарний підхід і залучили дослідників із таких професій, як соціологія, комунікація, психологія, розробка програмного забезпечення та інформатика, щоб створити комплексну структуру. Запропонована модель складається з чотирьох компонентів: користувач, продукт ІКТ, процес використання та контекст.

Кожен компонент розділений на кілька підкатегорій, які потім охоплюють усі вищезазначені категорії ФВ на QoE. Хоча запропонований підхід не вводить формули QoE, він має на меті забезпечити детальний погляд на різні компоненти QoE, пропонуючи конкретну інформацію про те, як їх можна виміряти.

Інший підхід, що враховує всі категорії ФВ на QoE, запропоновано Лагарі та ін. [12]. Автори запропонували модель QoE високого рівня, яку можна адаптувати до багатьох конкретних контекстів. Він складається з чотирьох областей, тобто наборів

знань, діяльності або впливу в запропонованій моделі: людина, контекст, технологія та бізнес. Таким чином, модель розглядає QoE з багатьох аспектів, хоча можна відзначити, що вона більш суб'єктивно орієнтована на людську сферу. Крім того, структура визначає основні взаємодії доменів: людина-контекст, людина-технологія, людина-бізнес, технологія-бізнес і контекст-техно-бізнес, а також представляє причинно-наслідкові зв'язки між характеристиками домену. Іншими словами, представлене формулювання пов'язує QoE (набір факторів результату) із зв'язком «причина-наслідок», на який впливають фактори прогнозування (наприклад, технологічні, ділові чи контекстуальні характеристики) та з факторами-посередниками (наприклад, зв'язки між вищезазначеними факторами). Крім того, надаючи добре структуровану детальну таксономію відповідних змінних QoE та формулюючи причинно-наслідковий зв'язок між ними, цей підхід допомагає різним зацікавленим сторонам у більш широкому розумінні та управлінні QoE.

Волк та ін. [30] представляють новий підхід до моделювання QoE та гарантії в середовищі надання послуг NGN (Service Delivery Environment — SDE). Запропонована модель залежить від контексту та містить повний набір пов'язаних з якістю параметрів, доступних у різних інформаційних фабриках NGN та доступних за допомогою стандартизованих процедур у межах NGN SDE. QoS і різні компоненти людського сприйняття розглядаються. Крім того, вибір параметрів і визначення відображення встановлюються вертикально від транспортного рівня через прикладний рівень до рівня кінцевого користувача, а також горизонтально з конкатенацією QoS «точка-точка» і QoE «від кінця до кінця».

Де Мур та ін. [20] пропонують структуру, яка дозволяє оцінювати багатовимірний QoE в умовах живої лабораторії, орієнтованої на мобільний випробувальний стенд. Модель складається з розподіленої архітектури для моніторингу QoS мережі, контекстної інформації та суб'єктивного досвіду користувача на основі функціональних вимог, пов'язаних із вимірюванням досвіду в реальному часі та в реальних умовах. Архітектура дозволяє вивчати та розуміти міжконтекстуальні впливи, оцінювати відносну важливість параметрів і розробляти базову алгоритмічну модель QoE.

Нарешті, структура, розглянута Рейчел та ін. [31] спрямована на вдосконалення моделювання, вимірювання та управління QoE для послуг мобільного широкопasmового зв'язку (наприклад, мобільний веб-перегляд, завантаження файлів). Автори розробили модель для прогнозування QoE мережевих послуг, що заснована на багаторівневому підході, у якому розрізняються мережевий, прикладний і користувацький рівні. Багаторівневий підхід надає найбільш релевантні показники ефективності (наприклад, показники продуктивності мережі, характеристики взаємодії з користувачем і певний показник продуктивності, пов'язаний із програмою/сервісом) і спрямований на побудову точних моделей QoE шляхом об'єднання досліджень користувачів, що надають прямі оцінки, із зареєстрованими даними на прикладному рівні і вимірювання трафіку на мережевому рівні. Застосовувана лабораторна установка включає пристрій користувача та два емулятори мережі, які моделюють поведінку змінної мережі UMTS/HSPA. Мережевий трафік учасників фіксується за допомогою системи пасивного моніторингу METAWIN [32], яка відстежує трафік на всіх інтерфейсах базової мережі з комутацією пакетів. Пасивні вимірювання мережі в поєднанні з отриманими суб'єктивними оцінками користувачів служать для створення надійних моделей QoE для майбутньої оцінки QoE. Запропонована модель забезпечує міждисциплінарну перспективу, включаючи такі аспекти, як зручність використання пристрою та програми, контекст використання, особистість користувача, емоційні проблеми та ролі користувача. Таким чином, його можна використовувати не тільки для прогнозування та управління QoE, але й для виявлення функціональних залежностей між причинно-наслідковими показниками ефективності та результуючою сприйманою якістю.

На основі порівняння, можна резюмувати, що більшість обговорюваних підходів, що відрізняються типом обслуговування та бездротовими аспектами, звертаються до людських ФВ як на низькому рівні (фізична, емоційна та розумова конституція користувача), так і на високому рівні (когнітивні здібності, інтерпретація чи судження). Ці моделі також розглядають системні ФВ, класифіковані на фактори вмісту, медіа, мережі та пристроїв, а також контекстні ФВ. Однак, хоча

проаналізовані підходи стосуються різних ФВ, більшість з них пропонують структуру моделювання QoE, тоді як лише деякі з них — конкретну модель [12, 30, 31].

У контексті управління QoE усі розглянуті підходи до моделювання QoE сприяють цьому процесу та можуть бути застосовані в різних контекстах, таких як оптимізація системи чи послуг/додатків, а також покращення розподілу мережевих ресурсів. Таким чином, деякі з них були створені для допомоги в моніторингу, вимірюванні та оцінці QoE, тоді як інші сприяють покращенню QoE шляхом діагностики основних причин погіршення якості, що дозволяє розробити стратегії, а також надання детальної таксономії і причинно-наслідкових зв'язків, а також механізмів прогнозування QoE.

1.2.2. QoE моделювання в контексті бездротових мереж

Моделювання QoE стає ще більш складним у контексті бездротових і мобільних мереж через додаткові проблеми, які створює змінне середовище. Раніше проаналізовані підходи до моделювання QoE розглядали точки, спільні для фіксованих бездротових мобільних середовищ з точки зору системи, користувача та контексту ФВ. Однак, щоб отримати краще розуміння моделювання QoE у бездротових середовищах, додаткові аспекти, які необхідно розглянути та підкреслити окрім загальних, були перераховані та класифіковані відповідно до категорій Система (п.1-3) та Користувач та контекст (п.4) у [24]:

1. Мережа: фізичні явища бездротового каналу — мінливість (на які впливають шум, згасання та перешкоди), надійність бездротового каналу (перехоплення, проблеми з безпекою), бездротова ємність (швидкість, покриття, обмежена пропускна здатність, спільні ресурси), спільний доступ до каналів між користувачами, потужність сигналу (залежить від температури, вологості, відстані від антени, коефіцієнта посилення антени базової станції), сигналізація про перевантаження трафіку, затримка передачі

2. Пристрій: потужність сигналу (посилення кінцевої антени, чутливість кінцевого приймача), термін служби акумулятора — споживання енергії,

обчислювальна потужність/ресурси, ємність пам'яті, можливості процесора, розмір екрану та клавіатури, сигналізація про перевантаження трафіку.

3. Медіа та контент: можливості адаптації (наприклад, можливість адаптувати різні параметри програми відповідно до обмежень пристрою, мережі, контексту використання), зручність використання мобільного пристрою, регулювання енергоспоживання пристрою, доступ до даних, можливості автономного режиму, прозора синхронізація з серверними системами, питання безпеки.

4. Рутини і спосіб життя користувача: вплив декількох контекстів на сприйняття користувача (наприклад, мобільність, час доби, галасливе середовище, попередній досвід).

Починаючи з самого середовища, необхідно звернути увагу на надійність та мінливість. Бездротові канали більш схильні до помилок, ніж фіксовані мережі, через вплив різних фізичних явищ, таких як шум або перешкоди. Це призводить до втрати пакетів, а також до надмірних і змінних затримок, які, як наслідок, впливають на такі показники, як час проходження в обидві сторони (Round Trip Time - RTT), час відповіді сервера (Server Response Time - SRT) або пропускна здатність, а також цілісність і плавність переданих даних. Бездротова інфраструктура була позначена як вузьке місце в процесі передачі даних між пристроєм користувача та шлюзом через такі характеристики, як пропускна здатність, радіус покриття, спільне використання каналу з іншими користувачами або потужність сигналу на які можуть впливати температура, вологість, відстань до антени тощо. Крім того, щодо надійності бездротових каналів слід враховувати питання безпеки та перехоплення. Використання безлічі технологій бездротового доступу, що відрізняються за своїми характеристиками (наприклад, пропускна здатність, обмеження ємності та покриття, механізм перевантаження), також впливає на продуктивність бездротової мережі в тому числі і на QoE.

На відміну від фіксованого середовища, мобільність (горизонтальний хендовер), а також свобода перемикання між різними доступними технологіями бездротового доступу, тобто міграція зв'язку з однієї мережі в іншу (вертикальний

хендовер), призводить до ще одного фактора, що впливає на QoE — затримка встановлення сесії. А саме, під час встановлення сеансу мобільний користувач проходить декілька кроків. По-перше, користувач повинен дочекатися виконання процедур безпеки, щоб отримати доступ до мережі. Потім користувач додатково чекає, поки завершаться процедури сигналізації, щоб встановити сеанс. Тому, щоб спочатку встановити сеанс або відновити його через переривання, спричинене хендовером, необхідно виконати ці процедури [21]. При високому відсотку мобільності користувачів процедури сигналізації виконуються частіше, збільшуючи кількість сигнального трафіку. Це впливає на загальне використання бездротових ресурсів і збільшує затримку встановлення сеансу, що призводить до негативного впливу на QoE.

Однак збільшений обсяг сигнального трафіку, який обмінюється під час процедури встановлення, модифікації або завершення сеансу, впливає не лише на радіоресурси та ресурси сигналізації, але й на продуктивність пристрою. Наприклад, сучасні мобільні телефони мають вражаючий набір функцій і можливостей та підтримують програми, які потребують постійного підключення до мережі [33]. Підключення підтримується частим обміном сигнальним трафіком, який може домінувати в порівнянні з трафіком даних. Наслідком є перевантаження обчислювальних ресурсів мобільного пристрою та швидке споживання заряду батареї. Ці фактори не враховуються ні у випадку ноутбуків, де сигнальний трафік генерується не так часто, а батареї більші та дозволяють довше підтримувати з'єднання, ані в моделюванні QoE для фіксованих середовищ, де споживання батареї не є проблемою. Крім того, споживання батареї пов'язане не лише із взаємодією мобільного пристрою з мережею, але й із взаємодією користувача з пристроєм. Таким чином, можна зробити висновок, що час роботи батареї та її споживання є основними факторами, які необхідно враховувати при моделюванні QoE у бездротовому контексті.

Окрім споживання батареї, низка функцій мобільних пристроїв впливає на QoE. Розмір екрана мобільного пристрою, а також положення та розташування клавіш на екрані можуть викликати труднощі зі зміною розміру або прокручуванням. Маленька клавіатура може вплинути на загальну зручність використання та погіршити набір тексту. Крім того, як зазначено в [34, 35], на якість, що сприймається кінцевим користувачем, може вплинути відсутність «функцій», таких як флеш-плеєр, персоналізований будильник, функції для налаштувань конфіденційності, система глобального позиціонування (Global Positioning System - GPS) і вбудований словник.

У контексті досягнення високого QoE розробники мобільних додатків повинні розглядати всі сценарії використання та вирішувати різні проблеми. Можливості адаптації додатків (динамічні чи статичні) є важливими з точки зору адаптації вмісту служби/додатку відповідно до можливостей пристрою та доступу до мережі. Окрім зручності використання, яка в основному враховується у всіх моделях QoE, програми повинні бути розраховані на обчислювальну потужність пристрою [36]. При розгляді мобільних додатків також слід розглянути різні способи доступу до даних, проблеми безпеки та автономні можливості, а також прозору синхронізацію з серверними системами.

Нарешті, поведінка користувача в бездротовому контексті відрізняється від фіксованого середовища. Користувачі можуть отримувати доступ до послуг за допомогою різних доступних бездротових технологій і різних мобільних пристроїв.

Незважаючи на те, що це розглядається в більшості існуючих підходів до моделювання QoE, особливо важливо враховувати різні контексти використання в бездротових середовищах, оскільки вони значно змінюють сприйняту користувачами якість. Автори в [34] визнали ці важливі аспекти, пов'язані з користувачем і контекстом у мобільному середовищі, і узагальнили їх у рутині користувача та стилі життя.

1.2.3. Огляд підходів до моніторингу та вимірювання QoE

Як зазначалося раніше, QoE — це багатовимірна концепція, яку важко не тільки визначити простим і уніфікованим способом, але й відстежувати та вимірювати, враховуючи велику кількість ФВ, які слід враховувати. Щоб забезпечити точну оцінку QoE, розгляду лише одного або двох ФВ зазвичай недостатньо. Навпаки, QoE слід розглядати в усіх його вимірах, беручи до уваги якомога більше ФВ. Знання ключових ФВ, пов'язаних із даним типом послуги, взятих із моделей QoE, надає вхідні дані для цілей моніторингу.

Процес моніторингу та вимірювання QoE охоплює отримання даних, пов'язаних із мережевим середовищем та умовами, можливостями терміналів, користувачами, контекстом і конкретною інформацією про програму/сервіс та її кількісне визначення [37]. Параметри можуть бути зібрані у різних точках комунікаційної системи, у різні моменти часу, а також різними методами. Різноманітність точок, моментів і методів моніторингу та вимірювання QoE разом із вибором ключових ФВ для певної послуги додатково збільшує складність цього процесу.

1.2.3.1. Загальні засади моніторингу QoE

Для того, щоб мати можливість регулювати та оптимізувати QoE, необхідні знання щодо першопричини незадовільного рівня або погіршення показників. Як зазначають Баттерам та ін. [38], а також Райхель та ін. [39], багаторівневий підхід пов'язує ключові показники ефективності мережевого рівня — KPI (наприклад, затримка, втрати, пропускна здатність тощо) з ключовими показниками якості додатків на рівні користувача — KQI (наприклад, доступність послуг, зручність використання, надійність тощо), які потім надають вхідні дані для моделі оцінки QoE. Додаткові вхідні дані для моделі оцінки QoE можуть надаватися ФВ, пов'язаними з користувачем, контекстом і пристроєм. Отримані дані по ключовим та додатковим показникам — параметрам якості нададуть цінну інформацію щодо аналізу основних

причин погіршення QoE. Отже, для збору даних щодо відповідних KPI необхідні зонди моніторингу, вставлені в різні точки ланцюга надання послуг.

Розглядаючи точки моніторингу, розрізняють зонди на стороні мережі та зонди на стороні клієнта (вимірювання в обох випадках можуть проводитися на різних рівнях стеку протоколів). На стороні клієнта додатково розрізняють зонди, які збирають дані, пов'язані з кінцевим користувачем (наприклад, об'єктивні показники, такі як клацання миші користувачем, або демографічні дані користувача, мотивація користувача тощо), контекстні дані, дані, пов'язані з пристроєм, програмою та мережевим трафіком. У той час як моніторинг на стороні клієнта забезпечує найкраще уявлення про якість послуг, яка насправді сприймається користувачами, складність полягає в тому, щоб надати зворотний зв'язок з інформацією про QoE постачальнику телекомунікаційних послуг для адаптації, контролю та оптимізації QoE. Як зазначають Хосфельд та ін. [37], ця точка моніторингу на стороні клієнта створює проблеми конфіденційності даних та довіри користувачів, оскільки користувачі можуть обманювати, щоб отримати кращу продуктивність. Отже, збір даних у мережі без моніторингу на стороні клієнта, як правило, не забезпечить достатнього розуміння QoE. Отже, для точного моніторингу QoE необхідно використовувати обидві позиції: моніторинг зсередини мережі та на стороні клієнта.

Солдані та ін. [40] описали ідентичні підходи до моніторингу та вимірювання QoE, зокрема в мобільних мережах. Було запропоновано два підходи: (1) підхід на рівні обслуговування з використанням статистичних вибірок; і (2) система управління мережею з використанням параметрів QoS. Перший використовує індикатори продуктивності на рівні додатків і надає реальну думку користувача щодо використовуваної послуги, тоді як другий відображає показники продуктивності QoS з різних частин мережі. Кілька подібних підходів до вимірювання QoE були стандартизовані 3GPP, зокрема, для потокової передачі на основі протоколу реального часу (RTP), потокової передачі за протоколом передачі гіпертексту (HTTP) [41], динамічної адаптивної потокової передачі через HTTP (DASH), прогресивного завантаження [42] та мультимедіа телефонія (MMtel) [43] для пристроїв 3GPP. Вважається, що найкращий спосіб отримати точну оцінку QoE – це відстежувати та

вимірювати її на мобільному пристрої та повідомляти про це в систему [44]. Повідомлені дані QoE поєднуються з іншими вимірюваннями, зібраними мережею, і полегшують виявлення основних причин погіршення якості.

Що стосується часу, вимірювання QoE можуть проводитися (1) до розробки послуги, що включає врахування індивідуальних факторів якості, а також планування якості; (2) після того, як послугу розроблено, але не надано; (3) під час/після надання послуги, що включає моніторинг якості в мережі та на стороні кінцевого користувача під час/після використання послуги. Було зазначено, що в контексті адаптації замкнутого циклу зростає попит на відповідні об'єктивні методи оцінки QoE для сприяння оптимальному використанню доступних бездротових ресурсів [45].

Як обговорювалося в [38], наразі на ринку поширені три методи вимірювання продуктивності: (1) використання тестових пакетів; (2) використання зондів в елементах мережі та обладнанні користувача; і (3) використання комбінації вимірювань з кількох елементів мережі. Також в науковій літературі описані різні підходи, що включають пасивні вимірювання, засновані на аналізі кореляції між характеристиками трафіку та критеріями ефективності [46, 47]. Проведення пасивних вимірювань часто є дешевим і може використовуватися для оцінки нових додатків. Однак використання мережевих заходів QoS для оцінки QoE зазвичай передбачає розпізнавання окремих медіа-потоків, отже, докладання додаткових зусиль на процес моніторингу (включаючи фільтрацію пакетів і реконструкцію потоку) [48].

Знайти консенсус щодо методів вимірювання QoE сьогодні є складною задачею. З одного боку, QoE зазвичай вимірюється з точки зору технічних показників, оскільки його часто інтерпретують з точки зору QoS. Цей підхід до вимірювання та оцінки піддається критиці, коли підкреслюється багатовимірний характер QoE [20, 25, 27, 49–51]. З іншого боку, вимірювання суб'єктивних аспектів досвіду часто пропускається або нехтується через коротший життєвий цикл продукту/послуги, обмеження часу, бюджетні причини або просто тому, що вони ігноруються

1.2.3.2. Вимірювання QoE на боці клієнта

Хоча політика 3GPP і механізми QoS базуються на централізованому контролі, були докладені додаткові зусилля для моніторингу певних даних на боці клієнта. У контексті послуг DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) органи стандартизації 3GPP і MPEG мають механізми для активації вимірювань QoE на клієнтському пристрої, а також протоколи та формати для доставки звітів QoE на мережеві сервери [42]. Важливо відзначити, що адаптивна потокова передача HTTP загалом надає клієнту можливість повністю контролювати сеанс потокової передачі.

Ця методологія здебільшого підходить для мобільних бездротових середовищ і пропонується як додаткова функція на клієнтських пристроях. Структура моніторингу та звітності QoE, стандартизована 3GPP, складається з наступних етапів: (1) сервер активує звітність QoE, запитує набір метрик QoE для звітування та налаштовує структуру звітності QoE; (2) клієнт відстежує або вимірює запитані показники QoE відповідно до конфігурації QoE; і (3) клієнт надсилає звіт QoE на мережевий сервер у форматі Extensible Markup Language (XML) за допомогою HTTP [52]. У контексті систем 3GPP LTE важливо розробити та прийняти нові методи вимірювання QoS і адаптації послуг, націлені на служби DASH, оскільки вони є корисними в сенсі оптимального управління обмеженими мережевими ресурсами та покращеного забезпечення QoE для кінцевого користувача [53]. Переваги адаптивної потокової передачі були, зокрема, визнані у випадку мобільного відеозв'язку, що потребує високу пропускну здатність. На малюнку 3 зображено можливий приклад архітектури PCC, що виконує наскрізну доставку QoS/QoE для служб DASH. Як зазначено в [53], поточна архітектура 3GPP PCC підтримує лише доставку QoS і адаптацію послуг для адаптивних поточкових послуг на основі RTSP, з необхідністю нових методів для адаптивних поточкових послуг HTTP.

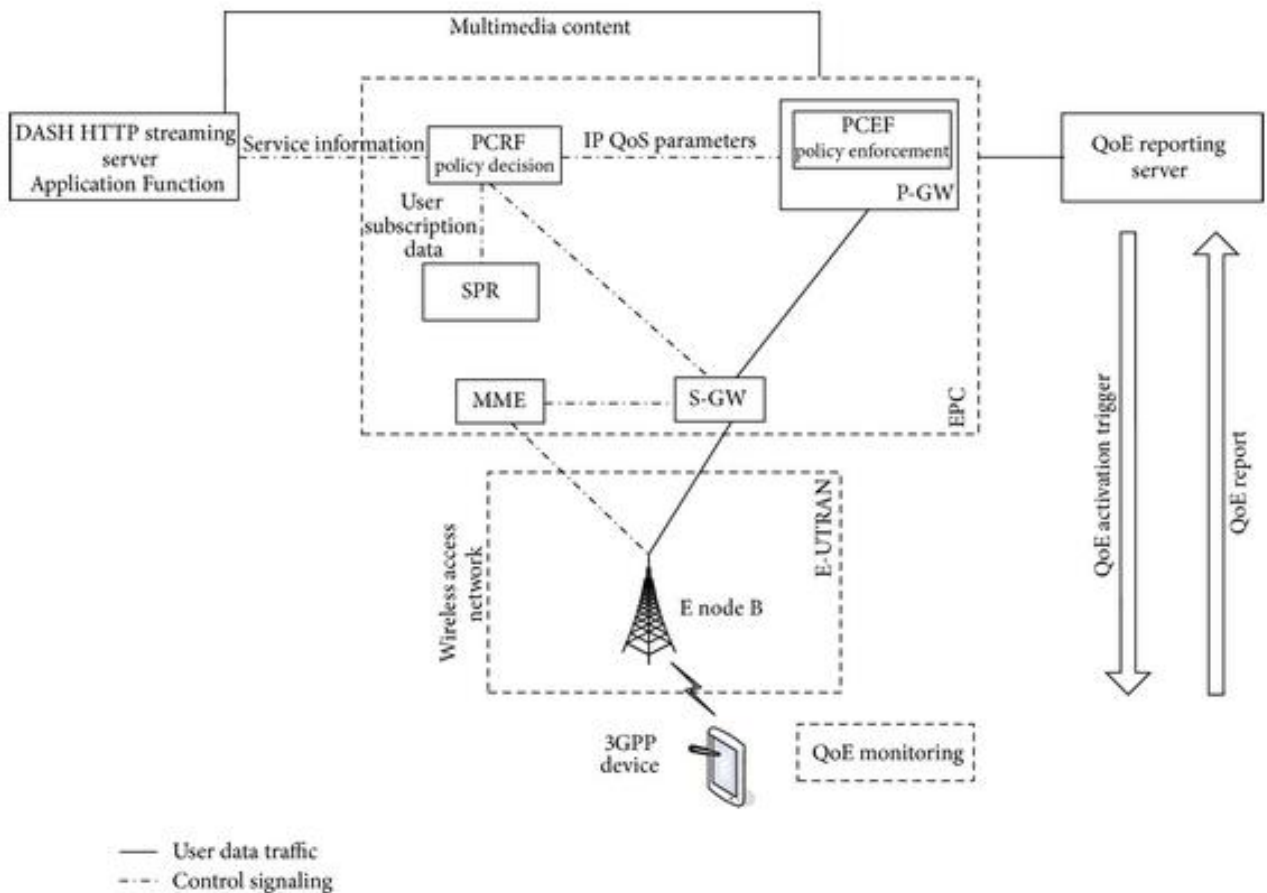


Рис. 1.5. Приклад архітектури PCC, що виконує наскрізну доставку QoS/QoE для служб DASH

В науковій літературі описуються конкретні випадки збору відповідних метрик QoE на стороні клієнта, хоча в основному для цілей моделювання QoE і без урахування механізмів звітності, що забезпечують зворотний зв'язок із мережею. У дослідженнях мобільного потокового відео [54] представлено реалізацію підходу вимірювання QoE на платформі Android на основі збору як об'єктивних, так і суб'єктивних параметрів. Спостережувані цільові параметри реєструються компонентом QoS і контекстним монітором, розгорнутим на вузлі пристрою Android, і включають приривання аудіо та відео та швидкість втрати пакетів, а також відсоток тривалості з'єднання з певним типом мережі та передачі даних по відношенню до загальної тривалості сеансу перегляду відео. Крім того, спостережувані суб'єктивні

параметри кінцевого користувача реєструються компонентом Experience Monitor, також розгорнутим на пристрої Android, і включають оцінки тестових користувачів щодо вмісту, якості зображення та звуку, плавності, відповідності очікуванням і швидкості завантаження. Подібно до процедур у [54], Вердехо та ін. в своїй роботі [55] обговорюють структуру вимірювання QoE на базі Android у контексті гри в багатокористувацьку онлайн гру у режимі реального часу на мобільних пристроях. Оцінки користувачів щодо відчуттів, поглинання чи залученості під час гри враховуються та пов'язуються з набором об'єктивних параметрів, пов'язаних із QoS, контекстними даними та фізіологічними даними, отриманими від датчика на тілі.

Раніше описані підходи до вимірювання можуть сприяти загальному процесу управління QoE в контексті вдосконалення дизайну програми, тобто кращого розуміння вмісту та фізичних ефектів. Однак у разі застосування таких методів вимірювання, наприклад, для оптимізації продуктивності мережі, проблема полягає в тому, щоб повідомити зворотнім зв'язком QoE, отриманий на стороні клієнта. Інші потенційні проблеми пов'язані з користувачами. Як згадувалося раніше, якщо користувач надає відгук, пов'язаний з QoE, він може шахраювати, щоб покращити свою продуктивність. Нарешті, конфіденційність користувача може бути проблемою, коли мова йде про моніторинг поведінки.

Крім описаних раніше суб'єктивних методів збору даних ESM і DRM, Вак та ін. [35] також розглянули технічні аспекти QoE у своєму підході до вимірювання, що включає чотиритижневе дослідження в реальному житті. Вони розробили програмне забезпечення Android Context Sensing Software (CSS), яке непомітно збирає контекст і дані QoS з телефонів Android користувачів. Зібрані контекстні дані включають поточний час і географічне розташування користувача, мережеву технологію бездротового доступу, ідентифікатор стільникового зв'язку або назву точки доступу, індикацію потужності отриманого сигналу (Received Signal Strength Indication - RSSI), поточні використовувані програми, загальну пропускну здатність, тоді як виміряним параметром мережі був RTT для контрольного повідомлення на рівні програми, яке щохвилини надсилається з мобільного пристрою через доступну мережу бездротового доступу на виділений сервер. У результаті дослідження автори

визначили ряд ФВ QoE для мобільних додатків, таких як рутина користувача, попередній досвід і можливість вибору між ПК і мобільним пристроєм. Цей підхід сприяє процесу управління QoE у контексті вдосконалення дизайну мобільних додатків, але може зіткнутися з тими ж проблемами розгортання, що й два описані раніше підходи.

Що стосується збору відгуків користувачів, структура, запропонована Чен та ін. [56] кількісно оцінює сприйняття якості користувачами, змушуючи користувачів натискати спеціальну кнопку щоразу, коли він/вона відчуває незадоволення якістю використовуваної програми. Отже, структура називається OneClick і була продемонстрована за допомогою оцінок користувачами різного мультимедійного контенту в змінних умовах мережі.

Зосереджуючись на голосових послугах, Варела та Лауладжайнен [57] описують оцінки QoE для VoIP, щоб покращити існуючі рішення для управління мобільністю IP на рівні мережі. Пропоноване рішення виконує оцінку QoE шляхом пасивного моніторингу QoS мережі для трафіку VoIP, надаючи інформацію про QoS мережі в інструмент псевдосуб'єктивної оцінки якості (Pseudo-Subjective Quality Assessment - PSQA) [58]. Представлена реалізація прототипу тестується в сценаріях, що представляють реальне використання послуги VoIP. Зазначимо, що оцінка та прогноз QoE для VoIP на основі механізмів пасивного зондування та інтегрованих безпосередньо в протокол керування мобільністю далі розглядається Мітра та ін. [59].

1.2.3.3. Вимірювання QoE на боці мережі

Волк та ін. [30], чий підхід був описаний раніше у контексті моделювання QoE, зосередилися на середовищі на основі NGN та IP-мультимедійної підсистеми (IP Multimedia Subsystem - IMS) [60] і запропонували рішення для забезпечення QoE, яке використовує автоматизований проактивний робочий алгоритм для оцінки QoE користувача, а не покладається на звичайні методи QoS або отримує суб'єктивний відгук кінцевого користувача. Алгоритм оцінки QoE базується на контекстно-залежному об'єктивному наскрізному моделюванні QoE та виконується спеціальним

сервером, реалізованим як засіб надання додаткових послуг. Автори стверджують, що причинами для проведення централізованих оцінок QoE в мережі є наявність і доступ до широкого діапазону інформації, пов'язаної із забезпеченням якості обслуговування, можливістю проведення ненав'язливого оцінювання QoE, функціональністю (наприклад, сервер може викликати адаптацію/модифікацію певних параметрів, що впливають на якість). Хоча автори стверджують, що цей підхід забезпечує справедливе тлумачення суб'єктивно сприйнятої якості для будь-якого кінцевого користувача чи послуги, а також операційну ефективність з точки зору відсутності участі кінцевого користувача (гарантування універсальності оцінки QoE), поняття унікальності користувача при цьому можна вважати знехтуваним.

Хосфельд та ін. [61] порівнюють два підходи до моніторингу QoE YouTube, що працюють на рівні кінцевого користувача і в мережі. Новий мережевий інструмент моніторингу YouTube (YiN) пропонується як інструмент пасивного моніторингу мережі. Цей підхід спрямований на виявлення та вимірювання преривань, відтворення відео шляхом наближення стану відеобуфера шляхом порівняння часу відтворення відеокадрів і міток часу отриманих пакетами. Проблеми цього підходу пов'язані з точністю відтворення моментів зупинкок, які надходять на прикладний рівень, що вимагає додаткових витрат і обмежує масштабованість з точки зору кількості потоків, які можна моніторити.

Менковський та ін. [62] представили метод оцінки QoE та розробили платформу для проведення оцінки QoE для постачальника послуг. Розроблена платформа оцінює QoE послуг мобільного телебачення на основі наявних даних моніторингу QoS разом із моделями прогнозування QoE. Моделі прогнозування будуються за допомогою методів машинного навчання (ML) із суб'єктивних даних, отриманих шляхом обмежених початкових суб'єктивних вимірювань користувача. Таким чином, суб'єктивні складності, пов'язані з вимірюванням, зводяться до мінімуму, а точність методу зберігається. Наразі ця платформа використовується для систем мобільного телебачення, де вона оцінює QoE потокового медіа-контенту та надалі використовується для керування послугами та ресурсами. Однак розгорнута система

не може надати жодної інформації про те, як сервіс сприймається кінцевим користувачем.

1.2.3.4. Моніторинг QoE, шляхом поєднання вимірювання на стороні клієнта та мережі

Через подальше зосередження на YouTube як одному з найпоширеніших і інтенсивних мобільних додатків, Сталь та ін. [63] запропонували інструмент моніторингу YouTube Application Comfort (AC) — YoMo, який відстежує QoE на стороні клієнта. Інструмент виявляє відео YouTube і визначає час його відтворення в буфері. Таким чином, інструмент YoMo здатний виявити неминуче погіршення QoE, тобто зупинку відео. Переривання відтворення відео є єдиним розглянутим фактором, що впливає на YouTube QoE, оскільки стверджується, що це ключовий ФВ у даному випадку. Крім того, інструмент передає інформацію про затримку мережевому консультанту та подає сигнал тривоги, якщо показники погіршуються. Що робить YoMo особливо придатним для моніторингу та вимірювання QoE, через його здатність заздалегідь передбачити час зупинки. Таким чином, це дозволяє оператору мережі реагувати до погіршення QoE і уникати незадоволення клієнтів.

Кетико та ін. [64] представили концепцію вимірювання QoE, пов'язану з мобільним потоковим відео в середовищі мережі 3G і напівреальному контексті. Збір даних, який базується на методі вибірки досвіду, поєднує об'єктивні та суб'єктивні дані для оцінки досвіду користувачів. Спостережувані параметри QoE, пов'язані з технічною якістю, втратою аудіо- та відеопакетів, спотвореннями під час передачі сигналу отримуються на стороні сервера із записів приймача (Receiver Records - RR) протоколу керування транспортуванням у реальному часі (Real-time Transport Control Protocol - RTCP), тоді як спостережуваний параметр RSSI отримується з інструменту вимірювання MuExperience, який використовується на стороні клієнта. Параметри суб'єктивної оцінки проводилися у два етапи: (1) анкета перед використанням (отримання інформації про досвід користувачів щодо мобільних додатків) і (2) етап використання, де користувачам пропонується використовувати мобільний додаток у

шести різних контекстах використання: у приміщенні, на вулиці, вдома, на роботі та в поїзді/автобусі. Це дослідження показало, що QoE потокового мобільного відео залежить від QoS і контексту. Крім того, автори запропонували лінійні функції для моделювання аспектів QoE, пов'язаних з технічною якістю, і стверджували, що просторова якість та емоційне задоволення є найбільш релевантними аспектами QoE для користувачів.

Розглянувши кілька вибраних підходів до вимірювання QoE, можна класифікувати їх на такі, які спрямовані на виконання моніторингу QoE шляхом отримання даних лише на стороні клієнта [35, 42, 54–56], лише в мережі [30, 31, 57, 61], або шляхом збору даних як на стороні клієнта, так і в мережі [63, 64]. Як зазначалося раніше, для забезпечення точної оцінки QoE та визначення причин погіршення QoE необхідні вимірювання, зібрані вздовж наскрізного шляху надання послуг. Більшість підходів включають як суб'єктивні, так і об'єктивні параметри, коли кінцеві користувачі оцінюють QoE. Хоча збір суб'єктивних оцінок зазвичай проводиться в рамках емпіричних досліджень QoE, спрямованих на побудову точних моделей QoE, об'єктивні вимірювання забезпечують вхідні дані для механізмів прогнозування QoE і зазвичай використовуються для оптимізації QoE та контролю. Крім того, з точки зору вимірювальних середовищ, які обговорювалися, кілька підходів були проілюстровані в лабораторних випробуваннях [31, 54, 55, 63], а інші були продемонстровані в реальному житті [30, 35, 42, 56] або напівреальному середовищі [54, 55, 64].

Як можна помітити з попереднього аналізу, підходи до моніторингу QoE у бездротовому контексті часто вимірюють такі параметри, як швидкість втрати пакетів, пропускну здатність, затримку та спотворення під час передачі сигналу. Однак, щоб отримати глибше розуміння ФВ на QoE в бездротових і мобільних середовищах, існує потреба в моніторингу параметрів, характерних для мережі, пристрою, контенту та контексту. Наприклад, вимірювання RSSI можуть бути використані для вирішення таких факторів бездротового зв'язку, як вплив фізичних явищ на канал, його пропускну здатність і розподіл між користувачами, потужність сигналу, посилення термінальної антени. Крім того, щоб отримати точність щодо

бездротових каналів, це вимірювання можна поєднати з вимірюваннями посилення базової станції та антени, відстані від антени, температури тощо. Інформація, отримана шляхом поєднання вищезгаданих вимірювань, може дати більш чітке уявлення про те, які фактори впливають на QoE і в якій мірі. Іншим прикладом є вимірювання частоти оновлення сигналів, яке може виявити, як можна оптимізувати специфічні для бездротового та мобільного зв'язку складнощі. Крім того, хоча це не враховується в аналізі, рекомендується вимірювати енергоспоживання мобільного пристрою під час використання різних програм, потужність процесора та ємність пам'яті.

Вибравши відповідну метрику QoE та підхід до моніторингу та вимірювань, важливо забезпечити механізми, що використовують цю інформацію для покращення продуктивності послуг, планування мережі, оптимізації мережевих ресурсів, специфікації угод про рівень обслуговування (service level agreements - SLA) між операторами тощо. Такі питання розглядаються як «останній крок» у процесі управління QoE.

1.2.4. Оптимізація та контроль QoE

Після моделювання, моніторингу та вимірювань кінцевою метою управління QoE є його контроль за допомогою відповідних механізмів. Такі механізми забезпечують оптимізоване надання послуг із (потенційно) безперервним і динамічним контролем процесу постачання послуг, щоб максимально підвищити задоволеність кінцевого користувача та оптимально використовувати обмежені системні ресурси. З точки зору мобільного оператора, мета полягає у тому, щоб підтримувати задоволених кінцевих користувачів (з точки зору досягнутого QoE), щоб обмежити відтік клієнтів, одночасно ефективно розподіляючи доступні ресурси бездротової мережі. Оптимізацію QoE як таку можна вважати дуже складним завданням через ряд складнощів, характерних для конвергентних бездротових середовищ IP, включаючи обмежену пропускну здатність та її мінливість, зростання

мобільних даних, неоднорідність мобільних пристроїв і послуг, різноманітність контекстів використання, складні вимоги та очікування користувачів.

Ряд запропонованих стратегій для оптимізації QoE у бездротовому середовищі відрізняються підходом (орієнтований на мережу/користувача), параметрами, вибраними для коригування, місцем(ями) керування та часом тощо. Таким чином, у цьому розділі додаток Б надасть огляд сучасних підходів щодо стратегій оптимізації QoE.

Скорін-Капов і Матіяшевич [65] запропонували адаптацію послуг, керовану QoE, і оптимізовані механізми розподілу мережевих ресурсів у контексті архітектур 3GPP IMS і PCC (рис. 6). Вимоги до послуг сигналізуються у формі службових функцій і служать вхідними даними для процесу оптимізації, спрямованого на обчислення оптимальної конфігурації служби та розподілу заданого мережевого ресурсу послуги і обмеження політики оператора. Результати обчислень передаються на вузол PCRF і служать вхідними для механізмів розподілу ресурсів. Івешич та ін. [66] далі побудували цей підхід, зосередившись на оптимальному розподілі ресурсів у всьому домені між кількома сеансами, керованим QoE. Розподіл ресурсів було сформульовано як задачу багатоцільової оптимізації з максимізацією загальної корисності всіх активних сеансів разом із прибутком оператора в контексті 3GPP EPS.

Крім того, Латре та ін. [67] (Рис. 7) визначили архітектуру автономного керування для оптимізації QoE у мережах доступу до мультимедійних даних, використовуючи трирівневий підхід, що складається з (1) площини моніторингу, яка контролює мережу та накопичує знання про неї; (2) площини знань, яка аналізує знання та визначає ідеальні дії QoE; і (3) площини дій, яка забезпечує виконання цих дій у мережі. Автори зосередилися на «розумній» площині знань, яка складається з двох аргументів: аналітичного, заснованого на наборі рівнянь, і іншого, заснованого на нейронних мережах. Такий механізм здатен оптимізувати QoE відеосервісів за допомогою двох дій: застосувати пряме виправлення помилок (Forward Error Correction - FEC), щоб зменшити втрату пакетів, спричинену помилками в каналі, і перейти до іншої швидкості потоку відео, щоб уникнути перевантаження або отримати кращу якість відео.

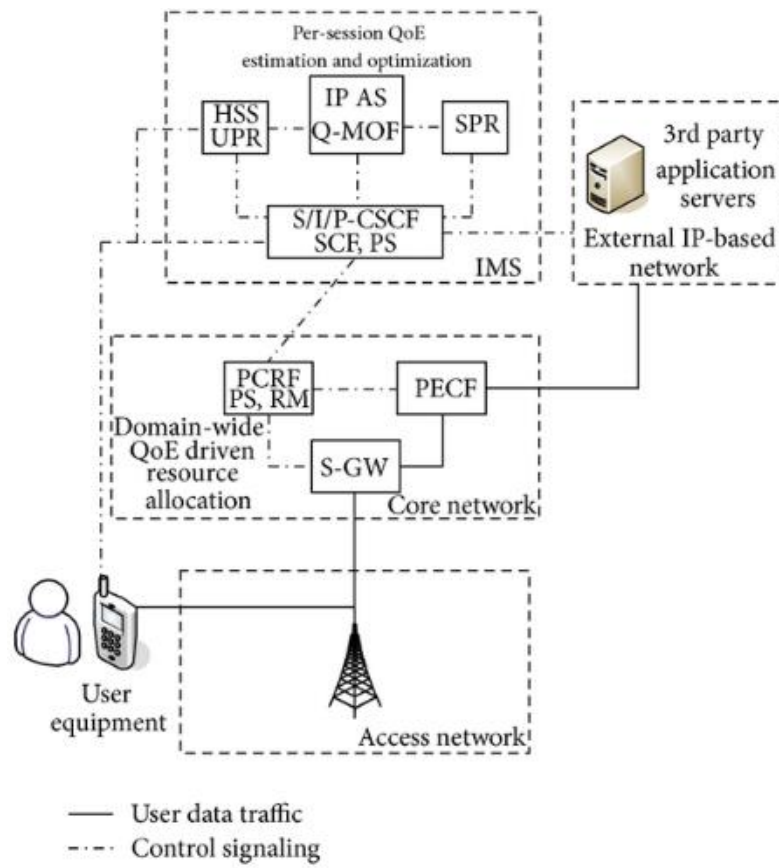


Рис. 1.6. Механізм контролю QoE

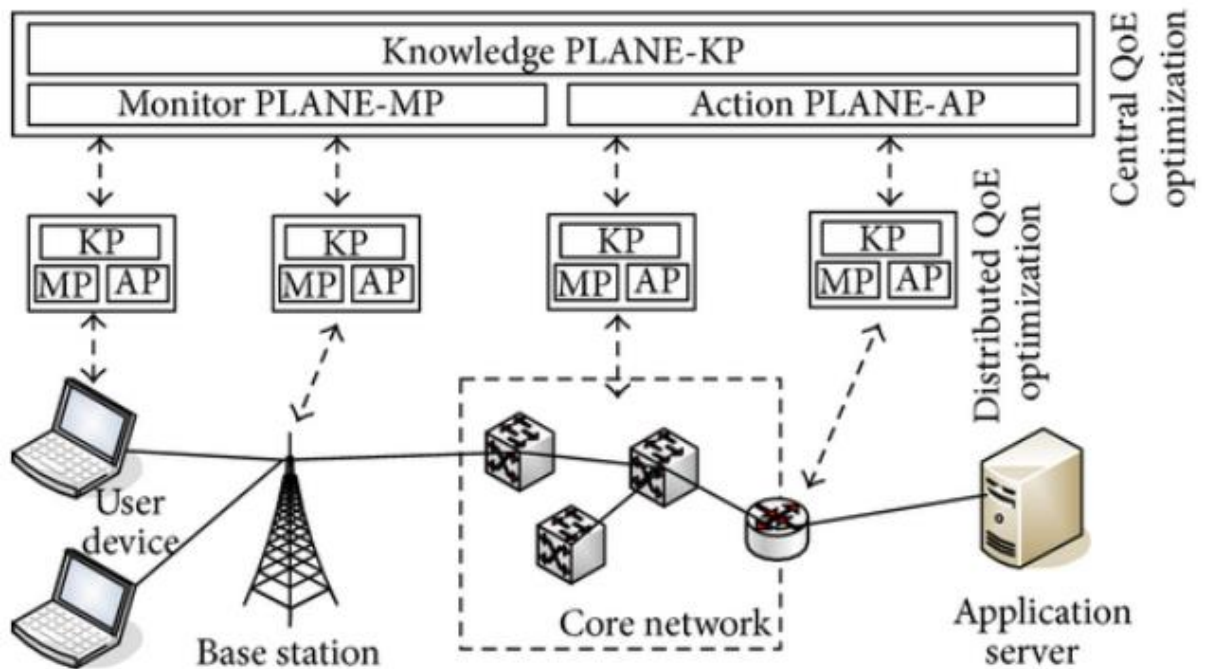


Рис. 1.7. Механізм оптимізації QoE

Щоб ефективно використовувати обмежені ресурси бездротового зв'язку та розподіляти їх між користувачами, чия передбачувана якість має бути максимальною, механізми розподілу ресурсів і планування, керовані QoE, повинні включати в себе чутливість сприйманої людиною якості [68], що вимагає стратегії, яка включає відображення думки користувачів щодо розподілу ресурсів і алгоритмів планування в різних технологіях бездротового доступу, таких як множинний доступ з кодовим розділенням (CDMA), LTE, UMTS, WiMAX або бездротова локальна мережа (WLAN). Наприклад, Хассан та ін. [69] моделюють QoE послуг мобільного VoIP і використовують це як вхідні дані для схеми управління QoE із застосуванням алгоритмів теорії ігор до управління ресурсами.

Для покращення та оптимізації якості необхідне всебічне врахування ФВ на QoE та їхніх кореляцій. Залежно від визначення відповідних ФВ, які, можливо, потрібно буде налаштувати для певної послуги, оптимізацію QoE можна виконати на різних вузлах, як показано на рис. 8.

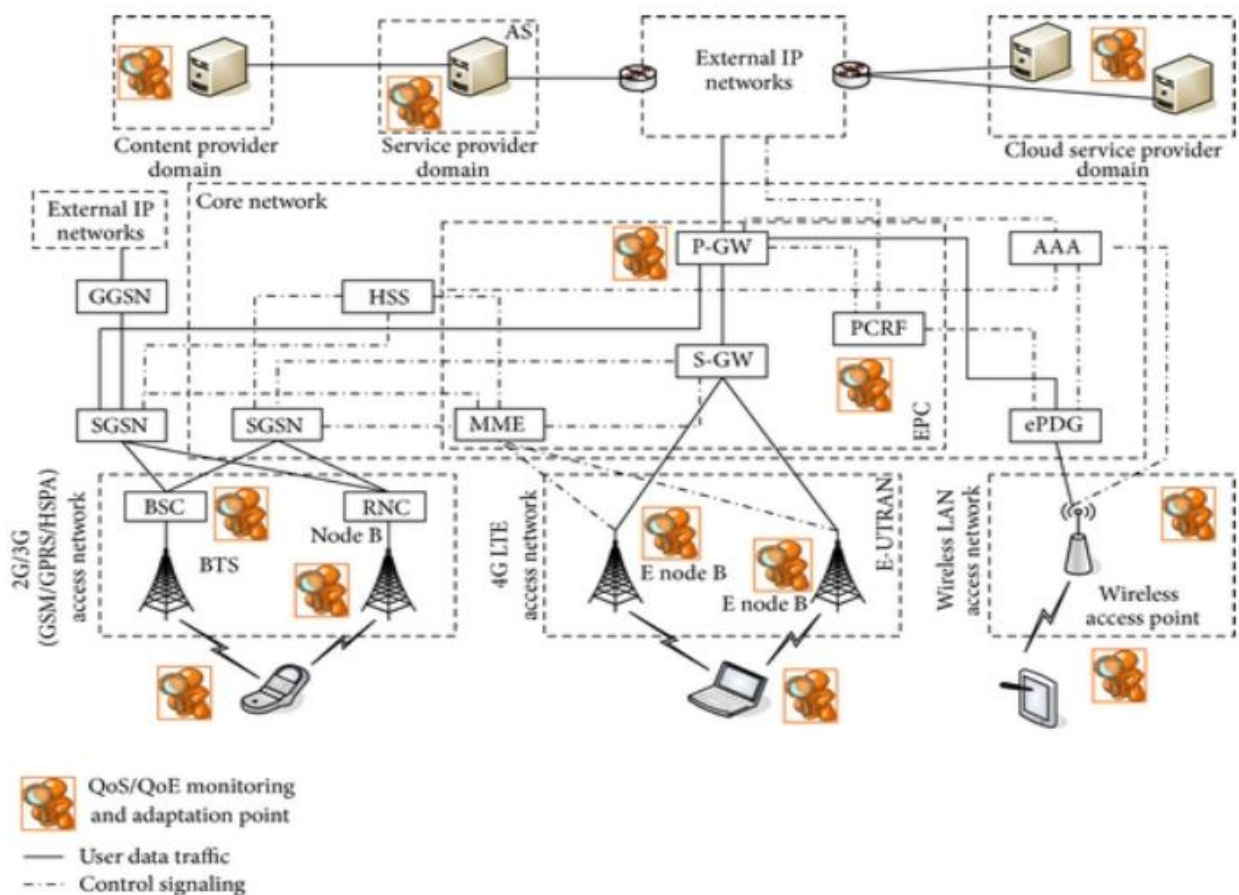


Рис. 1.8. Точки моніторингу QoE/QoS у середовищі мобільної мережі

Таким чином, оптимізація може бути проведена шляхом застосування різних механізмів керування на базових станціях, у різних мережах доступу шляхом застосування правил керування на шлюзах або маршрутизаторах у базовій мережі, шляхом проведення налаштувань на серверах, доменах чи хмарах або їх комбінація [70], а також на пристрої кінцевого користувача [71]. Оскільки контроль QoE покладається на дані моніторингу та вимірювання, зазвичай місця контролю є такими ж, як точки моніторингу та вимірювання. Це не обов'язково означає, що оптимізація QoE проводиться в місці, де збираються дані, оскільки дані, зібрані в одній точці системи, можуть ініціювати оптимізацію в іншій точці. Крім того, оптимізація може виконуватися на рівнях, починаючи від рівня зв'язку до рівня додатків, а також у міжрівневому режимі, який є найбільш поширеним.

Розглянуті підходи пропонують різні стратегії оптимізації QoE, які спрямовані на оптимальний розподіл мережевих ресурсів; оптимальний розподіл радіоресурсів; оптимізацію обслуговування; оптимізування рішень в питанні передачі даних [72]; вибір мережі доступу [73]; або споживання батареї [71]. Однак загальні стратегії автоматичної оптимізації можуть успішно керувати обмеженими мережевими ресурсами та задовольняти загальні вимоги користувачів, але вони не завжди можуть бути оптимальними з точки зору QoE окремого користувача.

Стосовно часу, коли слід проводити оптимізацію QoE, можна розрізнити підходи під час експлуатації та підходи поза нею. Перший варіант передбачає проведення процесу оптимізації в системі під час її роботи. Іншими словами, він виконує онлайн-прогноз/контроль якості під час виконання послуги. У другому варіанті, оптимізація QoE поза обслуговуванням виконується в автономному режимі шляхом реалізації механізмів керування для планування мережі, балансування навантаження, виявлення перевантаження мережі тощо [74, 75].

Можна зробити висновок, що в більшості ситуацій QoE, сприйнятий користувачем, залежатиме від основної продуктивності мережі. Проте орієнтовані на мережу процеси оптимізації QoE покращатимуться від передбачуваних даних про відгук в питанні якості, зібраних на стороні користувача, оскільки QoE за своєю суттю орієнтований на користувача. Крім того, як згадувалося раніше, процес прийняття

мережевих рішень може покращитися від адаптації користувача з точки зору більш ефективного використання ресурсів. Таким чином, щоб справді оптимізувати та контролювати QoE, слід охопити питання, орієнтовані на мережу та користувача.

Відповідь на питання про те, які параметри оптимізувати, стосується питання визначення ключових факторів, коригування яких призведе до покращення QoE. Крім того, слід враховувати вплив цих оптимізацій на інші параметри, оскільки в деяких випадках покращення одного набору параметрів може призвести до погіршення інших параметрів (наприклад, перегляд веб-сторінок із високоякісним медіа-вмістом може подовжити час відповіді веб-сторінки). Існує й інша критична проблема в процесі оптимізації QoE: місце, де буде виконуватися оптимізація. Таким чином, QoE можна оптимізувати в різних місцях, як обговорювалося раніше. Крім того, потрібно визначити, коли проводити оптимізацію QoE: під час послуги, тобто під час онлайн-контролю, чи в автономному режимі. Крім того, необхідно розглянути, як часто оптимізувати QoE.

По суті, існує багато стратегій для оптимізації та контролю QoE, і їх можна описати як ближче до мережі або ближче до користувача. Видається багатообіцяючим підхід до оптимізації QoE шляхом поєднання підходів, орієнтованих на мережу та користувача, доповнюючи недоліки одного перевагами іншого. Таким чином, поєднуючи різні підходи до оптимізації QoE, багато зацікавлених сторін, залучених до процесу надання послуг, отримають вигоду, оскільки будуть вирішені різноманітні додаткові проблеми, які створює кожен із них. Крім того, характеристики бездротових і мобільних середовищ (наприклад, обмежені та спільні мережеві ресурси, змінний і нестабільний характер бездротових каналів, різноманітність пристроїв і можливостей), створюватимуть додаткові проблеми, з якими необхідно впоратися при розподілі обмежених ресурсів серед користувачів.

1.3. Моделі взаємозалежностей QoE та QoS

Дослідники, а також мережеві провайдери все більше зацікавлені в розумінні того, як досвід користувача мережі (QoE) змінюється по відношенню до різних параметрів якості обслуговування (QoS), при цьому проводиться багато досліджень та спроб визначити загальний зв'язок між якістю досвіду (QoE) і QoS. В науковій літературі можна зустріти різні моделі у різних функціональних формах. Зустрічаються випадки, коли ця різноманітність запропонованих функцій потенційно призводить до того, що одна складність має абсолютно різні рішення одночасно. Тоді питання полягає в тому, яка модель є тією, що може краще пояснити цей зв'язок. В цьому підрозділі проаналізовано та наведено існуючі моделі взаємозалежностей між QoE та QoS.

В наукових джерелах пропонуються моделі визначення співвідношення QoE/QoS, які ілюструють залежність QoE/QoS для конкретної мережевої служби, в той час як інші націлені на загальний моніторинг, незалежно від типу послуги. В публікаціях [76-78] автори пропонують приклади співвідношення QoE/QoS для конкретного виду послуг. Наприклад, у [76] статистичний метод під назвою «Дискримінаційний аналіз» був використаний для розробки сервісу потокового мультимедіа. Основна увага була зосереджена на визначенні порогу пропускної здатності мережі, нижче якого може бути незадоволення користувачів якістю мережевих послуг. Залежність між QoE і пропускною здатністю мережі була виражена як кількісна залежність.

Крім того, існують дві групи рішень, які намагаються визначити загальний зв'язок між QoE та QoS, незалежно від типу мережевої послуги. До першої групи належать співвідношення, що впливають із законів психофізики, наприклад, логарифмічний зв'язок між QoE та QoS, що впливає із відомого психологічного закону Вебера-Фехнера [39]. Він показує, як людське сприйняття може змінюватися відносно змін фізичного стимулу, що призводить до певного сприйняття. Автори в [39] стверджують, що залежність QoE/QoS має логарифмічний характер. Їх висновки

підтверджуються експериментально, мовлення розглядається як функція різноманітної швидкості передачі даних і втрати пакетів під час голосового зв'язку.

Методи, що досліджуються в [79-82] класифікуються як (друга) група, орієнтована на сприйняття і засновані на гіпотезі IQX — варіації QoE пов'язані з поточними рівнями сприйняття якості користувача. Це визначення призводить до експоненціального співвідношення QoE/QoS. Це експоненціальне рівняння було протестовано за трьома сценаріями, а потім зіставлено з даними, отриманими в результаті проведення різних експериментів на випробувальному стенді. Індекси відповідності показали, наскільки добре експоненціальне рівняння може передати зв'язок між QoE та QoS.

У даному підрозділі наведено аналіз методів визначення взаємозалежностей QoE/QoS вищеписаних груп та методів з використанням алгоритмів машинного навчання.

1.3.1. Степеневий закон Стівенса

У 1957 році американський психофізик Стенлі Сміт Стівенс представив простий, але потужний закон, який пояснює, як змінюється людське сприйняття збільшення від сили фізичного подразника [83]. Цей закон можна сформулювати такою формулою:

$$P(S) = K * S^b \quad (1.1)$$

де P представляє людське сприйняття як функцію інтенсивності стимулу (S); K є константою і залежить від умов середовища вимірювання; експонента b , яка є важливою частиною формули, може вказувати на тип стимулу і, по суті, відіграє роль ідентифікатора стимулу і в той же час визначає кривизну степеневі функції. Застосувавши метод найменших квадратів [84], щоб знайти K і b . Форма ступеня (1.1) допомагає охопити майже кожен континуум сприйняття на основі величини стимулу у відомому діапазоні.

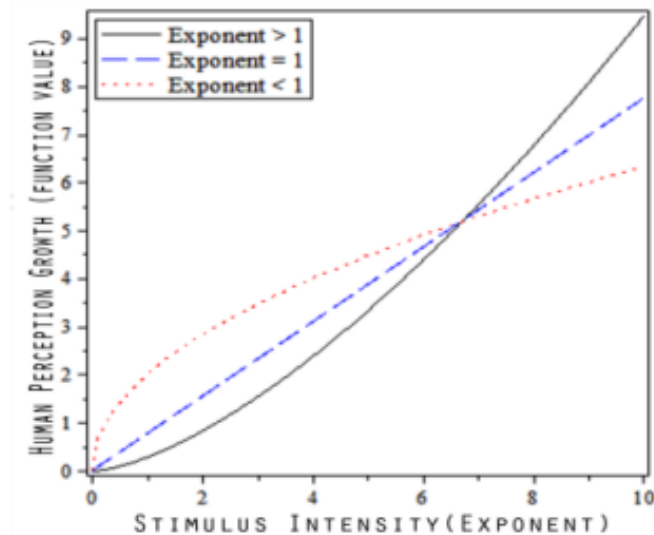


Рис. 1.9. Три різні інтенсивності стимулів (значення експоненти) призводять до трьох різних діапазонів змін людського сприйняття

Рис. 1.9 краще ілюструє здатність степеневого закону Стівенса, оскільки степенева функція може охоплювати широкий діапазон зв'язків між величиною сприйняття та інтенсивністю стимулу. Різні значення експоненти призводять до різних кривих. Зрозуміло, що функція створює три різні форми для трьох різних типів стимулів. Перша крива (суцільна чорна крива) демонструє зростання сприйняття людини відповідно до м'язової сили як стимулу, де експонента дорівнює 1,7. Це також ілюструє ситуацію, в якій величина сприйняття зростає швидше, ніж інтенсивність стимулу, тобто якщо потенційна кількість сили на людські м'язи збільшується, сила, що сприймається, є вищою, ніж вона є насправді. Другий графік (пунктирна синя лінія), який є майже прямою лінією, показує, як люди можуть сприймати зміни зорової довжини. Виміряна експонента тут майже 1,0, а швидкість зростання інтенсивності стимулу та величина сприйняття майже однакові. Іншими словами, люди можуть бачити об'єкти так далеко, якими вони є насправді, а не ближче чи далі, ніж їх реальна відстань. Третя крива (пунктирна червона крива) демонструє людське сприйняття як функцію запаху з показником 0,6. Тут величина сприйняття зростає повільніше, ніж інтенсивність стимулу. Наприклад, люди не можуть чітко розпізнати посилення запаху чогось на зразок часнику, коли кількість запаху в повітрі перевищує певну межу. Якщо ми розглядаємо QoE як людське

сприйняття, а QoS — як стимул, що впливає на це сприйняття, тоді (1.1) може показати зв'язок потужності між QoE та QoS .

1.3.2. Закон Вебера-Фехнера

Ернст Генріх Вебер був німецьким психологом, який проводив дослідження людського сприйняття на основі різних фізичних стимулів. Результати його дослідження були опубліковані та відомі як закон Вебера, який стверджує, що лише помітні відмінності між стимулами пов'язані з їх величиною [85]. Формулу закону можна виразити так:

$$\Delta R = K * R \quad (1.2)$$

де R демонструє величину стимулу, ΔR — це помітні відмінності, а K є константою, яку можна визначити по відношенню до експериментального середовища.

Густав Теодор Фехнер був іншим німецьким психологом, який пізніше працював над законом Вебера. Він запропонував нове докладне тлумачення закону Вебера і виразив його як диференціальне рівняння між силою фізичного стимулу та величиною людського сприйняття [86]. Цей зв'язок можна описати так:

$$dP = K \frac{dS}{S} \quad (1.3)$$

де dP — зміна сприйняття, dS — зміна величини стимулу, S — поріг стимулу, нижче якого люди не можуть сприймати нічого від змін величини стимулу, а K — константа, яку можна визначити експериментально. Якщо ми проінтегруємо обидві частини (1.3), то отримаємо:

$$P = k * \ln S + C \quad (1.4)$$

У (1.4) C виступає як константа інтегрування. Якщо ми визначимо $P = 0$, то знайдемо значення C . Підстановка значення C у (1.4) призводить до логарифмічного рівняння між величиною стимулу та його сприйманою інтенсивністю. Це рівняння:

$$P = K \cdot \ln \frac{S}{S_0} \quad (1.5)$$

В формулі 1.5 S_0 відіграє роль S у (1.3). Знову ж таки, QoE можна розглядати як сприйняття, а QoS — як стимул. Таким чином, у нас буде логарифмічне рівняння, яке пояснює загальний зв'язок між QoE та QoS .

1.3.3. Гіпотеза IQX

Гіпотеза IQX базується на експоненціальній залежності між параметрами QoS та QoE та [79] стверджує, що QoE є функцією n різних факторів, одним із яких є параметри QoS . Іншими словами, гіпотеза IQX пов'язує зміни QoE щодо QoS із поточним рівнем QoE . Таким чином, фокус на QoE як функції параметрів QoS , маючи на увазі, що такі параметри QoS , як втрата або затримка пакетів, можуть впливати на загальне сприйняття користувачем якості обслуговування. Це можна представити таким чином:

$$QoE = f(QoS) \quad (1.6)$$

Автори [79] також погоджуються, що QoE коливається відповідно до поточного рівня. Припускаючи це, тоді QoE змінюється по відношенню до змін QoS , які розглядаються у формі диференціального рівняння в частинних похідних як:

$$\frac{\delta QoE}{\delta QoS} = -\beta(QoE - \gamma) \quad (1.7)$$

Розв'язування (1.7) створює взаємозв'язок між QoE та QoS у формі експоненціального рівняння, як:

$$QoE = \alpha e^{-\beta QoS} + \gamma \quad (1.8)$$

У (1.8) α , β , γ — це три невід’ємні параметри, які можуть змінюватися в різних експериментах. Проте, використовуючи відповідні статистичні методи, їх можна оцінити з відповідним рівнем достовірності для кожного експерименту.

1.3.4. Порівняння відношень орієнтованих на сприйняття та відношень орієнтованих на стимул

Рівняння, отримані внаслідок досліджень у сфері психофізики, мають погляд, орієнтований на стимули щодо змін у сприйнятті людини, вони постулюють, що сприйняття змінюється відносно змін стимулів. Якщо це припущення поширюється на співвідношення QoE/QoS , можна стверджувати, що QoE може змінюватися зі зміною параметрів QoS . З іншого боку, гіпотеза IQX припускає, що зміна QoE , пов’язана з QoS , є поточною функцією рівня QoE . Фактично зв'язок QoE/QoS розглядається з точки зору сприйняття. У пунктах 1.3.4.1 та 1.3.4.2 наведено порівняння існуючих степеневих, логарифмічних і експоненціальних співвідношень між QoE і QoS , а таблиця 1.3 містить зведення рівнянь.

Таблиця 1.3.

Відношення, орієнтовані на сприйняття та стимули

	Назва	На що орієнтовано	Відношення	Форма
Психофізичний аналіз	Степеновий закон Стівенса	Орієнтовано на стимул	$QoE = K * QoS^b$	Степенова
	Закон Вебера-Фехнера		$QoE = K * \ln(QoS)$	Логарифмічна
Гіпотеза	IQX	Орієнтовано на сприйняття	$QoE = \alpha e^{-\beta QoS} + \gamma$	Експотенціальна

1.3.4.1. Порівняння степеневі та логарифмічної форм відношення

На рис. 1.9 у пункті 1.3.1 представлено три різні криві для трьох різних стимулів. Для м'язової сили як фізичного подразника експонента дорівнює 1,7, що означає, що коли людина отримує деяку силу на свій м'яз, кількість скорочення м'яза зростає швидше, ніж фактично отримана сила. Для зорової довжини швидкість інтенсивності стимулу приблизно дорівнює приросту сприйняття. У випадку запаху, де показник $b = 0,6$, спостерігається зниження швидкості сприйняття зі збільшенням величини стимулу. Це помітна гнучкість степеневі функції, яку можна використовувати в області QoE і QoS . Відомо, що різні мережеві служби чутливі до різних типів параметрів QoS , і ці параметри різними способами впливають на QoE . Це явище добре описується степеневі функцією. Внесемо зміни в рівняння. Застосуємо логарифм, отримаємо:

$$\log QoE = \log K * \log QoS^b \rightarrow \log QoE = b * \log QoS + \log K \quad (1.9)$$

Оскільки K є константою, $\log K$ також буде константою, тому його тимчасово опускають і отримують наступне:

$$\log QoE = b * \log QoS \quad (1.10)$$

Показник b у степеневі функції, яка визначила форму кривої, відіграє роль нахилу функції в (1.10) і визначає нахили логарифмічних ліній. Рис. 1.10 показує ці зміни на графіках. Відношення потужності між QoE і QoS змінюється на логарифмічну функцію. Тепер питання полягає в тому, яка різниця між наведеним нижче співвідношенням, представленим у (1.11) і логарифмічним співвідношенням у таблиці 1.3. Іншими словами, яка різниця між степеневі законом Стівена та законом Вебера-Фехнера при поясненні QoE/QoS взаємозв'язків. Щоб відповісти на це запитання, спочатку слід звернути увагу на логарифмічне співвідношення між QoE та QoS , прийняте із закону Вебера-Фехнера. Посилаючись на другий рядок у таб. 1.3:

$$QoE = K * \ln(QoS) \quad (1.11)$$

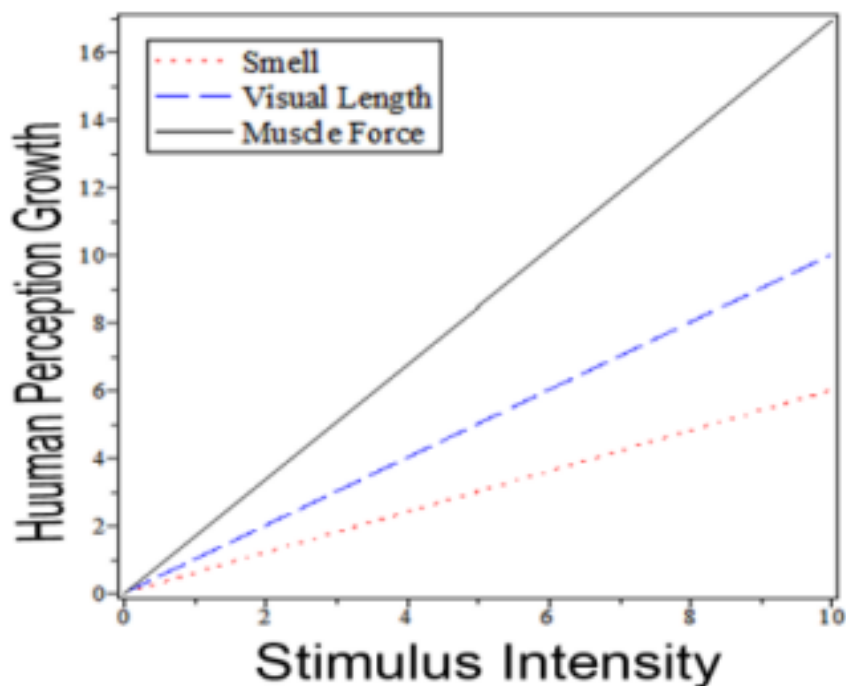


Рис. 1.11. Степенева функція в логарифмічній формі

У (1.11), коли QoS множиться на постійну величину, QoE збільшується приблизно адитивним чином на постійне число. Наприклад, якщо QoS стає в 4 рази сильнішим за початкове значення, тоді до QoE буде додано 2. Однак у (1.10) обидві сторони рівняння змінюються постійним чином. Іншими словами, постійні зміни в кількості QoS призведуть до постійних змін у QoE. Насправді, основна відмінність між степеневою та логарифмічною формами полягає в величині впливу змін QoS на зміни QoE.

1.3.4.2. Порівняння логарифмічної та експоненціальної форм відношення

Порівняємо існуючі експоненціальні та логарифмічні співвідношення між QoE та QoS. По-перше, необхідно взяти до уваги визначення оберненої функції. Якщо є функція f , нехай $D_f =$ набір X буде областю визначення f , тоді як $R_f =$ набір $Y \in \mathbb{R}$ діапазоном. f називається оборотною, якщо існує інша функція, подібна до g , де $D_g =$ множина Y і $R_g =$ множина X з умовою:

$$f(x) = y \Leftrightarrow g(y) = x \quad (1.12)$$

Будь-яка існуюча функція, наприклад $g(y)$, є унікальною для кожної $f(x)$. $g(y)$ вважається оберненою функцією $f(x)$, представленої f^{-1} . Згідно з фундаментальною математикою, натуральний (неперівський) логарифм є оберненою функцією експоненціальної функції, яку можна записати так:

$$\forall y > 0: f(x) = e^x \Rightarrow f^{-1}(e^x) = \ln(y) \quad (1.13)$$

Цей результат показує кореляцію з відношеннями QoE/QoS, оскільки відношення логарифмічної форми, орієнтоване на стимул, є оберненою функцією відношення експоненціальної форми, орієнтованого на сприйняття. Іншими словами, існуюча величина параметрів QoS визначає величину QoE у методі, орієнтованому на стимул. Однак у орієнтованому на сприйняття рішенні існуюча інтенсивність сприйняття містить зв'язок між QoE та QoS. У зв'язку QoE/QoS відношення, орієнтоване на стимул (як логарифмічна функція), є зворотним відношенням, орієнтованому на сприйняття (виражене як експоненціальна функція).

Арифметичні зміни параметрів QoS у логарифмічній функції призводять до геометричних змін QoE. В експоненціальному типі регулярні зміни параметрів QoS можуть призвести до пропорційного збільшення або зменшення QoE, оскільки в експоненціальній формі залежна змінна (QoE) змінюється відносно змін незалежної змінної (QoS) на додаток до поточного рівня QoE, який відіграє вирішальну роль у QoE змінюється. Рис. 1.11 ілюструє зміни сприйняття (QoE) через стимул (параметри QoS) відповідно до трьох типів зв'язків з різними формами функції.

Автори зробили порівняння між гіпотезою IQX і логарифмічним виразом, наведеним у [87], щоб підкреслити покращення. Виходячи з результатів, запропоновані наближення IQX були кращої якості, ніж логарифмічні. Однак основним недоліком запропонованої моделі є те, що вона не враховує, як змінний у часі характер порушень IP (інтернет-протоколу) впливає на якість, яку сприймає кінець користувач.

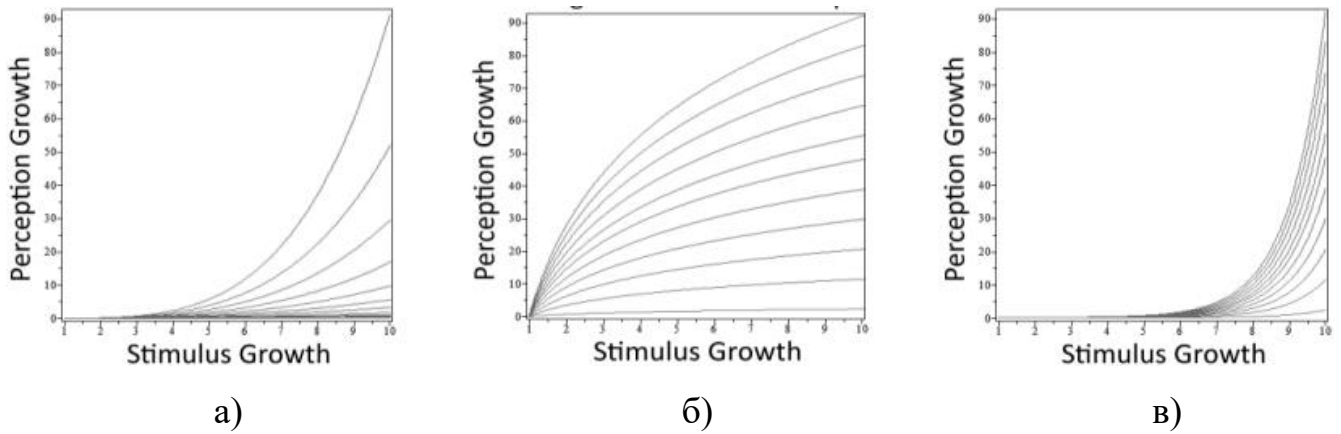


Рис. 1.12. Зміна QoE відповідно до типу зв'язку:

а) степенева функція; б) логарифмічна функція; в) експоненціальна функція

1.3.5. Модель VQM

Автори в [88] запропонували об'єктивний підхід, який забезпечує багатовимірну ієрархію відображення QoS/QoE, у якій QoE вказується показником якості відео (Video Quality Metric - VQM) [89]. У дослідженні [4] VQM є функцією n-вимірного QoS (де X - параметр QoS, а n є кількістю різних параметрів), тобто:

$$VQM = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (1.14)$$

Також у дослідженні розглядаються три параметри QoS, а саме втрата пакетів, затримка та переривання. Загальна модель NTIA [90] була використана для отримання показників VQM. Було проаналізовано результати емуляції та виведено просту формулу для прогнозування QoE від QoS для потокового відео за заданих умов. Функцію VQM було виражено математично у формі, заданій рівнянням (1.14) за допомогою інструменту підгонки кривої IstOpt [91], для n = 2. Кінцевий результат отримано в рівнянні (1.15).

$$VQM = \frac{P_1 + P_2 * X_1 + P_3 * X_1^2 + P_4 * X_2 + P_5 * X_2^2}{1 + P_6 * X_1 + P_7 * X_1^2 + P_8 * X_2 + P_9 * X_2^2}, \quad 0 \leq X_1 \leq 5, \quad 0 \leq X_2 \leq 5 \quad (1.15)$$

X_1 позначає переривання, а X_2 — відсоток втрати пакетів. Варіація оцінки VQM з коефіцієнтом втрат пакетів була отримана з чотирьох зразків відео. Результати показують, що зі збільшенням втрати пакетів показник VQM також зростає, що вказує на гірший результат QoE. Подібним чином, залежність оцінки VQM від затримки та переривання була записана для тих самих чотирьох зразків відео. Результати емуляції з інших зразків відео також використовувалися для перевірки рівняння (1.15). Проте стверджується, що дане рівняння не найкраще підходить і недостатнє для підтвердження причинного відображення QoE/QoS. Отже, для точнішого результату потрібні більш складні алгоритми. Це дослідження було зосереджено лише на параметрах QoS на мережевому рівні.

1.3.6 Адитивні та мультиплікативні моделі QoS-QoE для кількох параметрів QoS

Загалом, QoE можна охарактеризувати функцією, яка відображає вплив факторів впливу на якість, яку сприймає кінцевий користувач. Відомо, що типові функції відображення між параметрами QoS (на рівні мережі та додатків) є експоненціальними функціями через базові фундаментальні логарифмічні співвідношення, що є результатом закону Вебера-Фехнера. Гіпотеза IQX, навпаки, постулює експоненціальний зв'язок між QoE та QoS. Таким чином, параметр QoS кількісно визначає певне погіршення. Експоненціальний зв'язок моделює лінійний зв'язок між чутливістю користувача до QoE та фактичним рівнем QoE. З цього випливає диференційне рівняння, яке розв'язується як експоненціальна функція.

Через складність проведення суб'єктивних досліджень із маніпулюванням кількома параметрами доступні моделі QoE значною мірою розглядають зв'язки між QoS і QoE, зосереджуючись на впливі одного параметра QoS. В такому випадку виникає питання, як змодельовати спільний вплив кількох параметрів QoS на QoE.

У [95] автори використовують логарифмічно-логістичну модель для моделювання різних одиничних порушень якості мережевого відео та пропонують додаткову логарифмічно-логістичну модель для випадків, коли кількість порушень

більше одного. Ця робота послужила основою для моделей, наведених у ITU-T Rec.P.1202.2 [96], де загальна якість відео оцінюється як зважена лінійна комбінація різних погіршень у формі артефактів стиснення, артефактів нарізання та артефактів заморожування. Рекомендація ITU-T P.1201 [93] надає моделі для ненав'язливого моніторингу аудіовізуальної якості відеопослуг на основі IP на основі інформації заголовка пакета та з огляду на різні пошкодження мережі. Моделі розширено для прогнозування якості неадаптивної потокової передачі на основі TCP (поступове завантаження). Як наслідок, Рекомендація ITU-T P.1201 (Поправка 2) [93] пропонує використовувати адитивну модель, за допомогою якої погіршення, що є результатом зупинки або переривання, віднімаються від максимального середнього балу думки (Mean Opinion Score - MOS). Вплив зупинки визначається в [94] відповідно до гіпотези IQX. Нижче наведено теоретичний аналіз комбінованої загальної моделі QoE, яка розглядає кілька параметрів QoS.

Хоча раніше згадані напрацювання зосереджені на адитивних моделях, інші дослідження розглядають мультиплікативні моделі в різних сценаріях обслуговування. Дослідження, присвячені аудіовізуальній якості, зазвичай пропонують поєднання двох вимірів (якості аудіо та відео), що призводить до такої моделі інтеграції:

$$MOS_{AV} = \alpha MOS_A + \beta MOS_V + \gamma MOS_A * MOS_V + \zeta \quad (1.16)$$

MOS_{AV} стосується загальної аудіовізуальної якості, а MOS_A та MOS_V стосуються якості аудіо та відео відповідно. Відповідно до підсумків [97], суб'єктивні тести показали, що мультиплікативна модель визначення співвідношення між якостями аудіо та відео з додатковим зсувом, як правило, достатня для оцінки аудіовізуальної якості. Це було підтверджено в дослідженні порівняння інтеграційних моделей [98], підкреслюючи також важливість діапазонів MOS якостей аудіо та відео. Узагальнена функція оцінки MOS запропонована в [99], що визначає MOS як зважений добуток усіх змінних MOS (посилаючись на MOS окремих факторів впливу), а не зважена сума. Обґрунтування цього підходу полягає в тому, що модель повинна ефективно

відображати ситуацію, коли MOS однієї змінної є дуже низьким і не може бути компенсовано покращенням інших змінних. Далі автори пропонують детерміновану модель QoE, де QoE можна розрахувати на основі багатьох факторів QoS, з дослідженнями якості VoIP, що підтверджують експоненціальні зв'язки та потенціал об'єднання рівнянь з однією змінною мультиплікативним способом [100]. У [101] автори виходять за межі оцінки MOS і запропонувати узагальнену лінійну модель для оцінки ймовірностей окремих рівнів QoE на основі заданих факторів впливу QoE. У цьому випадку знову розглядаються мультиплікативні члени між незалежними змінними.

Аддитивна модель передбачає зважену суму обох факторів впливу з деякими ваговими коефіцієнтами $w_i \geq 0$ та $\sum_i w_i = 1$.

$$Q_a(x_1, x_2) = w_1 Q_1(x_1) + w_2 Q_2(x_2) \quad (1.17)$$

Відповідно до гіпотези IQX, чутливість QoE залежить від фактичного значення QoE. Тому нам потрібно розглянути часткову похідну відносно x_1 .

$$\frac{\partial Q_a(x_1, x_2)}{\partial x_1} = -w_1 \beta Q_1(x_1) \llcorner Q_a(x_1, x_2) \quad (1.18)$$

Рівняння (1.18) означає, що чутливість QoE щодо x_1 більше не залежить від його фактичного значення. Таким чином, адитивна модель QoE руйнує властивість IQX.

Розглянемо мультиплікативну модель QoE і знову припустимо нормалізовані значення QoE, $Q_i \in [0,1]$.

$$Q_m(x_1, x_2) = \alpha_{12} Q_1(x_1) * Q_2(x_2) \quad (1.19)$$

Гіпотеза IQX все ще дійсна для коефіцієнта погіршення x_1 , незалежно від функції Q_2 , оскільки чутливість QoE x_i залежить від загального значення Q_m .

$$\frac{\partial Q_m(x_1, x_2)}{\partial x_1} = -\beta \alpha e^{-\beta x_1} Q_2(x_2) = -\beta Q_m(x_1, x_2) \quad (1.20)$$

Узагальненням адитивної та мультиплікативної моделей QoE є лінійна регресія, яка включає обидва терміни.

$$Q_r(x_1, x_2) = Q_a(x_1, x_2) + Q_m(x_1, x_2) \quad (1.21)$$

Також у цьому випадку чутливість QoE x_1 більше не залежить від фактичного значення QoE.

Коли кілька факторів погіршення впливають на один і той самий стимул (або параметр QoE), тоді ці фактори погіршення можна поєднати з моделлю лінійної регресії. Наприклад, може існувати основна причина зупинки, яка спільно впливає на частоту зупинок, а також на тривалість зупинки.

$$x = v_1x_1 + v_2x_2 + v_{12}x_1x_2 \quad (1.22)$$

Якщо модель QoE для параметра x відповідає IQX, то це призводить до мультиплікативної моделі, і всі параметри x_i слідує IQX. Ключове зауваження полягає в тому, що якщо $Q(x)$ відповідає гіпотезі IQX, то функції QoE слід комбінувати мультиплікативним способом. Однак на практиці не зрозуміло, яка модель $Q(x)$ є найкращою. Тому для отримання відповідної моделі QoE необхідні багатофакторні експерименти. Адитивні або мультиплікативні моделі, які обговорюються в цьому підрозділі, є лише двома прикладами з дуже різними властивостями, щоб підкреслити важливість розуміння основних механізмів. Багатофакторна модель QoE може потребувати врахування того, що фактори погіршення та відповідний їм QoE можуть бути корельованими, QoE має неадитивну або немультіплікативну структуру, QoE змінюється в просторі вибірки фактора погіршення, наприклад, у крайніх випадках це може бути функція max/min, інакше це адитивна або мультиплікативна модель. Оскільки кількість комбінацій параметрів зростає для кожного додаткового фактора x_i , у суб'єктивних дослідженнях потрібні складні стратегії вибірки та відбір параметрів [102], щоб обмежити витрати на суб'єктивні дослідження. Стратегії вибірки мають враховувати моделі, які підлягають

перевірці. Очевидно, потрібні суб'єктивні тести, щоб перевірити, яка багатофакторна модель QoE підходить для певного сценарію обслуговування.

1.3.7 Моделі QoE на основі методів машинного навчання

Надзвичайно важливо розуміти взаємозв'язок між орієнтованими на користувача параметрами QoE та мережевими параметрами QoS. Цей зв'язок викликає величезний інтерес як з академічної, так і промислової точок зору. На перехресті дисциплін, таких як статистика та штучний інтелект, машинне навчання забезпечує теоретичну та методологічну основу для кількісного визначення зв'язку QoE/QoS. Для моделювання зв'язку QoE/QoS методи машинного навчання використовують набір спостережень, що відображають стан мережі та сприйняття користувача для автоматичного прогнозування значення QoE.

1.4. Аналіз недоліків існуючих методів встановлення взаємозв'язків між параметрами QoE та QoS

Враховуючи очікуване збільшення обсягу даних у телекомунікаційних мережах, постачальникам послуг потрібні досконаліші інструменти з новим рівнем розуміння. Застарілі рішення для керування продуктивністю мережі та послуг більше неефективні. Підхід до управління QoS/QoE з впровадженням 5G створить значні проблеми, які необхідно вирішити, щоб керувати та забезпечити обіцяний досвід та якість покриття 5G, який можна підсумувати наступним чином [103]:

1. Відсутність наскрізної видимості: традиційні інструменти керування та протоколи призначені для моніторингу окремих мережових компонентів і аналізу їх пропускної здатності (трафіку) і використання. Але ці застарілі інструменти не надають повного індексу для вимірювання того, що дійсно важливо: якості досвіду (QoE), тобто «наскільки добре послуга працює для кінцевого користувача». Для керування якістю досвіду (QoE) необхідна видимість і послідовний наскрізний рівень моніторингу.

2. Хоча гарантія Best Effort QoE була загальноприйнятим стандартом для інтернет-додатків і послуг, вона вже недостатня для сучасних цифрових послуг, що розвиваються. Клієнти більше не сприймають послуги рівня «добре», а не «відмінно». Розуміння рівня QoE для різних випадків використання має вирішальне значення, і це може вплинути на сприйняття клієнтами якості мережі та призвести до відтоку [103].

3. Розуміння зв'язку між QoS і QoE. Постачальникам послуг усе ще зручніше контролювати KPI та QoS, ніж QoE, що є залишком традиційного моніторингу продуктивності телефонії. Проблема полягає в тому, що досвід кінцевого користувача значною мірою керується QoE, а не QoS. Таким чином, вкрай важливо розпізнати пов'язані вимоги QoS мережі для кожного випадку використання, а потім визначити відповідну методологію управління продуктивністю для ефективного моніторингу та тестування мережі, а також створити конкретну модель QoE для кожного випадку використання.

1.5. Постановка задач дослідження

Основним завданням написання кваліфікаційної роботи є необхідність аналізу та удосконалення існуючих механізмів моніторингу QoE для підвищення якості обслуговування.

Об'єктом дослідження, виходячи з вищепри описаного, є процес обслуговування абонентів телекомунікаційної мережі.

Предметом дослідження є методи та механізми оцінки та забезпечення QoE абонентів телекомунікаційної мережі.

Задачі, які необхідно виконати:

5. Проаналізувати якість та механізми оцінки QoE абонентів.
6. Удосконалити модель оцінки користувацького досвіду телекомунікаційної мережі.
7. Розробити метод аналізу взаємозалежностей параметрів QoE та QoS на основі алгоритмів машинного навчання.
8. Провести експериментальне дослідження розробленого методу.

Метод дослідження полягає у визначенні відношення параметрів QoE та QoS шляхом взаємопов'язаних кроків та етапів, що підкріплені математичною моделлю оцінки та підвищення QoE.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Дослідники, а також мережеві провайдери все більше зацікавлені в розумінні того, як досвід користувача мережі (QoE) змінюється по відношенню до різних параметрів якості обслуговування (QoS), при цьому проводиться багато досліджень та спроб визначити загальний зв'язок між якістю досвіду (QoE) і QoS. В науковій літературі можна зустріти різні моделі у різних функціональних формах. Зустрічаються випадки, коли ця різноманітність запропонованих функцій потенційно призводить до того, що одна складність має абсолютно різні рішення одночасно. Тоді питання полягає в тому, яка модель є тією, що може краще пояснити цей зв'язок.

В ході аналізу наукової літератури виявилось, що ще не розроблено ефективного інструменту для наскрізного визначення QoE в залежності від параметрів QoS. Це послугувало необхідності удосконалення вже існуючих моделей за допомогою алгоритмів машинного навчання.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МЕТОДУ ВСТАНОВЛЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ПАРАМЕТРАМИ QoE ТА QoS НА ОСНОВІ АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Якість досвіду (QoE) є незамінним показником оцінки сприйнятої якості споживачів мультимедійного контенту. Через суб'єктивність QoE найкращим способом його вимірювання є проведення суб'єктивних досліджень. Проте проведення суб'єктивних досліджень є складним і дорогим процесом. Необхідно ретельне відтворення умов перегляду, а також необхідний суворий відбір суб'єктів тестування на основі багатьох критеріїв. Ось чому рішення часто знаходять у різних об'єктивних методологіях для вимірювання QoE. Ці рішення, хоча й більш практичні, проте менш точні та не можуть повністю відображати очікування користувачів. В даному розділі наведено удосконалений метод моделі прогнозування QoE з використанням методів машинного навчання та безперервним зворотнім зв'язком мобільного оператора з клієнтами.

2.1. Удосконалення моделі встановлення взаємозв'язків між параметрами QoE та QoS

Успішне керування продуктивністю мережі та якістю послуг, що надаються вимагає комплексного перегляду QoS мережі та QoE рівня додатків/сервісів. Найкращим показником продуктивності буде взаємодія з кінцевим користувачем, що потребує детального керування та вимірювання на прикладному рівні. Точні вимірювання KPI базової мережі в поєднанні з показниками якості обслуговування дозволять провайдерам телекомунікаційних послуг забезпечувати наскрізну якість обслуговування для користувачів. На рисунку 2.1 піраміда QoS/QoE ілюструє взаємозв'язок високого рівня між класичними мережевими KPI, які використовуються для отримання значень показника QoS, KQI, виміряними для кожної програми, і кінцевим результатом QoE, який сприймає користувач.

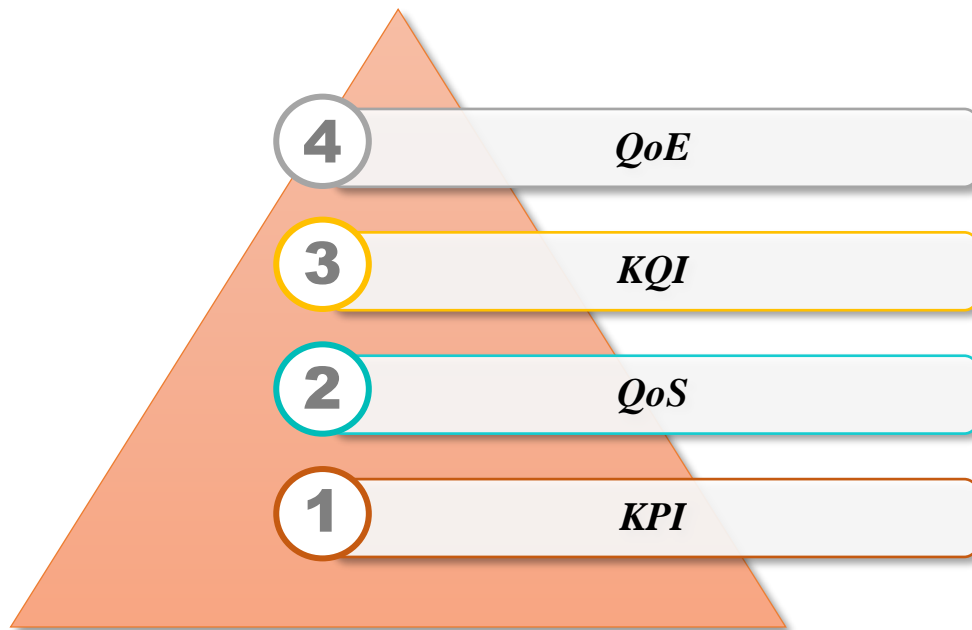


Рис. 2.1. Піраміда QoE/QoS

Постійний і збалансований розвиток галузі зв'язку нерозривно пов'язаний зі збільшенням кількості абонентів і послуг, що надаються. Для ринку телекомунікаційних послуг така тенденція є особливо важливою – з одного боку, існує величезний інтерес абонентів до отримання нової послуги, а з іншого – висока конкуренція, що стимулює провайдерів постійно виводити на ринок зв'язку якісь принципово нові пропозиції. Рівень розвитку сучасного ринку послуг стільникового зв'язку, зміна якості пристроїв і методів надання послуг, збільшення обсягу та рівня багатовимірності інформації, що циркулює в мережах стільникового зв'язку, спричинили появу проблеми модернізації системи оцінювання якості послуг, що багато в чому визначає швидкість реалізації переваг. В інтересах збереження конкурентоспроможності постачальники послуг спрямовують основні зусилля на підвищення якості та збільшення терміну обслуговування абонентської мережі шляхом впровадження спеціальних програм лояльності, ефективної системи покращення існуючих та впровадження нових додаткових послуг. Підтримка необхідного рівня задоволеності споживачів якісними послугами має комплексний характер і передбачає систему організаційно-технічних і соціально-економічних заходів. Виходячи з вищевикладеного, провайдери повинні прийняти модель обслуговування, орієнтовану на абонента, для підвищення якості роботи послуг

передачі даних і голосу та залучення більшої кількості абонентів до нових послуг, створюючи одночасну перевагу тим самим. Очікується, що наведена нижче методологія (рис. 2.2) буде корисна для операторів мобільного зв'язку в питанні зменшення кількості скарг клієнтів, покращення QoE та підвищення лояльності абонентів, особливо абонентів з високою абонплатою (ключові абоненти).

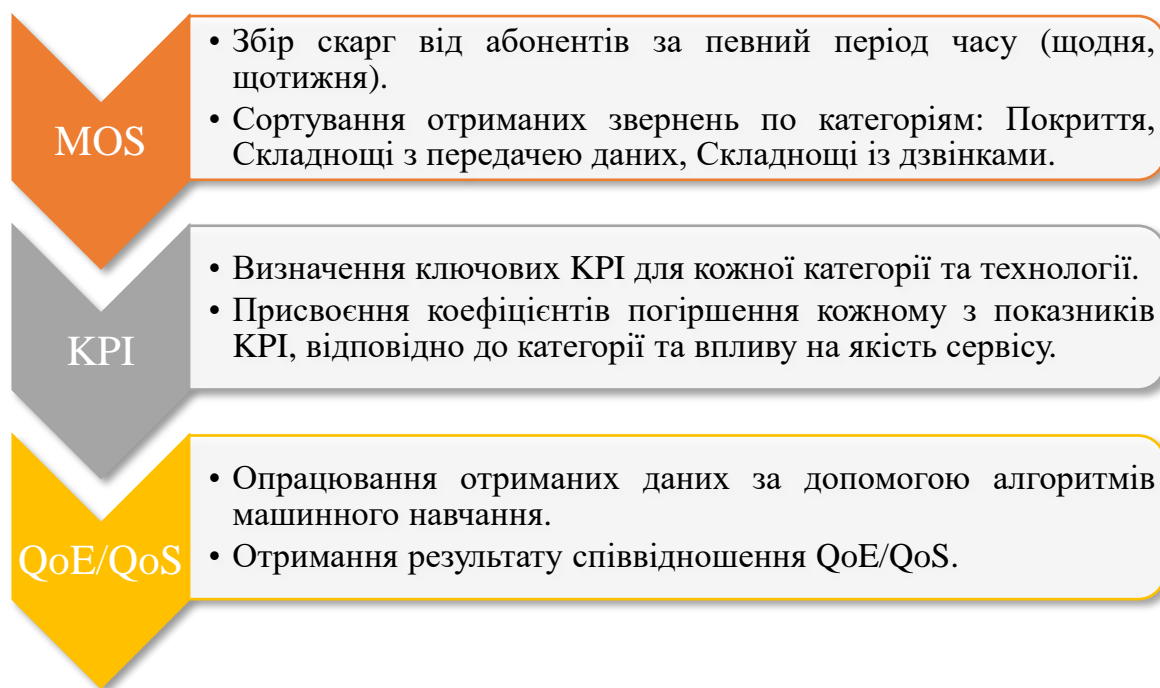


Рис. 2.2. Методологія регулярного моніторингу QoE/QoS мобільним оператором

Розглянемо детальніше кожен крок методології на рис. 2.2.

1. Визначення MOS:

1.1. Зробити вибірку скарг абонентів за певний період часу (місяць, тиждень, день тощо).

Необхідна інформація: населений пункт та точна адреса (за можливості координати); технологія; на що скарга: покриття, передача даних, складнощі із дзвінками; на що впливає складність: доступ до інтернет-мережі (завантаження сайтів, соц. мережі, месенджери, потокове відео), дзвінки; час неуспішної транзакції; з якого часу спостерігаються складнощі; чи знаходиться абонент в національному роумінгу; контекст у якому спостерігається складність; термінал, яким абонент

користувався під час неуспішної транзакції), оцінка якості отриманих послуг за 5-ти бальною шкалою. Оцінка отриманих послуг необхідна, якщо у компанії раніше користувалися традиційними методами визначення якості наданих послуг, а саме орієнтувалися лише на KPI і в такому випадку необхідно сформувати еталонні набори даних з якими у майбутньому можна порівняти прогнози сформовані методом аналізу, що базується на алгоритмі машинного навчання.

1.2. Виконати сортування за регіоном та категорією.

1.3. Виключити випадки, коли абонент знаходився не за адресою, коли термінал або SIM-карта не підтримують технологію, на яку складалась скарга, для звернень, що пов'язані із складнощами з передачею даних звернення, коли час неуспішної транзакції співпадає з часом телефонної розмови (крім випадків, коли активовано VoLTE/VoWi-Fi), а також для скарг на передачу даних та дзвінки, коли активної сесії або дзвінка відповідно в системах моніторингу мобільного оператора не зафіксовано.

2. Визначення KPI та QoS:

2.1. Для вибраних скарг визначити множину базових станцій та секторів, що покривають локацію абонента в тій технології на яку складена скарга.

2.2. По даним систем моніторингу необхідно проаналізувати завчасно виокремлені показники продуктивності мережі для скарг на покриття та показники якості сервісу для скарг на передачу даних та дзвінки відповідно до технології (2G/3G/4.5G).

2.3. Застосувати вагові коефіцієнти до кожного з вимірних KPI, при цьому сума коефіцієнтів повинна дорівнювати 1.

3. Визначення QoE/QoS:

3.1. До отриманого набору даних застосувати алгоритм машинного навчання.

Описана методологія ґрунтується на суб'єктивних дослідженнях, оскільки стратегії вибірки та відбір параметрів допомагають враховувати моделі, які підлягають перевірці, що є доцільним індивідуально для кожного телекомунікаційного провайдера проаналізувати, як багатofакторна модель QoE та

обчислення QoE/QoS з використання алгоритмів машинного навчання підходять для сформованих сценаріїв обслуговування.

2.2. Розробка методу аналізу взаємозалежностей параметрів QoE та QoS на основі алгоритмів машинного навчання

2.2.1. Аналіз алгоритмів машинного навчання

Машинне навчання забезпечує теоретичну та методологічну базу для кількісного визначення зв'язку між QoE користувача та QoS. У цьому підрозділі представлено огляд моделей кореляції QoE/QoS, заснованих на методах машинного навчання.

2.2.1.1. Лінійна регресія

Лінійний регресійний аналіз використовується для прогнозування значення змінної на основі значення іншої змінної. Змінна, яку необхідно передбачити, називається залежною змінною. Змінна, яка використовується для прогнозування значення іншої змінної, називається незалежною змінною. Ця форма аналізу оцінює коефіцієнти лінійного рівняння, що включає одну або кілька незалежних змінних, які найкраще передбачають значення залежної змінної. Лінійна регресія відповідає прямій лінії або поверхні, що мінімізує розбіжності між прогнозованими та фактичними вихідними значеннями. Існують прості калькулятори лінійної регресії, які використовують метод найменших квадратів для виявлення найкращої лінії для набору парних даних. Потім оцінюється значення X (залежна змінна) та Y (незалежна змінна). [104]

Виражається такою формулою:

$$Y=mX+c+\varepsilon, \quad (2.2)$$

де: m – нахил лінії, c – точка перетину, ε – похибка в моделі.

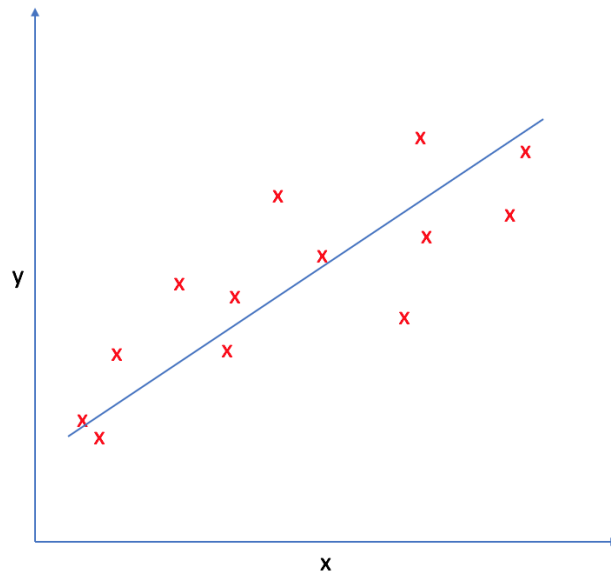


Рис. 2.3. Лінійна регресія

2.2.1.2. Множинна лінійна регресія

Регресійні моделі використовуються для опису зв'язку між змінними шляхом підгонки лінії до даних спостереження. Регресія дозволяє оцінити, як змінюється залежна змінна, коли змінюються незалежні змінні.

Множинна лінійна регресія використовується для оцінки зв'язку між двома чи більше незалежними змінними та однією залежною змінною. Множинну лінійну регресію можна застосовувати у тих випадках, коли необхідно знати:

- наскільки сильний зв'язок між двома чи більше незалежними змінними та однією залежною змінною;
- значення залежної змінної при певному значенні незалежних змінних. [105]

Виражається формулою:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon, \quad (2.3)$$

де:

y – прогнозоване значення залежної змінної;

β_0 – точка перетину у (значення y , коли всі інші параметри встановлено на 0);

$\beta_n X_n$ – коефіцієнт регресії незалежної змінної;

ε – похибка в моделі.

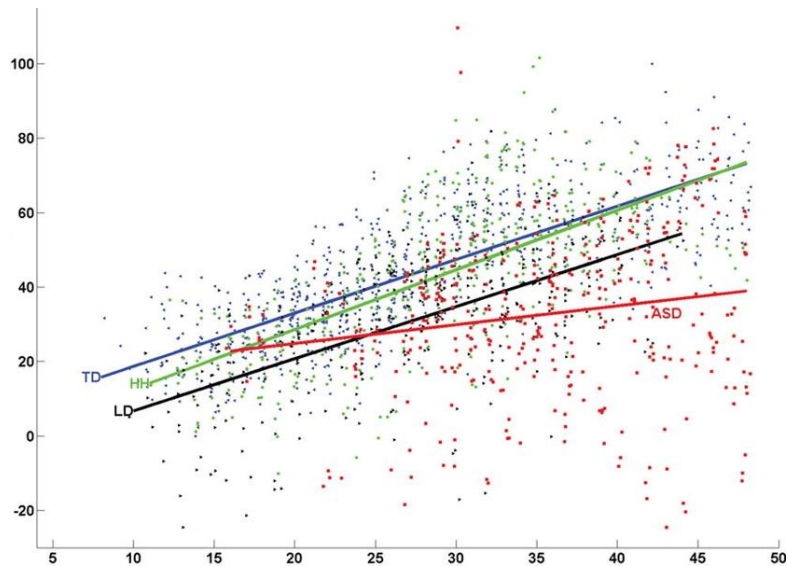


Рис. 2.4. Множинна лінійна регресія

2.2.1.3. Логістична регресія

Логістична регресія, незважаючи на свою назву, є моделлю класифікації, а не моделлю регресії. Логістична регресія є простим і більш ефективним методом для задач бінарної та лінійної класифікації. Це модель класифікації досягає дуже високої продуктивності з лінійно роздільними класами. Використовується, коли залежна змінна є дискретною. Приклад: 0 або 1, істина чи хибність тощо. Це означає, що цільова змінна може мати лише два значення, а сигмоподібна крива позначає зв'язок між цільовою змінною та незалежною змінною. У логістичній регресії ймовірність успіху, поділена на ймовірність невдачі. Для вибору логістичної регресії, як методу регресійного аналітика, слід зазначити, що розмір даних є великим із майже однаковою частотою значень, які надходять у цільові змінні. Крім того, не повинно бути мультиколінеарності, що означає відсутність кореляції між незалежними змінними в наборі даних [103]. Дана логістична функція представлена наступними формулою:

$$Y = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 * x)}}, \quad (2.4)$$

де:

Y – прогнозоване значення;

β_0 – точка перетину Y ;

β_1 – коефіцієнт регресії змінної x .

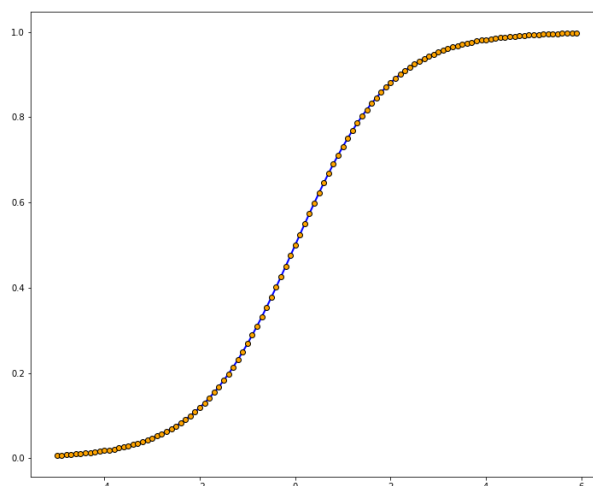


Рис. 2.5. Логістична регресія

2.2.1.4. Поліноміальна регресія

Поліноміальна регресія – це форма регресійного аналізу, у якій зв’язок між незалежними змінними та залежними змінними моделюється поліномом n -го ступеня. Моделі поліноміальної регресії зазвичай узгоджуються за допомогою методу найменших квадратів. Метод найменших квадратів мінімізує дисперсію коефіцієнтів згідно з теоремою Гауса-Маркова. Поліноміальна регресія — це окремий випадок лінійної регресії, де підбирається поліноміальне рівняння на основі даних із криволінійним зв’язком між залежною та незалежною змінними. Виражається формулою:

$$y = \beta_0 + \beta_0 X_1 + \varepsilon \quad (2.5)$$

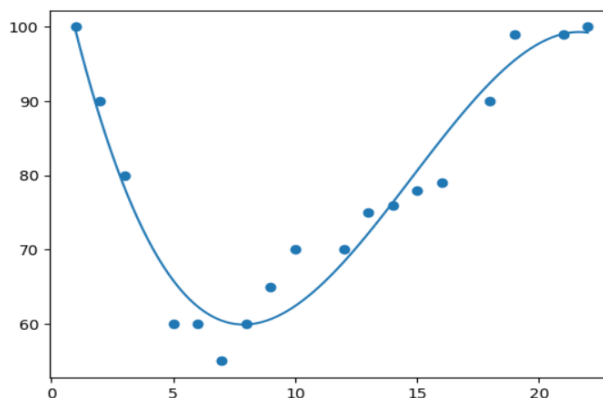


Рис. 2.6. Поліноміальна регресія

2.2.1.5. Древа рішень

Дерево рішень — це метод, який використовується для створення моделі для прогнозування значення цільової змінної на основі кількох вхідних змінних. Структура дерева рішень складається з наступних елементів: (1) внутрішні вузли, які перевіряють атрибут; (2) гілки, що відповідають значенням атрибутів, і (3) листові вузли, які призначають класифікацію. Примірники класифікуються, починаючи з кореневого вузла, і на основі значень ознак дерево сортується до деякого листового вузла. Це простий класифікатор, який може ефективно класифікувати нові дані та стисло зберігати їх. Він має можливість зменшити складність і автоматично вибирати функції. Інформацію про передбачення класифікації можна легко інтерпретувати завдяки її деревовидній структурі. Нарешті, на точність менше впливають фактори, визначені користувачем [106].

2.2.1.6. Метод випадкового лісу

Випадковий ліс — це ансамблевий класифікатор, який використовує кілька моделей кількох дерев рішень для отримання кращої продуктивності передбачення. Він ґрунтується на багатьох класифікаційних деревах, і для навчання кожного дерева на наборі навчальних даних використовується метод початкової вибірки. Цей метод шукає лише випадкову підмножину змінних, щоб знайти розбиття на кожному вузлі. Для класифікації вхідний вектор подається до кожного дерева, і кожне дерево голосує за клас. Нарешті алгоритм обирає клас, який набрав найбільшу кількість голосів. Він має здатність обробляти більші набори вхідних даних, ніж інші методи [107].

2.2.2. Структура методу

Вибір правильної моделі є складним процесом. На практиці, дослідницька група, якій доручено провести дослідження, зазвичай вимірює багато змінних, але включає в модель лише деякі з них. Аналітики намагаються виключити змінні, які не пов'язані між собою, і включають лише ті, які мають справжній зв'язок. Також

аналітики розглядають багато можливих моделей з метою досягнення балансу між даними, які вони включають:

- Занадто мало: невизначена модель має тенденцію давати упереджені оцінки.
- Занадто багато: надмірно визначена модель, як правило, має менш точні оцінки.
- Збалансовано: модель із правильними термінами не має упереджень і має найточніші оцінки.

Щоб вибрати найкращу відповідну регресійну модель, краще включити змінні, які спеціально перевіряються, разом з іншими змінними, які впливають на відповідь, щоб уникнути упереджених результатів. Існують статистичні заходи та процедури, які допомагають уточнити регресійну модель.

Скоригований R-квадрат і прогнозований R-квадрат: R-квадрат – це статистичний показник, який представляє частку дисперсії для залежної змінної, яка пояснюється незалежною змінною або змінними в регресійній моделі. Ця модель має вищі скориговані та прогнозовані значення R-квадрату. Ця статистика розроблена, щоб уникнути ключової проблеми зі звичайним R-квадратом — вона збільшується щоразу, коли додаються дані, і може змусити інженера вказати надто складну модель.

Скоригований R-квадрат збільшується лише в тому випадку, якщо новий член покращує модель більше, ніж можна було б очікувати випадково, і він також може зменшуватися з низькоякісними предикторами.

Прогнозований R-квадрат є формою перехресної перевірки, і він також може зменшуватися. Перехресна перевірка визначає, наскільки добре модель узагальнює інші набори даних шляхом розділення даних.

R-значення для предикторів: р-значення вимірює ймовірність отримання спостережуваних результатів, припускаючи, що нульова гіпотеза вірна. У регресії низькі р-значення вказують на статистично значущі терміни. «Зменшення моделі» стосується практики включення в модель усіх кандидатів-предикторів, а потім систематичного видалення члена з найвищим значенням р один за одним, доки не залишаться лише важливі предиктори.

Поетапна регресія та регресія найкращих підмножин: це дві автоматизовані процедури, які можуть ідентифікувати корисні предиктори на дослідницьких етапах побудови моделі. [103]

Покроковий опис запропонованого методу:

1. Сформовані набори даних у форматі .csv завантажуються до програми, де виконуватимуться розрахунки та прогнозування.
2. Відбувається процес виявлення та виправлення рядків у наборі де дані відсутні.
3. Підготовка даних для моделі машинного навчання.
4. Встановлюється базова модель, що формується на основі історичних даних.
5. Навчання моделі на навчальних наборах даних.
6. Виконання прогнозів на тестових наборах даних.
7. Визначення навчальних та тестових наборів даних відбувається автоматично. Таким чином, виконання пунктів 4 та 5 необхідно виконувати циклічно, поки кожен навчальний набір не буде встановлено як тестовий хоча би 1 раз.
8. Порівняння прогнозів із відомими цілями тестового набору та розрахунок показників ефективності.

У випадку незадовільних показників ефективності необхідно відкоригувати модель, враховувати меншу або більшу кількість даних. Після проведення всіх розрахунків та прогнозів необхідним кроком є інтерпретування результатів моделі візуально та чисельно.

2.2.3. Формування наборів даних

Необхідний для аналізу набір даних має вигляд таблиці з полями:

1. Номер скарги.
2. День.
3. Місяць.

4. Рік.
5. Тип скарги (Покриття, Складнощі з передачею даних, Складнощі із дзвінками).
6. Технологія (2G/3G/4.5G).
7. Визначені КРІ.
8. Вагові коефіцієнти для КРІ.
9. Оцінка отриманих послуг абонентом.

Аналіз відбувається окремо для кожної технології та окремо для кожного типу скарг. На третьому етапі запропонованого методу відбувається множення показників на відповідні коефіцієнти та видалення непотрібних полів таблиці. Таким чином , модель машинного навчання повинна проаналізувати таблицю із такими полями:

1. Номер скарги.
2. День.
3. Місяць.
4. Рік.
5. Показники КРІ помножені на вагові коефіцієнти.
6. Оцінка отриманих послуг абонентом.

Останнє поле застосовується на етапі навчання та тестування системи. При подальшому аналізі та прогнозуванні QoE враховуватиметься лише коефіцієнт контексту.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

Для надання послуг найкращої якості телекомунікаційними провайдерами компаніям необхідно враховувати не лише показники якості мережі та QoS, але й QoE. Опитування абонентів з огляду на розширення мережі та збільшення кількості послуг, що надаються вже не є продуктивним процесом, таким чином є необхідність забезпечити послідовний наскрізний моніторинг якості досвіду користувачів. Виходячи з цих міркувань у даному розділі було запропоновано для аналізу даних використовувати модель машинного навчання, що має назву «Випадковий ліс» а також покроково описано етапи аналізу, що базуються на історичних даних.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО МЕТОДУ

3.1. Опис вхідних даних

У даному розділі розглядається алгоритм машинного навчання Random Forest для наскрізного визначення та прогнозування оцінки QoE. Експериментальні дослідження проводяться на основі категорії абонентських звернень – складнощі з передачею даних у технології 4.5G. Алгоритм написано на мові програмування Python з використанням бібліотеки Matplotlib.

Для аналізу використовуються історичні дані за три роки. В якості показників QoS обрано три параметри:

- Cell Availability – доступність соти тієї базової станції, до якої підключався абонент на момент складнощів,
- E-RAB Drop Rate – метою каналу радіодоступу (RAB) є забезпечення сегмента з'єднання за допомогою мережі радіодоступу WCDMA (WCDMA RAN) для підтримки служби каналу UMTS.
- LTE Accessibility – доступність сервісів LTE.

3.2. Опис дослідження

1. На вхід програми було надано таблицю (рис. 3.1.), що містить поля: ID скарги, дату звернення, регіон, KPI (Cell Availability, E-RAB Drop Rate, LTE Accessibility), що помножені на вагові коефіцієнти та бал, яким абонент оцінює отримані послуги.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	ID	Day	Month	Year	Region	K_Cell_Avalailability	K_ERAB_Drop_Rate	K_LTE_Accessibility	QoE
2	419	9	1	2022	KYIV	3.5	0.109396	3.5	1
3	418	9	1	2022	KYIV	15	0.019996	15	3
4	366	8	1	2022	KYIV	5.25	0.050622	5.25	1
5	365	8	1	2022	KYIV	24	0.036122	24	5
6	364	8	1	2022	KYIV	14.5	0.0099	14.5	3
7	363	8	1	2022	KYIV	19.75	0.003176	19.75	4
8	362	8	1	2022	KYIV	10.25	0.056362	10.25	2
9	313	7	1	2022	KYIV	4.75	0.11408	4.75	1
10	312	7	1	2022	KYIV	20.75	0.111158	20.75	4
11	311	7	1	2022	KYIV	18	0.107638	18	4
12	272	6	1	2022	KYIV	20.5	0.017044	20.5	4
13	271	6	1	2022	KYIV	0	0.0186	0	1
14	223	5	1	2022	KNARKIV	2	0.088838	2	1
15	222	5	1	2022	KNARKIV	17.75	0.007366	17.75	4
16	221	5	1	2022	KNARKIV	3	0.08425	3	1
17	220	5	1	2022	KNARKIV	24	0.006282	24	5
18	219	5	1	2022	KNARKIV	12.75	0.083514	12.75	3

Рис. 3.1. Інформація, що надана на вхід програми

2. Наступним кроком відбувається моделювання розподілу оцінок в залежності від значення Cell Availability для обслуговуючої базової станції. (рис. 3.2). З графіку видно, що чим вищий показника КРІ, тим краще надані послуги сприймаються кінцевими користувачами.

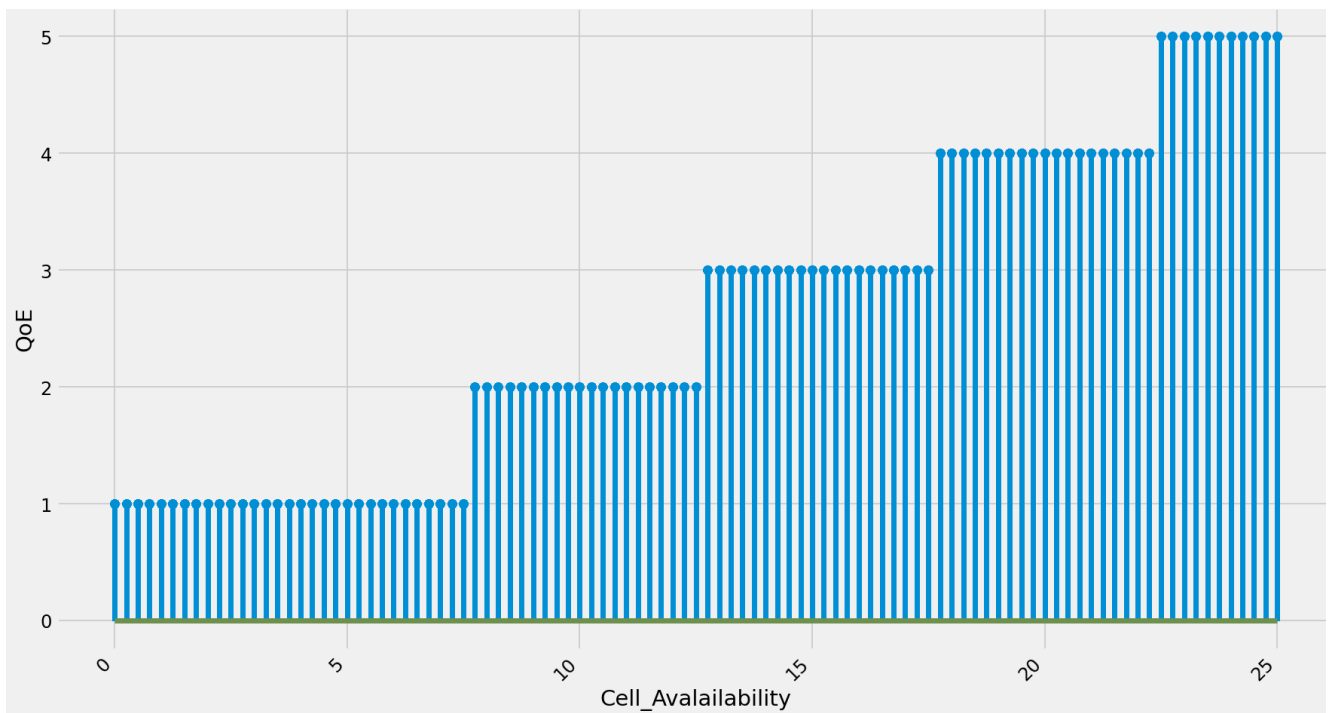


Рис. 3.2. Розподіл оцінок відповідно до рівня Cell Availability

Натомість у співвідношенні QoE/E-RAB однозначних залежностей прослідкувати не вдається (рис. 3.3).

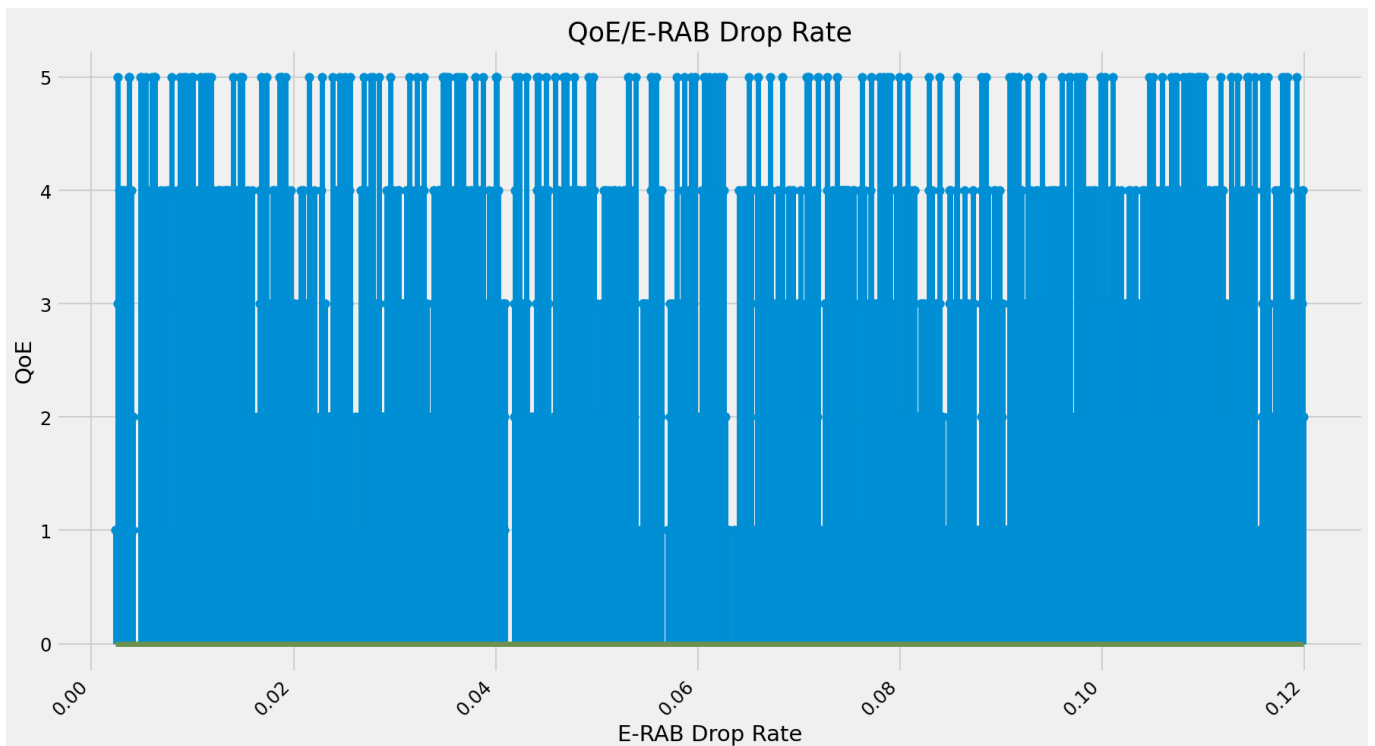


Рис. 3.3. Моделювання співвідношення QoE/E-RAB

3. Тренування моделі на історичних даних.

```
Тренувальні набори: (749, 14)  
Тренувальні мітки: (749,)  
Тестові набори: (250, 14)  
Тестові мітки: (250,)
```

Рис. 3.4. Результат тренування на історичних моделях

4. Встановлення нової базової лінії.

Новою базовою лінією будуть прогнози моделі, навчені на даних за 1 рік, але перевірені на розширеному наборі для тестування. Тестування з таким набором тестів дозволяє оцінити ефект від використання додаткових навчальних даних.


```
Метрики для тренувальних наборів Random Forest
Похибка: 0.0
Точність: 100.0 %.
```

Рис. 3.5. Метрики для тренувальних наборів

5. Тренування на розширених наборах даних

На даному кроці алгоритм використовує таку саму кількість дерев рішень, але навчається на більш довгому наборі.

```
Тренувальні набори: (1125, 14)
Тренувальні мітки: (1125,)
Тестові набори: (375, 14)
Тестові мітки: (375,)
```

Рис. 3.6. Результат тренування на розширених наборах даних

6. Визначення показників для розширених наборів даних та функцій.

```
Метрики для тренувальних наборів Random Forest для розширених даних
Похибка: 1.0 degrees.
Покращення: 14.29 %.
Точність: 90.0 %.
```

Рис. 3.7. Метрики для тренувальних наборів

7. Зменшення кількості параметрів

Деякі показники непотрібні для прогнозування показника QoE. З метою зменшення їх кількості виконаємо перевірку важливості.

```
Variable: QoE_Predict Importance: 0.35
Variable: K_Cell_Avalailability Importance: 0.33
Variable: K_LTE_Accessibility Importance: 0.32
Variable: ID Importance: 0.0
Variable: Day Importance: 0.0
Variable: Month Importance: 0.0
Variable: Year Importance: 0.0
Variable: K_ERAB_Drop_Rate Importance: 0.0
Variable: QoE_Average Importance: 0.0
Variable: Region_DNIPRO Importance: 0.0
Variable: Region_KHARKIV Importance: 0.0
Variable: Region_KYIV Importance: 0.0
Variable: Region_LVIV Importance: 0.0
Variable: Region_ODESA Importance: 0.0
```

Рис. 3.8. Важливість кожної змінної

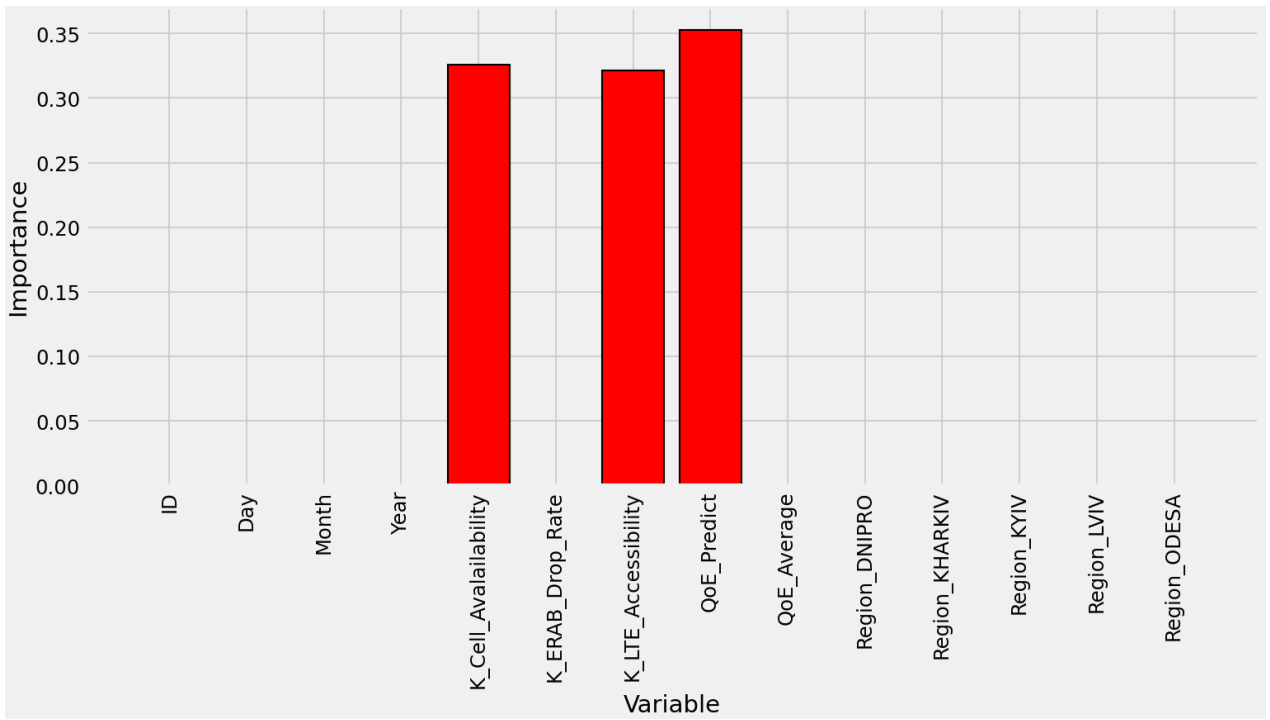


Рис. 3.9. Графік важливості кожної змінної

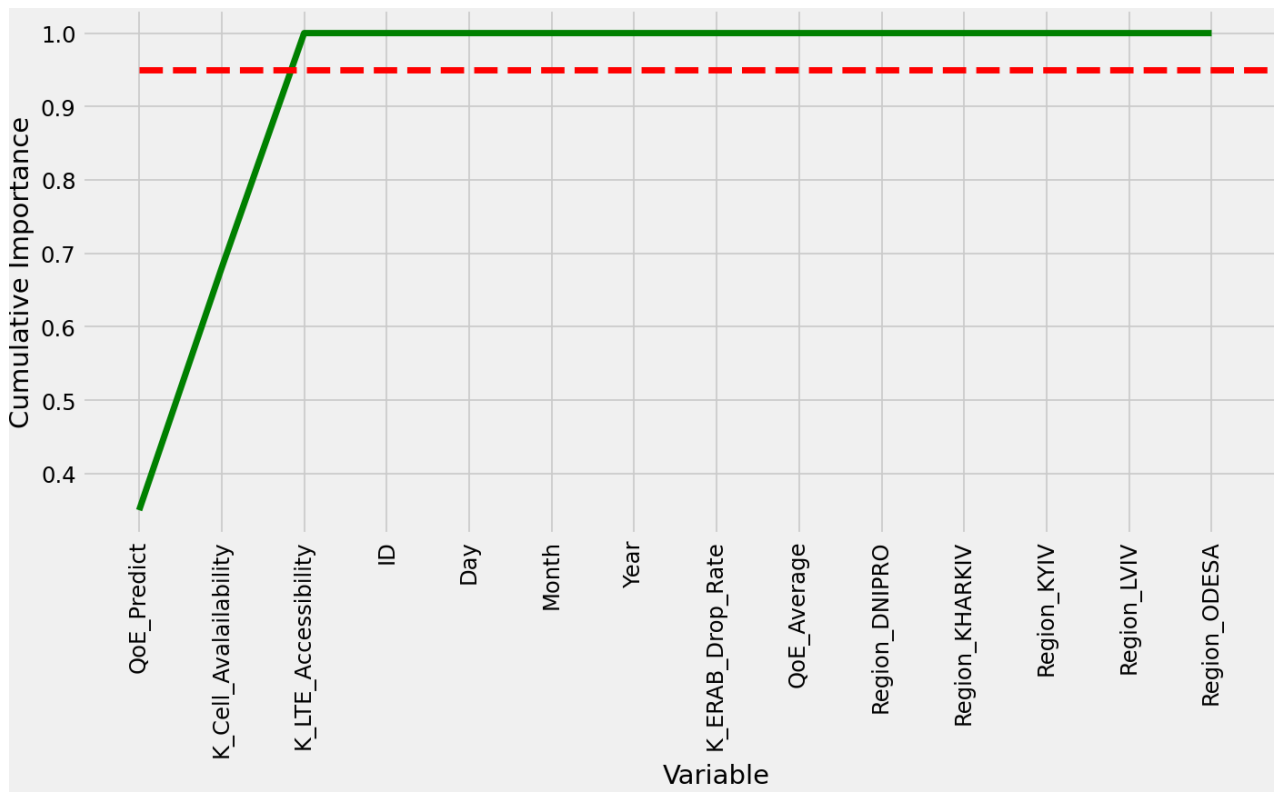


Рис. 3.10. Сукупна важливість

8. Зменшимо кількість параметрів, що використовуються моделлю, до тих, що повинні відповідати 95% важливості. І в навчальних і в тестових наборах повинна використовуватись однакова кількість параметрів.

```
Кількість параметрів для 95% важливості: 3
```

Рис. 3.11. Результат виконання коду

```
Важливі показники для тренувальних наборів: (1125, 3)  
Важливі показники для тестових наборів: (375, 3)
```

Рис. 3.12. Важливі показники для наборів

9. Оцінка важливих параметрів.

```
Кількість параметрів для 95% важливості: 3  
Похибка: 0.0  
Точність: 100.0 %.
```

Рис. 3.13. Результати оцінювання

Використання лише трьох найважливіших параметрів не призводить до зменшення точності прогнозування. Для деяких моделей зменшення кількості параметрів може підвищити продуктивність. Однак в інших ситуаціях продуктивність знизиться, але час виконання також зменшиться.

10. Розрахунок компромісу

```
Час виконання для тренувальних та тестових наборів: 1.66 секунд.  
Скорочення часу на: 1.15 секунд.  
Відносне зниження точності: 0.0 %.  
Відносне зменшення часу роботи: 30.595 %.
```

Рис. 3.14. Результати розрахунку компромісу

Як видно з рисунку 3.14 в даному випадку зменшення кількості параметрів не впливає на точність прогнозування, проте покращує продуктивність роботи моделі.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

У поточному розділі вдалося протестувати метод прогнозування QoE в залежності від параметрів QoS. В ході дослідження виявилось, що можна скоротити набір даних, що пропонувався у попередньому розділі без впливу на точність та продуктивність розрахунків, що виконує модель машинного навчання. Разом з тим, прогнозування відносно тих параметрів, що залишилися відбувається із точністю 100%, що є відмінним результатом.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Співробітники – це найважливіша інвестиція компанії. Коли член команди захворює або отримує травму на роботі, відновлення його здоров'я завжди є невідкладним пріоритетом. Однак переконатися, що працівники не постраждають і не захворіють, завжди є головною метою.

Існує галузь — охорона праці — яка повністю зосереджена на допомозі підприємствам підтримувати безпечне та здорове робоче місце. Охорона праці призначена для захисту працівників від потенційних ризиків і небезпек на роботі, допомагаючи в усьому – від запобігання травмам до надання допомоги при травмах.

Незалежно від того, яким типом бізнесу займається компанія, розуміння гігієни праці та наявність програми є ключовими для зниження загальних витрат на охорону здоров'я, підвищення продуктивності та забезпечення безпечного робочого місця. Охорона праці розглядає всі аспекти здоров'я та безпеки на робочому місці та приділяє особливу увагу первинній профілактиці небезпек. Його метою є запобігання нещасним випадкам і шкоді людям, що пов'язана з роботою.

Всесвітня асамблея охорони здоров'я закликає країни розробити національну політику та плани дій, а також створити інституційний потенціал у сфері професійної гігієни, розширити охоплення основними утручаннями для профілактики та боротьби з професійними та пов'язаними з роботою захворюваннями та травмами, а також забезпечувати служби охорони праці у співпраці з іншими відповідними національними програмами охорони здоров'я, такими, що стосуються інфекційних і неінфекційних захворювань, профілактики травм, зміцнення здоров'я, психічного здоров'я, здоров'я навколишнього середовища та розвитку систем охорони здоров'я.

В якості суб'єкта — посадової особи, чия виробнича діяльність безпосередньо пов'язана з розробкою та впровадженням теми даної кваліфікаційної роботи обрано інженера з гарантування якості та тестування мобільної мережі, що працює в Дирекції мобільної мережі української телекомунікаційної компанії. Робоче місце обраного

фахівця складається зі столу з тумбою, ноутбука, монітора, лампи та стільця і межує з двома іншими робочими місцями по бокам.

4.1. Аналіз умов праці

Аналіз робочого місця – це процес, за допомогою якого складне оточення на робочому місці розбивається на менші частини, щоб отримати краще розуміння його цілісності. Умови праці охоплюють такі сфери, як простір, температура, освітлення, чистота, вентиляція, вологість і побутові приміщення, включаючи доступ до питної води. «Позитивне» робоче середовище можна визначити як робоче місце, де панує довіра, співпраця, безпека, підтримка ризику, підзвітність і справедливість.

4.1.1. Організація робочого місця

У зв'язку з пандемією COVID-19 відбувається масштабна зміна культури на робочому місці. У зв'язку з переходом на віддалену та гібридну роботу через пандемію 57% компаній кажуть, що очікують значних змін у своїй культурі. Це шанс для організацій переоцінити свої пріоритети та створити робоче середовище, де працівники можуть відчувати себе в безпеці, залученими, натхненними та продуктивними, незалежно від того, перебувають вони вдома чи в офісі.

Робоче місце обраного фахівця складається зі столу з тумбою, ноутбука, монітора, лампи та стільця і межує з двома іншими робочими місцями по бокам, якщо співробітник працює в офісі та столу, ноутбуку, лампи та стільця, якщо працівник працює віддалено.

4.1.2. Перелік шкідливих та небезпечних виробничих чинників

У цьому підрозділі наведено 10 головних небезпек, які надто часто трапляються на робочих місцях.

Посковзнення, спотикання та падіння. Падіння через невідомо що (нерівна поверхня підлоги, мокра підлога тощо) є найпоширенішою причиною травм на

виробництві. Роботодавцям доводиться викладати великі гроші, щоб покрити витрати на всі ці випадковості, і, на жаль, більшості з них можна було б запобігти, якби належним чином дотримувалися правил безпеки. Роботодавці та підлеглі зобов'язані переконатися, що працюють у безпечних умовах.

Електрика. Будь-які дроти під напругою можуть завдати шкоди людям, незалежно від того, торкаються вони безпосередньо до них або опосередковано через якийсь струмопровідний предмет чи матеріал. Напруга понад 50 вольт змінного струму (120 вольт постійного струму) вважається небезпечною, і до неї слід ставитися серйозно. На жаль, деякі нещасні випадки з електричним струмом, які трапляються на роботі щороку, є смертельними. Удари можуть спричинити серйозні, незворотні травми. Це спричинено несправним обладнанням, яке можна перевірити в рамках профілактичного заходу. Деякі основні кроки з електробезпеки включають: технічне обслуговування всіх електроустановок, вибір правильного обладнання для роботи і заміну будь-яких пошкоджених ділянок кабелів. Несправні електроприлади іноді теж можуть призвести до пожежі.

Пожежа. Підприємства, які мають низькі стандарти господарювання, громадський доступ (для можливого підпалу) і обладнання, яке погано обслуговується, можуть більше постраждати від пожеж. Разом із будівлями можуть постраждати люди та інвентар, і, знову ж таки, можна вжити заходів безпеки, щоб уникнути такої небезпечної події. З огляду на пожежну безпеку варто розмістити пожежну сигналізацію та сповіщувачі по всій будівлі. Часте тестування — це спосіб зберегти будівлю в безпеці, а також переконатися, що обладнання функціонуватиме від іншого резервного джерела живлення, навіть якщо живлення відключено. Співробітники повинні знати, як працює система сигналізації, а також необхідно розробити належні плани евакуації та повідомити всіх працівників. Вогнегасники по всій будівлі (і технічне обслуговування всього протипожежного обладнання) є частиною загального плану дій на робочому місці у випадку виникнення надзвичайної ситуації. З легкозаймистими матеріалами слід поводитися належним чином, електричне обладнання, яке не використовується, має бути вимкнуте, і навіть такі прості дії, як повне гасіння недопалка, є запобіжними заходами. Роботодавці та

працівники однаково відіграють важливу роль у запобіганні виникнення пожеж на робочому місці.

Робота в обмеженому просторі. Місця, які здебільшого закриті, можуть стати небезпечними для роботи. Камери, резервуари, баки, ями, траншеї, каналізаційні труби, дренажі, повітропроводи та непровітрювані або погано провітрювані приміщення можуть збільшити ризик смерті або серйозних травм. Зварювання, фарбування, різання та використання хімічних речовин на невеликих ділянках можуть створити небезпечні умови праці. Погана підготовка може травмувати не лише працівників, які перебувають у цих приміщеннях, але й тих, хто намагається їх врятувати. Наведемо перелік небезпек, які можуть виникнути, якщо не бути обережним та обачним: нестача кисню; отруйний газ, дим або пара; рідини та тверді речовини, що раптово заповнюють замкнутий простір або виділяють у нього газу, коли їх турбують; пожежі та вибухи; залишки, що можуть виділяти газ, дим або пару; пил; і гарячі умови праці. Один із досить очевидних способів зменшити ризик роботи в замкнутих просторах – це уникати входу до закритих просторів. Якщо цього зовсім не уникнути, то необхідно дотримуватись заходів безпеки. Необхідно пройти належне навчання та інструкції, щоб безпечно завершити будь-яку необхідну роботу та вжити заходів для надзвичайних ситуацій ще до початку роботи.

Ергономічна небезпека. Коли вид роботи, яка виконується, а також положення тіла та/або умови праці створюють навантаження на тіло, це може стати ергономічною небезпекою. Оскільки вони не завжди відразу впливають, це складно визначити. Повторювані незграбні рухи можуть вплинути на спину, поставу тощо. Ергономіка використовується для зменшення зносу тіла, що з часом може зробити завдання складним або навіть болючим. Щоб підвищити ефективність, збільшити задоволення від роботи та зменшити ризик втоми, короткочасного болю чи хвороб, важливо впроваджувати ергономічні принципи на робочому місці. Замість того, щоб робити те саме знову і знову, різноманітність завдань зведе до мінімуму повторювані рухи. Відповідний темп роботи дає тілу час для відновлення після певних рухів. Робочі перерви також дають організму час для відновлення, а також розумову перерву. Навчання може допомогти співробітникам навчитися виконувати завдання

найкращим чином, щоб уникнути напруги та травм. Організація — це ще одна корисна ідея, яка допоможе зробити робоче місце ефективнішим: наявність інструментів, матеріалів і обладнання в легкому доступі не зробить працівників ледачими. Ці стратегії покращать виробництво та покращать комфорт для працівників у робочому середовищі.

Хімічні фактори. Саме це може зробити замкнутий простір таким небезпечним. Коли працівник піддається впливу будь-якого хімічного препарату (незалежно від того, чи це тверда речовина, рідина чи газ), це може бути потенційною хімічною небезпекою. Миючі засоби та розчинники, випари та дим, чадний газ, бензин та легкозаймисті матеріали – усе це може зашкодити здоров'ю. Якщо не бути обережним, можуть виникнути подразнення шкіри, опіки, травми очей і сліпота. Розчинники можуть легко спалахнути, а балончики з фарбою можуть вибухнути. Небезпечні речовини будуть позначені та включатимуть символи з різними рівнями класу. Завжди необхідно читати ці етикетки та чітко дотримуватись інструкцій і запобіжних заходів. Якщо немає знань, як правильно використовувати продукт, краще його не використовувати. Можна захистити себе та оточуючих, правильно утилізуючи хімікати. Зменшення використання небезпечних хімічних речовин – це спосіб забезпечити безпеку робочого місця. Забезпечення належної вентиляції, миття рук, мінімізація впливу хімічних речовин, технічне обслуговування обладнання, щоб запобігти витокам і поломкам, а також використання засобів індивідуального захисту — усе це мінімізує вплив небезпечних хімічних речовин.

Біологічні фактори. Кров або інші рідини організму, бактерії та віруси, укуси комах, послід тварин і птахів вважаються біологічними небезпеками. Їх також називають біологічними агентами, і вони можуть спричиняти хвороби та захворювання людей. Біологічними агентами є паразитичні черви та деякі рослини. Через фізичний контакт можна заразитися цими захворюваннями, тому важливо дотримуватись правил особистої гігієни. Деякі інфекційні агенти передаються безпосередньо (через фізичний контакт, краплини під час чхання чи кашлю, або шляхом ін'єкції чи проколу), тоді як інші передаються опосередковано (прикріплюючись до їжі, води чи столового посуду, коли комаха переносить їх з

інфікованої людини до неінфікованої людини або при вдиханні повітря). Через ризик заразитися вірусними інфекціями необхідно тримати свої щеплення в актуальному стані. [108]

4.1.3. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників, що діють на робочому місці суб'єкта

Офісні працівники проводять багато часу всередині будівлі, де фізичне середовище впливає на їх самопочуття та безпосередньо впливає на ефективність роботи та продуктивність. На робочому місці часто припускають, що працівники, які більше задоволені фізичним середовищем, з більшою ймовірністю досягнуть кращих результатів роботи. Температура, якість повітря, освітлення та шум в офісі впливають на робочу концентрацію та продуктивність. Численні дослідження постійно демонструють, що характеристики фізичного офісного середовища можуть мати значний вплив на поведінку, сприйняття та продуктивність працівників.

Зважаючи на місце роботи суб'єкта, можна виокремити основні шкідливі та небезпечні виробничі чинники: ергономічна небезпека (сидяче положення тіла погіршує кровообіг, зручність офісних меблів впливає на розвантаження хребта, попереку), робота в обмеженому просторі (робоче місце повинно мати часткове природне освітлення, достатньо вільного простору, хорошу вентиляцію та високий вміст кисню в повітрі), біологічна небезпека (в разі обмеженого простору, поганої вентиляції, вірогідність інфікування патогенами значно зростає), електрика (вся офісна техніка, побутові електроприлади, електропроводка, має бути в справному стані, відповідати пожежним нормам), пожежна небезпека (кожен офісний працівник повинен використовувати електроприлади відповідно до інструкції, знати порядок дій у разі виникнення пожежі).

4.1.3.1. Мікроклімат робочої зони

Офісний мікроклімат робочої зони — це група параметрів навколишнього середовища, що регулює тепловіддачу людського тіла, біологічний механізм, відповідальний за теплообмін людського тіла. Якість повітря відповідає за значну частину мікроклімату в офісах. Звичайно, ризики для здоров'я, пов'язані із забрудненням повітря у приміщенні, потребують ґрунтовного розгляду, оскільки люди проводять більшу частину свого дня в приміщенні. Повідомляється, що люди проводять 80% свого життя в закритих приміщеннях і постійно піддаються впливу високих концентрацій забруднюючих речовин. Грибки, пліснява, пил, леткі органічні сполуки, радон, свинець і формальдегід – це лише деякі з небезпечних речовин, які можна знайти в закритих приміщеннях, офісах. Останній є найпоширенішим і входить до списку небезпечних для людини канцерогенів. Він присутній у багатьох клеях, лаках і будівельних матеріалах і з часом повільно вивільняється в повітря у вигляді газу/пару. Обираючи меблі для офісу, особливо ті, що частково складаються з фанери, необхідно враховувати та вимірювати рівень формальдегіду, щоб забезпечити безпеку. Добре сконструйовані повітряні системи необхідні для постійного видалення летких органічних сполук і забезпечення здорового обміну повітря. Відчинення дверей і вікон не є надійним рішенням, оскільки вентиляційні системи зазвичай розроблені для підтримки внутрішньої температури та якості повітря, тоді як відчинення дверей і вікон може суттєво змінити ці параметри. [108]

Таблиця 4.1.

Оптимальні величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень [106]

Період року	Категорія робіт	Температура повітря	Відносна вологість	Швидкість руху, м/сек
Холодний	Легка Іа	22 – 24	60 - 40	0,1
	Легка Іб	21 - 23	60 - 40	0,1

Теплий	Легка Іа	23 – 25	60 - 40	0,1
	Легка Іб	22 - 24	60 - 40	0,2

Відповідно до пункту 1.1.4, постанови про санітарні норми виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99 при виконанні робіт операторського типу, пов'язаних з нервово-емоційним напруженням в кабінетах, пультах і постах керування технологічними процесами, в залах обчислювальної техніки та інших приміщеннях повинні дотримуватися оптимальні умови мікроклімату (температура повітря 22-24 град.С, відносна вологість 60-40%, швидкість руху повітря не більш 0,1 м/сек.) [112].

4.1.3.2. Природне та штучне освітлення

При плануванні внутрішнього освітлення варто звернути увагу на варіанти прямого, непрямого, нижнього, верхнього освітлення та освітлення від настінних або підлогових світильників.

Проектування офісу з використанням денного освітлення — практика розміщення вікон, мансардних вікон і відбиваючих поверхонь, таким чином, щоб стратегічно сприяти проникненню природного світла всередину будівлі — максимізує позитивний вплив природного освітлення на робочому місці на енергоефективність і комфорт на робочому місці. Штучне світло, навпаки, створене людиною і може надходити від джерел, включаючи вогонь, світло свічок, газове світло, електричні лампи тощо. Однак сьогодні термін «штучне освітлення» в основному стосується освітлення, яке надходить від електричних ламп [108] .

Відповідно до рекомендацій описаних в документі ДБН В.2.5-28-2006, у виробничих приміщеннях глибиною до 6 м при односторонньому боковому освітленні нормується мінімальне значення коефіцієнту природньої освітленості в точці, розташованій на перетині вертикальної площини характерного розрізу

приміщення і умовної робочої поверхні на відстані 1 м від стіни або лінії максимального заглиблення зони, найбільше віддаленої від світлових прорізів [113].

У великогабаритних виробничих приміщеннях глибиною більше ніж 6 м при боковому освітленні нормується мінімальне значення коефіцієнту природньої освітленості в точці на умовній робочій поверхні, віддаленій від світлових прорізів:

- на 1,5 м висоти від підлоги до верху світлових прорізів для зорової роботи I - IV розрядів;

- на 2 м висоти від підлоги до верху світлових прорізів для зорової роботи V - VII розрядів;

- на 3 м висоти від підлоги до верху світлових прорізів для зорової роботи VIII розряду [113].

Для загального штучного освітлення приміщень слід використовувати, як правило, розрядні джерела світла, віддаючи перевагу за однакової потужності джерелам світла з найбільшою світловою віддачею і строком служби [113].

Світлова віддача джерел світла для штучного освітлення приміщень при мінімально допустимих індексах передачі кольору не повинна бути менше значень, наведених у таблиці 4.2 [113].

Таблиця 4.2

Світлова віддача джерел штучного освітлення

Тип джерела світла	Світлова віддача, лм/Вт, не менше, при мінімально допустимих індексах передачі кольору				
	$R_a \geq 80$	$R_a \geq 60$	$R_a \geq 45$	$R_a \geq 25$	$R_a \leq 25$
Люмінесцентні лампи	65	75	-	-	-
Компактні люмінесцентні лампи	70	-	-	-	-
Металогалогенні лампи	75	90	-	-	-

Дюгові ртутні лампи	-	-	55	-	-
Натрієві лампи високого тиску	-	75	-	100	-
Лампи розжарювання	-	-	-	-	7

4.1.3.3. Електробезпека

Сьогодні майже все в офісі працює від електрики. Електрообладнання, яке використовується в офісі, є потенційно небезпечним і може спричинити серйозні ураження електричним струмом і опіки, якщо воно використовується або обслуговується неналежним чином. Якщо частина тіла торкнеться електричного кола, відбудеться удар струмом. Електричний струм буде входити в тіло в одній точці і виходити в іншій. Проходження електрики через тіло може викликати сильний біль, опіки, руйнування тканин, нервів і м'язів і навіть смерть.

Ось кілька важливих порад, яких варто дотримуватися:

- використовувати лише обладнання з належним заземленням або подвійною ізоляцією;
- не перевантажувати розетки;
- не під'єднувати багаторозетні колодки до інших багаторозеткових колодок;
- використовувати пристрої захисту від перенапруг, а не подовжувачі.
- не підключати разом два пристрої захисту від перенапруг;
- не накривати шнури живлення;
- не прокладати електричні шнури через пішохідні проходи або дверні прорізи
- перед обслуговуванням або ремонтом вимикати або від'єднувати машини;
- не ігнорувати попереджувальні знаки.

- якщо предмет гарячий, видає незвичайний шум (гудіння або дзижчання), димить або іскрить, негайно вилучити його з експлуатації та позначити «Не використовувати»;
- регулярно перевіряти шнури та обладнання та негайно повідомляти про будь-які дефекти;
- накрити або захистити будь-які відкриті електричні компоненти або дроти;
- виймати шнури з розетки, взявшись за вилку;
- не тягнути за шнур;
- не використовувати електрообладнання або прилади поблизу води або мокрих поверхонь;
- ніколи не використовувати електричне обладнання мокрими руками. [108, 110]

4.2. Розробка заходів охорони праці

Кожному розпорядженню присвоюється назва та позначення (номер). У назві необхідно коротко вказати, для якої професії або виду роботи він призначений. Текст інструкції повинні поділятися на розділи, що мають назви. При необхідності пункти можна розбити на підпункти. Вимоги інструкцій повинні бути викладені відповідно до послідовності технічної процедури та з урахуванням умов, у яких виконується ця робота. Робоча інструкція повинна містити такі розділи:

- загальні вимоги безпеки;
- вимоги безпеки перед початком роботи;
- вимоги безпеки під час роботи;
- вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях;
- вимоги безпеки після закінчення робіт.

При необхідності вказівки можна включити додаткові розділи. Наприклад, у типових інструкціях розділ «Вступ», що відображає відповідні положення законодавства про працю, вказівки керівних органів, особливості методики постановки вимог безпеки, може передбачатися в інструкціях по роботі, розроблених

на основі цієї стандартна інструкція. У цьому ж розділі можуть наводитися посилання на нормативні документи, які враховуються при розробці інструкцій.

4.2.1. Нормалізація повітря робочої зони

Існують способи покращити якість повітря та зберегти здоров'я працівників у будь-якому офісному середовищі. Щоб зменшити ймовірність захворювання персоналу та покращити якість повітря в офісі в цілому необхідно тримати вентиляційні отвори відкритими та незаблокованими. Якщо меблі, ящики чи інші предмети блокують шлях вентиляційних отворів, повітря всередині офісу не циркулюватиме належним чином і це може спричинити проблеми зі здоров'ям. Необхідно часто замінювати повітряні фільтри. Якщо повітряні фільтри забиті, потік повітря перестає циркулювати належним чином. Згодом пил і сміття накопичуватимуться за фільтрами й осідають у повітроводах, піддаючи ще більшому ризику здоров'я працівників. Як правило, повітряні фільтри слід міняти кожні 6-12 місяців. Важливим є підтримка здорового рівня вологості. Вологість від 30 до 50 відсотків допомагає тримати пилових кліщів, цвіль та інші алергени під контролем. Для контролю рівня вологості в офісі необхідно використовувати осушувачі та кондиціонери. Надлишок вологи або залишкова вологість сприяють розвитку плісняви та цвілі, що може спричинити серйозні ризики для здоров'я. Кілька офісних рослин не тільки додають будь-якому офісу приємної, спокійної естетики, вони також поглинають токсини та виробляють більше кисню, що означає, що працівники зможуть легше дихати. По можливості необхідно використовувати свіже повітря. Офіс повинен бути завжди прибраний. Дотримання правил чистоти гарантує, що менше забруднюючих речовин матиме шанс змішатися з повітрям і викликати захворювання співробітників [111].

4.2.2. Виробниче освітлення

Загальні стандарти встановлюють мінімальний стандарт офісного освітлення для всіх підприємств. Відповідно, одне робоче місце офісного працівника потребує 300 – 500 лк. Система освітлення повинна складатися в суцільні та переривчасті лінії світильників, розташованих збоку від робочих місць (зазвичай ліворуч), паралельно лінії зору офісних працівників. Локальне освітлення не повинно створювати відблиски від екрана монітора.

Природне освітлення в офісі має здійснюватись за допомогою світлових прорізів, орієнтованих на північ чи північний схід і які мають забезпечувати коефіцієнт природної освітленості не нижче ніж 1,5%. [108, 113]

4.3. Пожежна безпека

Це може здивувати, але багато пожеж в офісах мають схожі причини. Знання загальних ризиків пожежі може допомогти запобігти виникненню пожежі. Отже, ось основні небезпеки, про які слід знати в офісних будівлях:

- електрообладнання (несправності електрики є основною причиною пожежі);
- папір, картки та інші легкозаймисті матеріали зберігаються неналежним чином, напр. під столами або поруч з електрообладнанням;
- нещасні випадки, що відбуваються на кухнях, спричинені тим, що електричне обладнання, наприклад тостер, було залишено без нагляду під час використання.

Оцінка ризику пожежної безпека відбувається в п'ять етапів:

1. Визначити небезпеку пожеж (визначити: джерела займання, джерела палива, джерела кисню).
2. Визначити людей із групи ризику (визначити: люди в приміщенні та навколо нього, люди особливого ризику).

3. Оцінити, усунути, зменшити та захистити від ризику (оцінити ризик виникнення пожежі, оцінити небезпеку для людей від пожежі, усунути або зменшити небезпеку пожежі, усунути або зменшити ризики для людей (виявлення та попередження, шляхи евакуації, освітлення, знаки та повідомлення, технічне обслуговування).

4. Записувати важливі висновки та вжиті заходи, підготувати план на випадок надзвичайних ситуацій, інформувати та інструктувати відповідних людей, співпрацювати та координувати дії з іншими, забезпечити навчання.

5. Огляд (переглядати оцінку ризиків, оптимізувати процес). [113]

4.4. Перевірочний розрахунок штучного освітлення для офісного приміщення

Завдання: Розрахувати параметри штучного освітлення, а саме визначити тип та кількість ламп для забезпечення на робочому місці освітленості, що відповідає нормам, а також очікувану освітленість робочого місця суб'єкта при відомих потужності, кількості та типу джерел освітлення.

Оскільки робоче місце суб'єкта знаходиться в лінії з іншими робочими місцями доречним стане використання локалізованого розміщення світильників загального освітлення. Таким чином з трьох методів, що найчастіше використовуються для визначення якості та достатності штучного освітлення: точковий метод, метод коефіцієнта використання світлового потоку та метод питомої потужності, найкраще підійде перший.

Вхідні дані:

Розміри приміщення (м): $A = 24$ - довжина, $B = 6$ – ширина, $h = 4$ – висота стелі.

Коефіцієнт відбиття ($S, \%$): 30 – стіни, 10 – стеля, 10 – підлога.

Кількість джерел світла (N , шт): 12.

Кількість ламп на 1 од. освітлювача (n , шт): 4.

Потужність 1 лампи (Вт): 100.

Нормована величина освітлення (E_n , лк): 300.

Затінення: відсутнє.

Розрахунки:

Коефіцієнт запасу, $K_3 = 1,7$.

Площа офісного приміщення: $S = 24 * 6 = 144 \text{ м}^2$.

Світловий потік: $F_{\text{л}} = 1630 \text{ лм (100 Вт)}$.

Світловий індекс приміщення (I): $A * B / h * (A + B) = 24 * 6 / 4 * (24 + 6) = 1,2$

Відношення середньої освітленості до мінімальної (Z): 1,1

Коефіцієнт використання світлового потоку: $\eta = 0,30$

Визначимо фактичну освітленість приміщення:

$E_{\text{ф}} = (N * F_{\text{л}} * n * \eta) / (S * Z * K_3) = (12 * 1630 * 4 * 0,38) / (144 * 1,1 * 1,7) = 110,4 \text{ лк}$.

Таким чином можна зробити висновок, що фактична освітленість приміщення недостатня та не відповідає нормі на 63%.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

Охорона праці зосереджується насамперед на захисті працівників на робочому місці від нещасних випадків, травм і впливу шкідливих речовин. Незважаючи на те, що нещасні випадки можуть статися будь-коли, роботодавець все одно зобов'язаний забезпечити вжиття заходів для зменшення ризику нещасних випадків і підтримки безпечного робочого середовища. Пріоритетність охорони праці у бізнесі має кілька ключових переваг, зокрема:

- Зменшення ризику нещасних випадків чи травм шляхом виявлення та усунення небезпек;
- підвищення ефективності та продуктивності завдяки меншій кількості працівників, які пропускають роботу через хворобу чи травму;
- покращені стосунки та моральний дух співробітників (безпечніше робоче середовище – це менш стресове робоче середовище);
- зниження витрат, пов'язаних із нещасними випадками або травмами (витрати на охорону здоров'я та реабілітацію, зниження продуктивності, вплив на добробут працівників);

Найважливішим аспектом належної політики щодо охорони праці є визначення небезпек і забезпечення того, щоб працівники мали навчання, засоби безпеки та інші ресурси, необхідні для безпечної роботи. Невиконання ефективної політики та запобіжних заходів може призвести до травм, зниження продуктивності через відсутність або втрату кваліфікованої робочої сили.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

За останні 30 років бізнес кардинально змінився завдяки цифровим інноваціям. Згідно з дослідженням Стенфордського університету, проведеним у 2015 році, цифрова трансформація дозволила збільшити кількість віддаленої роботи, скоротити час на дорогу, зменшити витрати та отримати більшу автономію. Станом на 2019 рік кількість компаній з дистанційною роботою збільшилася. Незважаючи на те, що все більше працівників переходять на віддалену роботу, офіси залишаються основними робочими місцями в усьому світі. Таким чином, фізичне бізнес-середовище, а саме офіси та будівлі, де люди, як правило, проводять щонайменше 8 годин на день, є важливими гравцями у сфері сталого розвитку та суттєвим внеском у мінливі умови навколишнього середовища та клімату, і як такі повинні враховуватися з повагою.

5.1. Майбутній офіс – «Зелений офіс»

Основним принципом «Зеленого офісу» є сприяння постійним вдосконаленням у напрямку зменшення впливу офісної роботи на навколишнє середовище. Green Office націлений на конкретні результати для покращення екологічних показників організації. Метою Зеленого офісу є зменшення споживання природних ресурсів та пом'якшення зміни клімату.

Фінський офіс Всесвітнього фонду дикої природи, відомий як WWF, запровадив концепцію Зеленого офісу та почав пропонувати його як готове рішення для офісів у Фінляндії, а потім і в усьому світі.

WWF Green Office – це практична система екологічного менеджменту (SEM) для офісів, яка була запущена в 2002 році. SEM складається з кількох частин:

- 1) спосіб значущого скорочення витрат;
- 2) інструмент для підтримки роботи з управління навколишнім середовищем;

3) освітня програма, яка надихає працівників на прийняття екологічно чистих звичок та рішень.

За допомогою програми «Зелений офіс» робочі місця можуть зменшити навантаження на навколишнє середовище за рахунок зменшення споживання енергії. Крім того, «Зелений офіс» надихає співробітників брати участь і розвивати екологічні звички. Залучення працівників до почесної справи підвищує задоволеність роботою та добробут [118].

Метою програми є зменшення викидів вуглекислого газу та екологічного сліду офісів. Green Office підходить для офісів — як великих, так і малих — у приватних компаніях, державному секторі та інших організаціях. Цільовою групою є офісні приміщення, які бажають покращити екологічний менеджмент.

Крім практичного управління навколишнім середовищем, програма WWF Green Office також пропонує систему сертифікації офісів з особливим акцентом на викиди CO₂. Структура програми подібна до офіційних екологічних систем або систем якості, але спеціально спрямована на офіси і, таким чином спрямована на зміну поведінки. Система вимагає щорічної звітності до бази даних і аудиту WWF кожні три роки. Green Office об'єднує провідні екологічні організації в міжнародну мережу, де відбувається обмін досвідом і найкращими практиками.

Компанії та організації не єдині, хто бажає створити систему «Зелений офіс». Деякі університети також наслідують цю тенденцію. Перший університетський Зелений офіс було створено в Маастрихтському університеті в 2010 році. Відтоді цю модель повторили понад 30 університетів по всій Європі та навіть отримали Премію ЮНЕСКО-Японія з питань освіти для сталого розвитку. Підхід особливо популярний у Нідерландах, де 10 із 14 університетів створили Зелений офіс. Модель активно розповсюджується соціальним бізнесом Root Ability і вільно доступна за ліцензією Creative Commons. Компанія зосереджується на тому, щоб переконатися, що студенти, які вступають до університету, тобто майбутні лідери, викладачі, ті, хто збирається керувати корпораціями, ті, хто хоче бути інженерами та розробниками продуктів, що вони, як частина навчання, мають критичну точку дотику до сталого розвитку [119].

Програма «Зелений офіс» працює в університетах наступним чином. Інновація зосереджена на трьох речах. По-перше, об'єднують команду з п'яти-восьми студентів, які отримують зарплату принаймні один день на тиждень за свою роботу, разом із співробітником закладу, який має принаймні три дні на тиждень для спільної роботи зі студентами. Таким чином, вони складають ядро Sustainability Hub, і для студентів і співробітників є багато можливостей волонтерити, працювати разом з ними. Друге – це не добровільна ініціатива, а є доручення вищого керівництва. Це низхідна підтримка, яка приходить, щоб увімкнути цю взаємодію знизу вгору. По-третє, ці центри сталого розвитку є точками зв'язку для зовнішніх гравців, які хочуть працювати разом з університетом і займатися питаннями сталого розвитку [120].

Нижче наведено практичні кроки щодо успішного створення зеленого офісу в організації, які допоможуть почати.

Енергія та викиди. Необхідно максимально використовувати природне світло в яскравий день. Можна встановити датчики для автоматичного вимикання світла, коли воно не потрібне, а енергозберігаючі світлодіодні освітлювальні прилади також можуть значно заощадити. Офісна техніка повинна бути вимкнена в неробочий час. На освітлення може припадати до 30% електроенергії, що споживається в офісах.

Подорожі. Зменшення викидів повітряних перевезень є проблемою для зелених офісів, навіть якщо скорочення авіаперельотів також зменшує витрати. Під час польотів доцільно вибрати прямі рейси та ефективні літаки. Якщо можливо, то краще надати перевагу поїзду. У Європі потяги є зручною альтернативою. Крім того, поєднуючи роботу і відпустку, можна також заощадити на поїздках.

Папір. Обсяг викидів парникових газів, спричинених споживанням паперу, невеликий порівняно з викидами від споживання електроенергії або авіаперельотів. З іншого боку, він має досить великий екологічний наслідок, особливо на це слід зважати, враховуючи кількість паперу, присутнього в офісах. Заради природи та біорізноманіття важливо заощадливо ставитися до джерела деревного волокна, яке використовується для виробництва паперу. Маркування FSC гарантує, що волокно походить із екологічно керованих лісів, такий папір виготовляється на сто відсотків

із перероблених волокон. Замість особистих принтерів встановлення кількох багатофункціональних принтерів для використання в офісі заощадить папір.

Відходи. Відходи, в ідеалі, повинні бути відсортовані та відправлені на відповідну переробку. Деякі країни все ще не впроваджують програми переробки, і відходи потрапляють на звалища. На жаль, це найгірша з можливих практик, яка значно збільшує викиди парникових газів, і краще її якнайшвидше заборонити. Впровадження в офісі практики сортування сміття є одним із найпростіших способів зберегти природні ресурси, зменшити вплив офісів на навколишнє середовище та заощадити витрати на відходи [110].

5.2. Принципи «Зеленого офісу» у компанії lifecell

1. Вимикання з розетки зарядки мобільного телефону після користування.
2. Для здорової людини найбільш сприятливою температурою повітря у приміщенні визнано 18°C.
3. Практика інтернет-конференцій та конференц-колів замість частих відряджень.
4. Сортування офісного паперового сміття у спеціальні контейнери для макулатури.
5. Відправляємо на друк лише ті сторінки документу, які дійсно потрібні.
6. Відмова від пластикового посуду на користь скляного.
7. В кінці робочого дня необхідно перевірити чи вимкнули: монітор, кондиціонер, світло, зарядні пристрої, принтери, факси.
8. Озеленення офісу.
9. Не забувати вимикати світло.
10. Вимикати монітор перед тим, як піти з робочого місця довше, ніж на 15 хвилин.
11. Використання замість кускового мила – рідкого.
12. Обов'язково закручувати крани.
13. Наливати стільки води, скільки необхідно для споживання.

14. Якщо офісна техніка не використовується, то варто її переводити в економний режим очікування.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5

Розумне споживання товарів – важлива підтримка циркулярної економіки. Програма «Зелений офіс» залучає викладачів і співробітників до впровадження найкращих екологічних практик на робочому місці. Програма пропонує вказівки щодо збереження енергії та води, зменшення відходів та підвищення обізнаності щодо сталого розвитку та екологічної справедливості. Модель «Зеленого офісу» отримала численні визнання, включно з нагородою Міжнародної мережі студентських містечок за відмінні результати в студентських проектах [121] і премією ЮНЕСКО-Японія з освіти для сталого розвитку [122]. Комітет з премії ЮНЕСКО-Японія стверджує, що «ця інтенсивна співпраця та всеохоплююча участь забезпечили найкращі умови для необхідних змін у бік сталого розвитку».[122]

ВИСНОВКИ

Сьогодні більшість постачальників телекомунікаційних послуг зацікавлені в тому, щоб клієнти були задоволені послугами, які їм надаються. Очевидно, що користувачі певної послуги будуть і надалі обирати одного і того ж провайдера, якщо їх очікування якості послуг виправдалися. Тому, щоб задовольняти очікування клієнтів, провайдерам необхідно постійно вимірювати поточний рівень якості послуг, які вони надають. Проведення таких вимірювань називають процесом моніторингу якості.

Для надання послуг найкращої якості телекомунікаційними провайдерами компаніям необхідно враховувати не лише показники якості мережі та QoS, але й QoE. Опитування абонентів з огляду на розширення мережі та збільшення кількості послуг, що надаються вже не є продуктивним процесом, таким чином є необхідність забезпечити послідовний наскрізний моніторинг якості досвіду користувачів. Виходячи з цих міркувань у даній роботі було запропоновано для аналізу даних використовувати модель машинного навчання, що має назву «Випадковий ліс», а також покроково описано етапи аналізу, що базуються на історичних даних.

В ході дослідження вдалося протестувати метод прогнозування QoE в залежності від параметрів QoS. Виявилось, що можна скоротити набір даних, що пропонувався у другому розділі без впливу на точність та продуктивність розрахунків, що виконує модель машинного навчання. Разом з тим, прогнозування відносно тих параметрів, що залишились відбувається із точністю 100%, що є відмінним результатом.

Отже, запропоновані методологію та метод з використанням алгоритмів машинного навчання можуть використовувати у своїй роботі телекомунікаційні провайдери та мобільні оператори для забезпечення наскрізного моніторингу рівня задоволеності користувачів від наданих постачальником послуг.

СПИСОК БІБЛЮГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Definitions of terms related to quality of service. ITU-T E.800, 2008. 30 с.
2. Le Callet P., Möller S., Perkis A. Qualinet White Paper on Definitions of Quality of Experience. COST IC1003 Qualinet, 2003. 24 с.
3. Reiter U., Brunnström K., De Moor K., Larabi M.-C., Pereira M., Pinheiro A., You J., Zgank A. Factors influencing Quality of Experience. Springer, 2014.
4. Alreshoodi M., Woods J. Survey on QoE\QoS correlation models for multimedia services. International Journal of Distributed and Parallel Systems (IJDPS). 2013. № 3. С. 53–72.
5. Reichl P., Bruno T., Patrick M. Telecommunication Economics. Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg : Springer, 2012.
6. Hui Z. QoE Modeling. ZTE Technologies. 2012. Т. 14, № 3. С. 28–29.
7. Yigang L., Yuanjiang W. Assessing QoE: Another Solution to Network Optimization. ZTE Technologies. 2012. Т. 14, № 3. С. 26–27.
8. Quality of experience (QoE) in telecommunications services. www.avsystem.com. URL:<https://www.avsystem.com/blog/qoe-quality-of-experience-telecommunication/>.
9. Quality of service regulation manual. Швейцарія, Женева: International Telecommunication Union, 2017. 161 с.
10. Communications quality of service: A framework and definitions. ITU-T G.1000, 2002. 16 с.
11. Framework and methodologies for the determination and application of QoS parameters. 3-тє вид. Швейцарія, Женева: ITU-T E.802, 2017. 64 с.
12. Laghari K., Connelly K. Toward total quality of experience: a QoE model in a communication ecosystem. IEEE Communication Magazine, 2012. Т. 50, № 4. С. 58–65.

13. ITU-T Recommendation P.10/G.100. Vocabulary for performance and quality of service. Amendment 2: New definitions for inclusion in Recommendation ITU-T P.10/G.100, 2008.
14. ETSI Technical Report. Human Factors (HF); Quality of Experience (QoE) requirements for real-time communication services, 2010.
15. Van Ewijk A., De Vriendt J., Finizola L. Quality of Service for IMS on Fixed Networks. Business Models and Drivers for Next-Generation IMS Services. CIIA: International Engineering Consortium, 2007.
16. O'Neill T. M. Quality of Experience and Quality of Service for IP video conferencing. Polycom, 2002.
17. Siller M. and Woods J. C. QoS arbitration for improving the QoE in multimedia transmission. Proceedings of the International Conference on Visual Information Engineering, 2003. C. 238–241.
18. Empirix. Assuring QoE on Next Generation Networks. Whitepaper, 2001. URL:<http://www.whitepapers.org/docs/show/113>.
19. Soldani D. Means and methods for collecting and analyzing QoE measurements in wireless networks. Proceedings of International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, 2006. C. 531–535.
20. De Moor K., Ketykó I., Joseph W. Proposed framework for evaluating quality of experience in a mobile, testbed-oriented living lab setting. Mobile Networks and Applications, 2010. T. 14, № 3. C. 378–391.
21. Baraković S., Baraković J., Bajrić H. QoE dimensions and QoE measurement of NGN services. Белград, Србија: Proceedings of the 18th Telecommunications Forum (TELFOR '10).
22. Stankiewicz R., Jajszczyk A. A survey of QoE assurance in converged networks. Computer Networks, 2011. T. 55, № 7, C. 1459–1473.
23. Skorin-Kapov L., Varela M. A multi-dimensional view of QoE: the ARCU model. Опатія, Хорватія: Proceedings of the 35th Jubilee International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO '12).

24. Le Callet P., Möller S., Perkis A. Qualinet white paper on definitions of quality of experience (QoE). 2012.
25. Perkis A., Munkeby S., and Hillestad O. I. A model for measuring quality of experience. Proceedings of the 7th Nordic Signal Processing Symposium (NORSIG '06), 2006. C. 198–201.
26. Kim H. J., Lee K. H., and Zhang J. In-service feedback QoE framework. Афіни, Греція: Proceedings of the 3rd International Conference on Communication Theory, Reliability, and Quality of Service (CTRQ '10). C. 135–138.
27. Kilkki K. Quality of experience in communications ecosystem. Journal of Universal Computer Science, 2008. Т. 14, № 5, С. 615–624.
28. Möller S., Engelbrecht K. P., Kühnel C., Wechsung I., Weiss B. A taxonomy of quality of service and quality of experience of multimodal human-machine interaction. Proceedings of the International Workshop on Quality of Multimedia Experience (QoMEX '09), C. 7–12.
29. Geerts D., De Moor K., Ketykó I. Linking an integrated framework with appropriate methods for measuring QoE. Тронхейм, Норвегія: Proceedings of the 2nd International Workshop on Quality of Multimedia Experience (QoMEX '10), C. 158–163.
30. Volk M., Sterle J., Sedlar U., Kos A. An approach to modeling and control of QoE in next generation networks. IEEE Communications Magazine, 2010. Т. 48, № 8, С. 126–135.
31. Reichl P., Tuffin B., and Schatz R. Logarithmic laws in service quality perception: where microeconomics meets psychophysics and quality of experience. Telecommunication Systems Journal, 2011. Т. 55, № 1, С. 1–14.
32. Ricciato F. Traffic monitoring and analysis for the optimization of a 3G network. IEEE Wireless Communications, 2006. Т. 13, № 6, С. 42–49.
33. Kataria D. Mitigating strategies for smart phone signaling overload, 2011. URL:<http://www.ecnmag.com/articles/2011/10/mitigating-strategies-smart-phone-signaling-overload>.

34. Ickin S., Wac K., Fiedler M., Jankowski L., Hong J. H., Dey A. K. Factors influencing quality of experience of commonly used mobile applications. *IEEE Communication Magazine*, 2012. T. 50, № 4, C. 48–56.
35. Wac K., Ickin S., Hong J. H., Janowski L., Fiedler M., Dey A. K. Studying the experience of mobile applications used in different contexts of daily life. Торонто, Онтарио, Канада: Proceedings of the 1st ACM SIGCOMM Workshop on Measurements up the Stack (W-MUST '11), 2011.
36. Menkovski V., Liotta A. QoE for mobile streaming. *Mobile multimedia: user and technology perspectives*. InTech Publishing, 2012.
37. Hoßfeld T., Schatz R., Varela M., Timmerer C. Challenges of QoE management for cloud applications. *IEEE Communication Magazine*, 2012. T. 50, № 4, C. 28–36.
38. Batteram H., Damm G., Mukhopadhyay A., Philippart L., Odysseos R., Urrutia-Valdés C. Delivering quality of experience in multimedia networks. *Bell Labs Technical Journal*, 2010. T. 15, № 1, C. 175–194.
39. Reichl P., Egger S., Schatz R., D'Alconzo A. The logarithmic nature of QoE and the role of the Weber-Fechner law in QoE assessment. Кейптаун, Південна Африка: Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC'10).
40. Soldani D., Li M., Cuny R. QoS and QoE Management in UMTS Cellular Systems John. США: Wiley & Sons.
41. 3GPP Technical Specification TS 26.234 V11.0.0. Transparent end-to-end Packet-switched Streaming Service (PSS); Protocols and Codecs, 2012.
42. 3GPP Technical Specification TS 26.247 V10.2.0. Transparent End-to-End Packet-Switched Streaming Service (PSS); Progressive Download and Dynamic Adaptive Streaming Over HTTP (3GP-DASH), 2012.
43. 3GPP Technical Specification TS 26.114 V11.4.0. IP Multimedia Subsystem (IMS); Multimedia Telephony; Media Handling and Interaction, 2012.
44. Raake A., Gustafsson J., Argyropoulos S. IP-based mobile and fixed network audiovisual media services. *IEEE Signal Processing Magazine*, 2011. T. 28, № 6, C. 68–79.

45. Martini M. G., Chen C. W., Chen Z., Dagiuklas T., Sun L., Zhu X. Guest editorial QoE-aware wireless multimedia systems. *IEEE Journal on Selected Areas in Telecommunications*, 2012. T. 30, № 7, C. 1153–1156.
46. Reichl P., Tuffin B., Schatz R. Logarithmic laws in service quality perception: where microeconomics meets psychophysics and quality of experience. *Telecommunication Systems Journal*, 2011. T. 55, № 1, C. 1–14.
47. Collange D., Costeux J. L. Passive estimation of quality of experience. *Journal of Universal Computer Science*, 2008. T. 14, № 5, C. 625–641.
48. Collange D., Hajji M., Shaikh J., Fiedler M., Arlos P. User impatience and network performance. Карлскруна, Швеція: Proceedings of the 8th Euro-NF Conference on Next Generation Internet (NGI '12).
49. De Moor K., De Marez L. The challenge of user- and QoE-centric research and product development in today's ICT environment. *Innovating for and by Users*, 2008, C. 77–90.
50. Fehnert B., Kosagowsky A. Measuring user experience: complementing qualitative and quantitative assessment. Proceedings of the 10th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI '08), C. 383–386.
51. Andrews M., Cao J., McGowan J. Measuring human satisfaction in data networks. Барселона, Іспанія: Proceedings of the 25th IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM '06).
52. Fielding R., Gettys J., Mogul J. Hypertext Transfer Protocol - HTTP/1.1. IETF Technical Report RFC 2616, 1999.
53. Oyman O., Singh S. Quality of experience for HTTP adaptive streaming services. *IEEE Communications Magazine*, 2012. T. 50, № 4, C. 20–27.
54. Ketykó I., De Moor K., De Pessemier T. QoE measurement of mobile youtube video streaming. Proceedings of the 3rd Workshop on Mobile Video Delivery (MoViD '10), C. 27–32.

55. Verdejo A. J., De Moor K., Ketyko I. QoE estimation of a location-based mobile game using on-body sensors and QoS-related data. Proceedings of the IFIP Wireless Days Conference (WD '10).
56. Chen K. T., Tu C. C., Xiao W. C. OneClick: A framework for measuring network quality of experience. Proceedings of the 28th Conference on Computer Communications (INFOCOM '09), C. 702–710.
57. Varela M., Laulajainen J. P. QoE-driven mobility management—integrating the users' quality perception into network-level decision making. Мюнхен, Бельгія : Proceedings of the Quality of Multimedia Experience (QoMEX '11).
58. Varela M. Pseudo-subjective quality assessment of multimedia streams and its applications in control [Ph.D. thesis], Rennes, France, 2005.
59. Mitra K., Ahlund C., Zaslavsky A. QoE estimation and prediction using hidden Markov models in heterogeneous access networks. Brisbane, Australia: Australasian Telecommunication Networks and Applications Conference, 2012.
60. 3GPP Technical Specification TS 23.228 V11.4.0. IP Multimedia Subsystem (IMS), 2012.
61. Hoßfeld T., Liers F., Schatz R. Quality of Experience Management for YouTube: Clouds, FoG and the AquareYoum, PIK: Praxis der Informationverarbeitung und -kommunikation (PIK), 2012.
62. Menkovski V., Exarchakos G., Liotta A., Cuadra-Sanchez A. Managing quality of experience on a commercial mobile TV platform. International Journal on Advances in Telecommunications, 2011. T. 4, № 1-2, C. 72–81.
63. Staehle B., Hirth M., Pries R., Wamser F., Staehle D. Aquarema in action: improving the YouTube QoE in wireless mesh networks. Proceedings of the Baltic Congress on Future Internet and Communications (BCFIC Riga '11), 2011. C. 33–40.
64. Ketykó I., Moor K. De, Joseph W., Martens L., De Marez L. Performing QoE-measurements in an actual 3G network. Proceedings of the IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB '10).
65. Skorin-Kapov L., Matijasevic M. Modeling of a QoS matching and optimization function for multimedia services in the NGN. Proceedings of the 12th

IFIP/IEEE International Conference on Management of Multimedia and Mobile Networks and Services: Wired-Wireless Multimedia Networks and Services Management (MMNS '09), 2009. T. 5842 of Lecture Notes in Computer Science, C. 54–68.

66. Ivešić K., Matijašević M., Skorin-Kapov L. Simulation based evaluation of dynamic resource allocation for adaptive multimedia services. Proceedings of the 7th International Conference on Network and Service Management (CNSM '11), 2011. C. 1–8.

67. Latré S., Simoens P., De Vleeschauwer B. An autonomic architecture for optimizing QoE in multimedia access networks. *Computer Networks*, 2009. T. 53, № 10, C. 1587–1602.

68. Ameigeiras P., Ramos-Munoz J. J., Navarro-Ortiz J., Mogensen P., Lopez-Soler J. M. QoE oriented cross-layer design of a resource allocation algorithm in beyond 3G systems. *Computer Communications*, 2010 T. 33, № 5, C. 571–582.

69. Hassan J., Hassan M., Das S. K., Ramer A. Managing quality of experience for wireless VoIP using noncooperative games. *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, 2012 T. 30, № 7, C. 1193–1204.

70. El Essaili A., Zhou L., Schroeder D., Steinbach E., Kellerer W. QoE-driven live and on-demand LTE uplink video transmission. Ханчжоу, Китай: Proceedings of the 13th International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP '11), 2011.

71. Csernai M., Gulyas A. Wireless Adapter Sleep Scheduling based on video QoE: how to improve battery life when watching streaming video? Майї, Гаваї, США: Proceedings of the 20th International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN '11), 2011.

72. Amram N., Fu B., Kunzmann G. QoE-based transport optimization for video delivery over next generation cellular networks. Керкіра, Греція: Proceedings of the IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC '11), 2011.

73. Piamrat K., Ksentini A., Viho C., Bonnin J. M. QoE-based network selection for multimedia users in IEEE 802.11 wireless networks. Montreal, Canada: Proceedings of the 33rd IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN '08), 2008. C. 388–394.

74. 3GPP Technical Specification TS 23.203 V11.6.0. Policy and Charging Control Architecture, 2012.

75. Khalek A. A., Caramanis C., Heath R. W. A cross-layer design for perceptual optimization of H.264/SVC with unequal error protection. *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, 2012. T. 30, № 7, C. 1157–1171.
76. Agboma F., Liotta A. QoE-aware QoS management. *Лінц, Австрія: Proceedings of the 6th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia*, 2008. C. 111- 116.
77. Hyun Jong K., Seong Gon C. A study on a QoS/QoE correlation model for qoe evaluation on IPTV service. *Advanced Communication Technology (ICACT), The 12th International Conference*, 2010. C. 1377-1382.
78. Yamada T., Kasuya Y., Shinohara Y., Kitawaki N. Non-reference objective quality evaluation for noise-reduced speech using overall quality estimation model. *IEICE transactions on communications* 2010. T.93, №.6. C. 1367-1372.
79. Fiedler M., Hossfeld T., Phuoc T.-G. A generic quantitative relationship between quality of experience and quality of service. *Network, IEEE*, 2010. T.24, №2. C. 36-41.
80. Hoßfeld T., Tran-Gia P., Fiedler M. Quantification of quality of experience for edge-based applications, 2007. C. 361-373.
81. Fiedler M., Hoßfeld T. Quality of experience-related differential equations and provisioning-delivery hysteresis, 2010. ITC-SS21 IEICE.
82. Hoßfeld T., Hock D., Tran-Gia P., Tutschku K., Fiedler M. Testing the IQX hypothesis for exponential interdependency between QoS and QoE of voice codecs ilbc and g. 711, 2008.
83. Stevens S. S. *Psychophysics: Introduction to its perceptual, neural, and social prospects*. Нью-Йорк: John Wiley & Sons, 1975.
84. Teghtsoonian R. On the exponents in Stevens' law and the constant in Ekman's law. *Psychological Review*, 1971. T.78, №1, C. 71-80.
85. Guilford, J. P. A generalized psychophysical law. *Psychological Review*, 1932. T.39, №1, C. 73-85.
86. Fechner G. T., Boring E. G., Howes D. H., Adler H. E. *Elements of psychophysics*, 1966. T.1.

87. Khirman S., Henriksen P. Relationship between quality-of-service and quality-of-experience for public internet service. USA: Workshop on Passive and Active Measurement, 2022.
88. Wang T., Pervez A., Zou H., VQM-based QOS/QOE mapping for streaming video, 2010.
89. Pinson M.H., Wolf S., A New Standardized Method for Objectively Measuring Video Quality. IEEE Transactions on Broadcasting, 2004. T. 50, C. 312-322.
90. NTIA General Model (aka VQM) and Full Reference Calibration Standards, [<http://www.its.bldrdoc.gov>]
91. IstOpt (First Optimization), 7D-Soft High Technology Inc. Available <http://www.7dsoft.com/len/index.htm>
92. Aroussi S., Mellouk A. Survey on machine learning-based QoE-QoS correlation models, 2014.
93. ITU-T P.1201. Parametric non-intrusive assessment of audiovisual media streaming quality. Amendment 2: New Appendix III –Use of ITU-T P.1201 for non-adaptive, progressive download type media streaming, 2013.
94. Hoßfeld T., Schatz R., Biersack E., Plissonneau L. Internet video delivery in youtube: from traffic measurements to quality of experience. Data Traffic Monitoring and Analysis, 2013. C. 264–301.
95. Zhang F., Lin W., Chen Z., Ngan K. N. Additive log-logistic model for networked video quality assessment. IEEE Transactions on Image Processing, 2013. T. 22, № 4, C. 1536–1547.
96. ITU-T Rec. P.1202.2. Parametric non-intrusive bitstream assessment of video media streaming quality - Higher resolution application area, 2013.
97. Belmudez B., Möller S. Audiovisual quality integration for interactive communications. EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing, 2013. C. 1–23.
98. Pinson M., Ingram W., Webster A. Audiovisual quality components. IEEE Signal Processing Magazine, 2011. T. 6, № 28, C. 60–67.

99. Tsiaras, Stiller B. A deterministic QoE formalization of user satisfaction demands (DQX). IEEE 39th Conference on Local Computer Networks (LCN), 2014. C. 227–235.
100. Tsiaras C., Rosch M., Stiller B. VoIP-based Calibration of the DQX Model. Toulouse, France: 14th IFIP Networking Conference (Networking 2015).
101. Janowski L., Papir Z. Modeling subjective tests of quality of experience with a generalized linear model. San Diego, CA, USA: International Workshop on Quality of Multimedia Experience (QoMEX 2009).
102. Seufert M., Zach O., Hofffeld T., Slanina M., Tran-Gia P. Impact of Test Condition Selection in Adaptive Crowdsourcing Studies on Subjective Quality. Lisbon, Portugal: 8th Int. Workshop on Quality of Multimedia Experience (QoMEX 2016).
103. Katranaras E., Odarchenko R., Osman H., Patsouras I., et al. D7.4 Final integrated 5G-TOURS ecosystem and technical validation results. 5G-TOURS - ICT-19-2019. C. 21-26.
104. What is linear regression? [Электронный ресурс] // IBM – Режим доступа до ресурсу: <https://www.ibm.com/topics/linear-regression#:~:text=Resources,What%20is%20linear%20regression%3F,is%20called%20the%20independent%20variable>.
105. Bevans R. Multiple Linear Regression [Электронный ресурс] / Rebecca Bevans – Режим доступа до ресурсу: <https://www.scribbr.com/statistics/multiple-linear-regression/#:~:text=What%20is%20multiple%20linear%20regression,variables%20using%20a%20straight%20line>.
106. Pal M., Mather P.M. A comparison of decision tree and backpropagation neural network classifiers for land use classification. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). vol.1, no.1, pp. 503- 505, 2002.
107. Aung W.T., Saw Hla K.H.M. Random forest classifier for multi-category classification of web pages. IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference (APSCC), pp.372-376, 7-11 Dec. 2009.

108. The Top 10 Workplace Hazards and How to Prevent Them [Електронний ресурс] // Working Person's Enterprises – Режим доступу до ресурсу: <https://workingperson.me/the-top-10-workplace-hazards-and-how-to-prevent-them/>.

109. Improve your office microclimate and workers' wellbeing! [Електронний ресурс] // Level OfficeLandscape – Режим доступу до ресурсу: <https://www.levelofficelandscape.com/en/improve-your-office-microclimate-and-workers-wellbeing/>.

110. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

111. Lighting [Електронний ресурс] // An official website of the U.S. General Services Administration. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.gsa.gov/node/82715>.

112. Office Electrical Safety Tips [Електронний ресурс] // University of California, Davis campus. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://safetyservices.ucdavis.edu/news/office-electrical-safety>.

113. ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

114. НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин». Наказ Держгірпромнагляду від 26.03.2010р. № 65.

115. 9 ways to improve air quality in your office [Електронний ресурс] // ServiceMaster Clean – Режим доступу до ресурсу: <https://www.servicemasterclean.com/clean-blog/office-cleaning/9-ways-to-improve-air-quality-in-your-office/>.

116. Кравченко О. Охорона праці в офісі. Вимоги до робочого місця офісного працівника [Електронний ресурс] / Олена Кравченко – Режим доступу до ресурсу: <https://gc.ua/uk/oxorona-praci-v-ofisi-vimogi-do-robochogo-miscya-ofisnogo-pracivnika/>.

117. Jules S. Fire Safety in offices – All you need to know [Електронний ресурс] / Sarah Jules // CPD Online College. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://cpdonline.co.uk/knowledge-base/health-and-safety/fire-safety-in-offices-all-you-need-to-know/>.

118. Craighill J. Introducing - The Green Office Roadmap [Электронный ресурс] / Julia Craighill // Green Office Academy. – 2022. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.greenofficeacademy.com/the%20green%20office%20roadmap>.

119. Chashchyna A. The Future of the Office is the Green Office [Электронный ресурс] / Anna Chashchyna. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://sustainabilityexplored.medium.com/the-future-of-the-office-is-the-green-office-4eda6c81a168>.

120. Spira F. Sustainability Hub Model [Электронный ресурс] / Felix Spira. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: http://www.endslavery.va/content/endslavery/en/publications/youth_sdgs/spira.html.

121. Connolly C. Previous Award Winners - International Sustainable Campus Network [Электронный ресурс] / Clare Connolly. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: www.international-sustainable-campus-network.org.

122. rootAbility [Электронный ресурс] // UNESCO. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <https://en.unesco.org/prize-esd/2015laureats/rootAbility>.

Лістинг методу прогнозування даних

```
# Тренування моделі на історичних даних
import pandas as pd
# Read in data as a dataframe
features = pd.read_csv('data/DataSet.csv')
features.head(5)
features = pd.get_dummies(features)
# Extract features and labels
labels = features['QoE']
features = features.drop('QoE', axis = 1)
# List of features for later use
feature_list = list(features.columns)
# Convert to numpy arrays
import numpy as np
features = np.array(features)
labels = np.array(labels)
# Training and Testing Sets
from sklearn.model_selection import train_test_split
train_features, test_features, train_labels, test_labels = train_test_split(features, labels,
test_size = 0.25, random_state = 42)
print('Тренувальні набори:', train_features.shape)
print('Тренувальні мітки:', train_labels.shape)
print('Тестові набори:', test_features.shape)
print('Тестові мітки:', test_labels.shape)
# Нова базова лінія
import pandas as pd
# Read in data as pandas dataframe and display first 5 rows
original_features = pd.read_csv('data/DataSet.csv')
```

```

original_features = pd.get_dummies(original_features)
import numpy as np
# Labels are the values we want to predict
original_labels = np.array(original_features['QoE'])
# Remove the labels from the features
# axis 1 refers to the columns
original_features= original_features.drop('QoE', axis = 1)
# Saving feature names for later use
original_feature_list = list(original_features.columns)
# Convert to numpy array
original_features = np.array(original_features)
# Using Skicit-learn to split data into training and testing sets
from sklearn.model_selection import train_test_split
# Split the data into training and testing sets
original_train_features, original_test_features, original_train_labels, original_test_labels =
train_test_split(original_features, original_labels, test_size = 0.25, random_state = 42)
# Import the model we are using
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
# Instantiate model
rf = RandomForestRegressor(n_estimators= 1000, random_state=42)
# Train the model on training data
rf.fit(original_train_features, original_train_labels);
# Use the forest's predict method on the test data
predictions = rf.predict(original_test_features)
# Find the original feature indices
original_feature_indices = [feature_list.index(feature) for feature in feature_list if feature
not in['ws_1', 'prcp_1', 'snwd_1']]
# Create a test set of the original features
original_test_features = test_features[:, original_feature_indices]
# Make predictions on test data using the model trained on original data

```



```

baseline_predictions = rf.predict(original_test_features)
# Performance metrics
baseline_errors = abs(baseline_predictions - test_labels)
print('Метрики для тренувальних наборів Random Forest')
print('Похибка:', round(np.mean(baseline_errors), 2))
# Calculate mean absolute percentage error (MAPE)
baseline_mape = 100 * np.mean((baseline_errors / test_labels))
## Calculate and display accuracy
baseline_accuracy = 100 - baseline_mape
print('Точність:', round(baseline_accuracy, 2), '%.')
# Тренування на розширених наборах даних
# Instantiate random forest and train on new features
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
rf_exp = RandomForestRegressor(n_estimators= 1000, random_state=42)
rf_exp.fit(train_features, train_labels);
# Визначення показників для розширених наборів даних та функцій
Make predictions on test data
predictions = rf_exp.predict(test_features)
# Performance metrics
errors = abs(predictions - test_labels)
print('Metrics for Random Forest Trained on Expanded Data')
print('Average absolute error:', round(np.mean(errors), 4), 'degrees.')
# Calculate mean absolute percentage error (MAPE)
mape = np.mean(100 * (errors / test_labels))
# Compare to baseline
improvement_baseline = 100 * abs(mape - baseline_mape) / baseline_mape
print('Improvement over baseline:', round(improvement_baseline, 2), '%.')
# Calculate and display accuracy
accuracy = 100 - mape
print('Accuracy:', round(accuracy, 2), '%.')

```

```

# Γραφικ
# Get numerical feature importances
importances = list(rf_exp.feature_importances_)
# List of tuples with variable and importance
feature_importances = [(feature, round(importance, 2)) for feature, importance in
zip(feature_list, importances)]
# Sort the feature importances by most important first
feature_importances = sorted(feature_importances, key = lambda x: x[1], reverse = True)
# Print out the feature and importances
# [print('Variable: {:20} Importance: {}'.format(*pair)) for pair in feature_importances];
import matplotlib.pyplot as plt
# Reset style
plt.style.use('fivethirtyeight')
# list of x locations for plotting
x_values = list(range(len(importances)))
# Make a bar chart
plt.bar(x_values, importances, orientation = 'vertical', color = 'r', edgecolor = 'k', linewidth
= 1.2)
# Tick labels for x axis
plt.xticks(x_values, feature_list, rotation='vertical')
# Axis labels and title
plt.ylabel('Importance'); plt.xlabel('Variable'); plt.title('Variable Importances');
plt.show()
# List of features sorted from most to least important
sorted_importances = [importance[1] for importance in feature_importances]
sorted_features = [importance[0] for importance in feature_importances]
# Cumulative importances
cumulative_importances = np.cumsum(sorted_importances)
# Make a line graph
plt.plot(x_values, cumulative_importances, 'g-')

```

```

# Draw line at 95% of importance retained
plt.hlines(y = 0.95, xmin=0, xmax=len(sorted_importances), color = 'r', linestyle =
'dashed')
# Format x ticks and labels
plt.xticks(x_values, sorted_features, rotation = 'vertical')
# Axis labels and title
plt.xlabel('Variable'); plt.ylabel('Cumulative Importance'); plt.title('Cumulative
Importances');
plt.show()
# Find number of features for cumulative importance of 95%
# Add 1 because Python is zero-indexed
# print('Кількість параметрів для 95% важливості:', np.where(cumulative_importances >
0.95)[0][0] + 1)
# Extract the names of the most important features
important_feature_names = [feature[0] for feature in feature_importances[0:3]]
# Find the columns of the most important features
important_indices = [feature_list.index(feature) for feature in important_feature_names]
# Create training and testing sets with only the important features
important_train_features = train_features[:, important_indices]
important_test_features = test_features[:, important_indices]
## Sanity check on operations
# print('Важливі показники для тренувальних наборів:', important_train_features.shape)
# print('Важливі показники для тестових наборів:', important_test_features.shape)
rf_exp.fit(important_train_features, train_labels);
predictions = rf_exp.predict(important_test_features)
Performance metrics
errors = abs(predictions - test_labels)
print('Похибка:', round(np.mean(errors), 4))
# Calculate mean absolute percentage error
mape = 100 * (errors / test_labels)

```

```

# Calculate and display accuracy
accuracy = 100 - np.mean(mape)
print('Точність:', round(accuracy, 2), '%.')
#Use time library for run time evaluation
import time
# All features training and testing time
all_features_time = []
# Do 10 iterations and take average for all features
for _ in range(10):
    start_time = time.time()
    rf_exp.fit(train_features, train_labels)
    all_features_predictions = rf_exp.predict(test_features)
    end_time = time.time()
    all_features_time.append(end_time - start_time)
all_features_time = np.mean(all_features_time)
# print('Час виконання для тренувальних та тестових наборів:', round(all_features_time,
2), 'секунд.')
# Time training and testing for reduced feature set
reduced_features_time = []
# Do 10 iterations and take average
for _ in range(10):
    start_time = time.time()
    rf_exp.fit(important_train_features, train_labels)
    reduced_features_predictions = rf_exp.predict(important_test_features)
    end_time = time.time()
    reduced_features_time.append(end_time - start_time)
reduced_features_time = np.mean(reduced_features_time)
# print('Скорочення часу на:', round(reduced_features_time, 2), 'секунд.')
all_accuracy = 100 * (1 - np.mean(abs(all_features_predictions - test_labels) / test_labels))

```

```

reduced_accuracy = 100 * (1- np.mean(abs(reduced_features_predictions - test_labels) /
test_labels))
comparison = pd.DataFrame({'features': ['all (17)', 'reduced (5)'],
                           'run_time': [round(all_features_time, 2), round(reduced_features_time,
2)],
                           'accuracy': [round(all_accuracy, 2), round(reduced_accuracy, 2)]})
comparison[['features', 'accuracy', 'run_time']]
relative_accuracy_decrease = 100 * (all_accuracy - reduced_accuracy) / all_accuracy
print('Ідносне зниження точності:', round(relative_accuracy_decrease, 3), '%.')

relative_runtime_decrease = 100 * (all_features_time - reduced_features_time) /
all_features_time
print('Відносне зменшення часу роботи:', round(relative_runtime_decrease, 3), '%.')
# Порівняння графів
# Find the original feature indices
original_feature_indices = [feature_list.index(feature) for feature in
                             feature_list if feature not in
                             ['ws_1', 'prcp_1', 'snwd_1']]
# Create a test set of the original features
original_test_features = test_features[:, original_feature_indices]
# Time to train on original data set (1 year)
original_features_time = []
# Do 10 iterations and take average for all features
for _ in range(10):
    start_time = time.time()
    rf.fit(original_train_features, original_train_labels)
    original_features_predictions = rf.predict(original_test_features)
    end_time = time.time()
    original_features_time.append(end_time - start_time)

```

```

original_features_time = np.mean(original_features_time)
# Calculate mean absolute error for each model
original_mae = np.mean(abs(original_features_predictions - test_labels))
exp_all_mae = np.mean(abs(all_features_predictions - test_labels))
exp_reduced_mae = np.mean(abs(reduced_features_predictions - test_labels))
# Calculate accuracy for model trained on 1 year of data
original_accuracy = 100 * (1 - np.mean(abs(original_features_predictions - test_labels) /
test_labels))
# Create a dataframe for comparison
model_comparison = pd.DataFrame({'model': ['original', 'exp_all', 'exp_reduced'],
                                'error (degrees)': [original_mae, exp_all_mae, exp_reduced_mae],
                                'accuracy': [original_accuracy, all_accuracy, reduced_accuracy],
                                'run_time (s)': [original_features_time, all_features_time,
reduced_features_time]})
# Order the dataframe
model_comparison = model_comparison[['model', 'error (degrees)', 'accuracy', 'run_time
(s)']]
# Make plots
# Set up the plotting layout
fig, (ax1, ax2, ax3) = plt.subplots(nrows=3, ncols=1, figsize = (8,16), sharex = True)
# Set up x-axis
x_values = [0, 1, 2]
labels = list(model_comparison['model'])
plt.xticks(x_values, labels)
# Set up fonts
fontdict = {'fontsize': 18}
fontdict_yaxis = {'fontsize': 14}
# Error Comparison
ax1.bar(x_values, model_comparison['error (degrees)'], color = ['b', 'r', 'g'], edgecolor = 'k',
linewidth = 1.5)

```

```
ax1.set_ylim(bottom = 3.5, top = 4.5)
ax1.set_ylabel('Похибка', fontdict = fontdict_yaxis);
ax1.set_title('Модель порівняння похибки', fontdict= fontdict)
# Accuracy Comparison
ax2.bar(x_values, model_comparison['accuracy'], color = ['b', 'r', 'g'], edgecolor = 'k',
linewidth = 1.5)
ax2.set_ylim(bottom = 92, top = 94)
ax2.set_ylabel('Точність (%)', fontdict = fontdict_yaxis);
ax2.set_title('Модель порівняння точності', fontdict= fontdict)
# Run Time Comparison
ax3.bar(x_values, model_comparison['run_time (s)'], color = ['b', 'r', 'g'], edgecolor = 'k',
linewidth = 1.5)
ax3.set_ylim(bottom = 2, top = 12)
ax3.set_ylabel('Час виконання (с)', fontdict = fontdict_yaxis);
ax3.set_title('Модель порівняння часу виконання', fontdict= fontdict);
plt.show()
```