

Міністерство освіти і науки України
Одеська національна академія харчових технологій

На правах рукопису

КАЛЬЧЕНКО АНАСТАСІЯ СЕРГІЇВНА



УДК 621.391:681.5

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ СЕРВІСІВ В
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник:
Князева Ніна Олексіївна
доктор технічних наук, професор

Одеса – 2016

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА ЯКОСТІ СЕРВІСІВ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ	13
1.1. Особливості та історичний розвиток концепції NGN	13
1.2. Управління сервісами в NGN.....	18
1.2.1. Особливості управління сервісами в NGN	18
1.2.2. Методи оцінки і управління якістю сервісів в мережах наступного покоління	19
1.3. Методи врахування думки користувачів при оцінці якості сервісів	24
1.3.1. Всестороння оцінка якості сервісів	24
1.3.2. Оцінка якості сервісів на основі R-фактора і оцінок MOS	27
1.3.3. Моделі оцінки показників якості відповідно до рекомендацій MCE	29
1.3.4. Вимірювання параметрів QoS.....	31
1.3.5. Системний підхід до оцінки якості телекомунікаційних сервісів відповідно до вимог ETSI.....	36
1.4. Використання штучного інтелекту при оцінці й управлінні QoS	38
1.5. Визначення напрямків досліджень.....	40
Висновки до першого розділу	42
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА І ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ СЕРВІСІВ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ З ТОЧКИ ЗОРУ КОРИСТУВАЧІВ	43
2.1. Розробка методу оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю телекомунікаційних сервісів.....	43
2.2. Ієрархічна нечітка система оцінки якості сервісів з точки зору користувачів ..	51
2.3. Оцінка якості мультимедійного сервісу	57

2.4. Розробка методу оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю телекомунікаційних сервісів на основі використання ієрархічної нейронечіткої мережі	57
2.5. Визначення функцій приналежності для лінгвістичних змінних системи нечіткого продуктивного виведення	67
Висновки до другого розділу	75
РОЗДІЛ 3. УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ СЕРВІСІВ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ	77
3.1. Удосконалення структури системи забезпечення якості сервісів.....	77
3.2. Процедура роботи блоку аналізу	80
3.3. Забезпечення необхідної якості сервісів із застосуванням удосконаленого методу управління якістю сервісів	85
3.4. Метод формування загальної оцінки якості сервісів для мереж з розподіленим принципом управління	95
3.5. Удосконалення методу управління якістю сервісів для MPLS	98
3.6. Формування загальної оцінки якості сервісів для мережі з розподіленим принципом управління.....	112
Висновки до третього розділу:.....	114
РОЗДІЛ 4. МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ СЕРВІСІВ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ	116
4.1. Постановка задачі експерименту	116
4.2. Створення графічного інтерфейсу системи.....	119
4.3. Моделювання ієрархічної нечіткої системи визначення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів.....	129
4.4. Моделювання ієрархічної нейронечіткої системи визначення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів.....	133
4.5. Моделювання методу формування загальної оцінки якості сервісів в мережі з розподіленим принципом управління	143
Висновки до четвертого розділу.....	144
ВИСНОВКИ.....	146

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	149
ДОДАТОК А. – Анкета.....	165
ДОДАТОК Б. – Результати опитування користувачів	168
ДОДАТОК В. – Листок оцінки якості управління та надання інтелектуальних сервісів інтелектуальної надбудовою NGN з позиції різних учасників процесу	174
ДОДАТОК Г. – Порівняння результатів моделювання з використанням нечіткої та нейронечіткої систем	175
ДОДАТОК Д. – Функції реалізації зв'язків між рівнями ієрархічної нечіткої системи	178
ДОДАТОК Е. – Акти впровадження	181

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

PSTN – Public Switched Telephone Network

IDN – Integrated Digital Network

ISDN – Integrated Service Digital Network

IN – Intelligent Network

NGN – Next Generation Network

FN – Future Network

SSP – Service Switching Point

SCP – Service Control Point

SN – Service Node

SMP – Service Managment Point

IP – Internet Protocol

CSCF – Call Session Control Function

IMS – IP Multimedia Subsystem

SIP – Session Initiation Protocol

SDP – Service Delivery Platform

3GPP – 3'rd Generation Partnership Project

GPRS – General Packet Radio Service

MOS – Mean Opinion Score

QoS – Quality of Service

QoE – Quality of Experience

NP – Network Perfomance

FIS – Fuzzy Inference System

GUI – Graphical User Interface

TKM – Телекомунікаційна мережа

MCE – Міжнародний союз електрозв'язку

ІНС – Ієрархічна нейронечітка Система

ВСТУП

Актуальність теми. Стрімкий розвиток і поширення інфокомунікаційних технологій набуває сьогодні характер глобальної інформаційної революції. У користувачів з'явилася потреба в сервісах зв'язку, які можна було б гнучко налаштовувати. Мережі наступного покоління (Next Generation Networks, NGN) – сучасний етап розвитку телекомунікаційних мереж (ТКМ) – являють собою єдину транспортну платформу, на базі якої об'єднуються різні види сервісів. Одним з основних аспектів, який повинен братися до уваги при проектуванні NGN, є забезпечення відповідної якості обслуговування. З впровадженням мультисервісних мереж переважаючим стає підхід до завдання рівня обслуговування на підставі вимог самих користувачів до якості сервісів, що потребує вдосконалення методів управління якістю сервісів в ТКМ.

Аналіз робіт вітчизняних і зарубіжних учених щодо управління якістю сервісів в ТКМ свідчить про необхідність удосконалення методів управління якістю сервісів. Серед зарубіжних і вітчизняних авторів, які вирішували окремі завдання в цій галузі, можна відзначити наступних: Гольдштейн Б., Гольдштейн О., Тихвинський В., Вегешна Ш., Приходько С.І., Рассомахін С.Г., Соколов М., Атцик О., Князева Н., Стеклов В., Макаров В., Фергюсон П., Хастон Р., Росляков А., Острох С., Єфремов О., Dogman A., Ibarolla E., Saatchi R., Jaber M., Combaz J., Strus L., Fernandez J., Golmohammadi A., Jahandideh B., Larijani H. та інші.

Слід відмітити, що в роботах по управлінню якістю телекомунікаційних сервісів (ТКС) переважно приділяється увага технічним показникам якості сервісів, в той час як на сьогоднішній день актуальною є розробка ефективних методів урахування думки користувача при управлінні якістю сервісів. Існуючі суб'єктивні методи оцінки якості ТКС, такі як MOS / R-фактор, враховують якість переданої медіа-інформації на підставі експертних оцінок, але не забезпечують повну оцінку якості сервісу користувачем. Рекомендації ІТУ-Т описують різні точки зору на якість сервісу, проте не надають конкретних методів оцінки і управління якістю ТКС з урахуванням думки користувача.

Саме невирішеність задачі всесторонньої оцінки якості сервісів в ТКМ наступного покоління визначили мету, загальну науково-технічну задачу дисертації, частинні задачі досліджень і зміст даної дисертаційної роботи.

Науково-технічна задача дисертації – розробка і вдосконалення методів управління якістю сервісів в телекомунікаційних мережах.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження в дисертаційній роботі проводились згідно з такими нормативними актами:

1. Концепція Національної програми інформатизації, схвалена Законом України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» від 4 лютого 1998 р., №75/98-ВР (із змінами, внесеними згідно із Законом N406-VII(406-18) від 04.07.2013).

2. Концепція розвитку телекомунікацій в Україні, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 7 червня 2006 р., N 316-р (із змінами, внесеними згідно з Розпорядженням КМ N 1612-р (1612-2008-р) від 27.12.2008).

3. Державна науково-технічна програма «Створення перспективних телекомунікаційних систем та технологій».

4. Постанова про затвердження Правил надання та отримання телекомунікаційних сервісів від 11 квітня 2012 р. № 295 (із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 251 від 29.04.2015).

5. Стратегія сталого розвитку "Україна – 2020", схвалена Указом Президента України від 12 січня 2015 року № 5/2015.

6. Тема дисертаційної роботи пов'язана з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки, наведеними в «Переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року», затвердженому Постановою Кабінету міністрів України № 942 від 7 вересня 2011 р. (із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 556 від 23 серпня 2016 р.).

Дослідження, результати яких викладені в дисертації, проводились згідно з державними планами НДР, які виконуються на кафедрі комп'ютерної інженерії Одеської національної академії харчових технологій.

– «Принципи створення інтелектуальної надбудови в мережах наступного покоління» (Одеська національна академія харчових технологій, ДР № 0115U000286 МК 15-05, 2015 р.);

– «Підвищення ефективності функціонування телекомунікаційних мереж» (Одеська національна академія харчових технологій, ДР № 0115U004197 МК 15-07, 2015 р.);

Участь автора у зазначених науково-дослідних темах та проектах, в яких дисертант був безпосереднім виконавцем, полягає в дослідженні та удосконаленні методів урахування думки користувача при управлінні якістю ТКС.

Мета та задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є підвищення якості сервісів в ТКМ з урахуванням думки користувача.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити сформульовану в роботі загальну науково-технічну задачу дисертації. У свою чергу, для вирішення загальної науково-технічної задачі дисертації необхідно вирішити наступні частинні наукові задачі досліджень:

1. Дослідити принципи побудови NGN та проаналізувати існуючі методи управління якістю сервісів в NGN.
2. Дослідити існуючі методи врахування думок користувачів відносно якості сервісів.
3. Розробити метод оцінки ступеня задоволеності користувача якістю ТКС.
4. Удосконалити метод управління якістю сервісів в ТКМ, який дозволяє враховувати думку користувачів.
5. Удосконалити метод управління якістю сервісів для MPLS з урахуванням думок користувачів.
6. Удосконалити метод формування загальної оцінки якості сервісів з урахуванням думки користувача для мереж з розподіленим принципом управління.
7. Розробити імітаційні моделі методів управління якістю сервісів в ТКМ.

Об'єкт досліджень – процес управління якістю сервісів в ТКМ.

Предмет досліджень – принципи, методи і моделі, що використовуються для управління якістю сервісів в ТКМ з урахуванням думки користувача.

Методи досліджень. Під час вирішення частинних задач дисертації використовувались методи системного підходу, методи нечіткої логіки та нейронних мереж, методи алгоритмічного моделювання, методи дослідження операцій, якісні методи системного аналізу, методи імітаційного моделювання та аналізу. Так, при розробці методу оцінки ступеня задоволеності користувача якістю ТКС використовувались методи системного підходу, методи нейронних мереж і нечіткої логіки. При удосконаленні методів управління якістю сервісів в ТКМ і в MPLS використовувались методи алгоритмічного моделювання та елементи методів дослідження операцій. При удосконаленні методу формування загальної оцінки якості сервісів з урахуванням думки користувачів в мережах з розподіленим принципом управління використовувались якісні методи системного аналізу. При розробці імітаційних моделей методів управління якістю сервісів використовувались елементи імітаційного моделювання та аналізу.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. **Уперше розроблено** метод оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю телекомунікаційних сервісів, який на підставі використання ієрархічної нейронечіткої мережі дозволяє отримати всесторонню оцінку якості сервісів, а також виконати моделювання реакції користувача на зміни значень показників якості.

2. **Удосконалено** метод управління якістю сервісів в телекомунікаційних мережах, який, на відміну від відомих, на основі використання функції відповідності якості сервісів еталонному значенню та врахування співвідношення ефекту від покращення якості сервісів до необхідних для цього витрат, дозволяє підтримувати якість сервісів на рівні, який задовільняє користувачів.

3. **Удосконалено** метод формування загальної оцінки якості сервісів для мереж з розподіленим принципом управління за рахунок введення вагових коефіцієнтів для сегментів мережі, який, на відміну від відомих, дозволяє враховувати думку користувачів.

4. **Удосконалено** метод управління якістю сервісів в MPLS, який, на відміну від відомих, дозволяє налаштовувати значення показників якості у межах допустимих класів обслуговування, а також прогнозувати необхідний розвиток мережі.

Практичне значення отриманих результатів досліджень полягає в наступному.

1. Застосування удосконаленого методу управління якістю телекомунікаційних сервісів дозволить операторам телекомунікацій підвищити значення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів на приблизно 6%.

2. Застосування операторами телекомунікацій удосконаленого методу управління якістю сервісів в MPLS навіть при впливі лише на 2 показники якості з 22, дозволить підвищити значення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів більше ніж на 3%.

3. Результати дисертаційної роботи знайшли практичне застосування в науково-дослідній роботі Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики Одеської національної академії харчових технологій.

4. Ряд положень дисертаційної роботи використані у науково-технічній діяльності Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут радіо та телебачення» (ДП УНДІРТ), зокрема при проведенні НДР «Проведення досліджень, спрямованих на забезпечення застосування Технічного регламенту щодо радіообладнання і телекомунікаційного кінцевого (термінального) обладнання» (№ДР 0113U005476).

5. У середовищі MATLAB розроблено імітаційні моделі методів управління якістю сервісів в ТКМ.

Результати наукових досліджень впроваджено в науково-дослідній та навчальній роботі Навчально-наукового інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В. С. Мартиновського Одеської національної академії харчових технологій, у проектній роботі Державного підприємства ДП УНДІРТ, що є головним галузевим інститутом, який відповідає за науково-технічне забезпечення галузі та координує проведення системних досліджень науково-дослідних організацій та підприємств Держспецзв'язку та захисту інформації України, що підтверджується відповідними актами впровадження.

Особистий вклад автора полягає в розробці та вдосконаленні методів управління якістю сервісів в ТКМ. Отримані наукові результати забезпечують

вирішення поставлених у дисертації частинних задач досліджень. Усі основні наукові та практичні результати дисертації отримані особисто автором. Роботи [1-5, 8, 10-13, 15-17] опубліковані без співавторів. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: обґрунтування важливості врахування думки користувача при оцінюванні якості ТКС [6], удосконалення методу оцінки якості за рахунок використання методів нечіткої логіки [7], удосконалення системи забезпечення якості сервісів в ТКМ за рахунок введення ієрархічної нечіткої системи [9], удосконалення методу управління якістю сервісів шляхом корекції показників якості з урахуванням обмежень ресурсів мережі [14].

Апробація результатів дисертації. Основні результати наукових досліджень дисертації доповідалися, обговорювалися та були схвалені на міжнародних науково-технічних конференціях: XII, XV Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих учених, аспірантів та студентів “Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій” (м. Одеса, Україна, 2012 р., 2015 р. відповідно); студентська науково-технічна конференція «Actual problems in professional sphere» (м. Одеса, Україна, 2012 р.); XI Всеукраїнська науково-технічна конференція «Математичне моделювання та інформаційні технології» (м. Одеса, Україна, 2012 р.); 17-й Международный молодежный форум «Перспективы развития телекоммуникационных и информационно-измерительных технологий» (м. Харків, Україна, 2013 р.); 73, 75 наукова конференція «Науково-педагогічного складу академії» Одеської національної академії харчових технологій «Всеукраїнська науково-технічна конференція «Математичне моделювання та інформаційні технології» (м. Одеса, Україна, 2013 р., 2015 р. відповідно); XVI-th Joint International Scientific Events on Informatics Dedicated to XX-th anniversary of IJ ІТА «ІТА 2013» (м. Варна, Болгарія, 2013 р.); International Scientific Event «Natural, Mathematical and Technical science NaMaTech-2013, NaMaTech-2015» (м. Будапешт, Угорщина, 2013 р., 2015 р. відповідно); VII Міжнародна школа-семінар «Теорія прийняття рішень ТПР-14» (м. Ужгород, Україна, 2014 р.); XII Всеукраїнська науково-технічна конференція «Математичне моделювання та інформаційні технології» (м. Одеса, Україна, 2014 р.); П'ята міжнародна наукова конференція студентів та молодих науковців «Сучасні

інформаційні технології 2015» (м. Одеса, Україна, 2015 р.); Третя міжнародна науково-практична конференція "Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи) ComInt-2015" (м. Черкаси, Україна, 2015 р.); XIII Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп'ютерної інженерії», TCSET'2016 (сmt.Славське, Україна, 2016 р.).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковано в 17 друкованих роботах: 7 статей у Міжнародних науково-теоретичних журналах, з яких 3 статті у зарубіжних журналах «Science and Education a new Dimension, Natural and Technical Science» [1, 2] та «Information Models and Analyses»[3], 3 статті у фахових журналах [4, 5, 6], 1 стаття у збірнику наукових праць [7], 10 тез доповідей у збірниках науково-технічних конференцій [8-17].

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків по дисертації, списку використаної літератури та 6 додатків. Повний обсяг дисертації складає 186 сторінок, у тому числі: 148 сторінок основного тексту, бібліографія із 163 найменувань на 16 сторінках, 6 додатків на 22 сторінках. Дисертація написана українською мовою.

РОЗДІЛ 1.

ОЦІНКА ЯКОСТІ СЕРВІСІВ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

1.1. Особливості та історичний розвиток концепції NGN

В історичному розвитку мереж і сервісів зв'язку можна виділити наступні етапи: PSTN, IDN, ISDN, IN, NGN, FN [18-24].

Перший етап – побудова телефонної мережі загального користування PSTN (Public Switched Telephone Network). Телефонний зв'язок ототожнювався з єдиним сервісом – передачею мовних повідомлень. Надалі через телефонні мережі за допомогою модемів стала здійснюватися передача даних.

Другий етап – цифровізація телефонної мережі, були створені інтегральні цифрові мережі IDN (Integrated Digital Network), які також в основному надавали сервіси телефонного зв'язку на базі цифрових систем комутації та передачі.

Третій етап – інтеграція сервісів: з'явилася концепція цифрової мережі з інтеграцією служб ISDN (Integrated Service Digital Network). У процесі розвитку мереж зв'язку особлива увага стала приділятися додатковим сервісам. Саме тому інтеграція сервісів починає замінюватися концепцією інтелектуальної мережі.

Четвертий етап – інтелектуальна мережа IN (Intelligent Network). Принципова відмінність інтелектуальної мережі від попередніх мереж – в гнучкості й економічності надання сервісів.

Вивченню інтелектуальних мереж присвячена велика кількість робіт [23, 25-26]. Реалізація інтелектуальних сервісів (IC) здійснюється на базі вузлів служб та / або вузлів управління сервісами [23, 25-26]:

– вузол управління сервісами (Service Control Point – SCP) – спеціалізований вузол зв'язку, що здійснює управління наданням сервісів відповідно до концепції інтелектуальної мережі зв'язку і належить оператору мережі зв'язку;

– вузол служб (Service Node – SN) – спеціалізований вузол мережі зв'язку, який здійснює надання IC і належить постачальнику сервісів.

У класичних інтелектуальних мережах зв'язку IN вузол управління сервісами SCP відділений від вузла комутації сервісів SSP (Service Switching Point). Така

архітектура IN дозволила операторам зв'язку надавати послуги своїм абонентам, навіть якщо вони здійснюють дзвінки з іншої мережі (роумінг послуг) [28]. Вузли спрощеної схеми IN розміщені на трьох рівнях ієрархії: вузол комутації сервісів SSP з інтелектуальною периферією IP; вузол управління сервісами SCP з вузлом даних сервісу (базою даних) SDP; вузол менеджменту сервісів SMP з вузлом створення сервісів SCEP (рис. 1.1) [23].

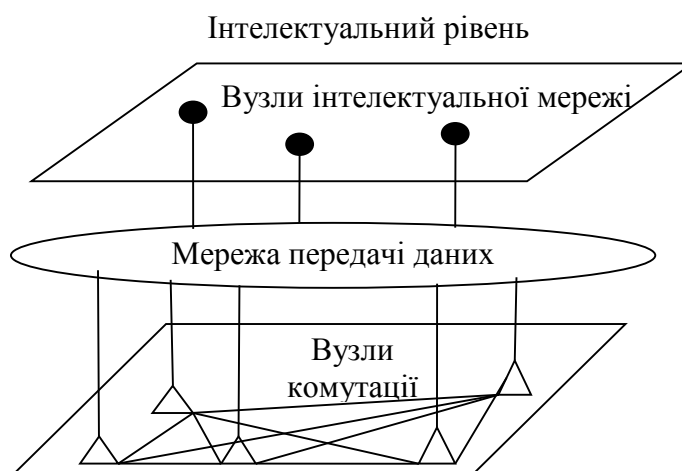


Рис. 1.1. Концептуальна модель IN

У комп'ютерах SCP поряд з базою даних була запрограмована і так звана логіка сервісу, що складається зі сценаріїв, що описують даний сервіс [29]. Саме з цього історичного моменту логіка сервісу почала переміщатися за межі АТС, що й склало суть концепції IN. Однак концепція IN не принесла бажаного різноманіття сервісів через складність протоколу між SCP і SSP [30].

Подальшим розвитком стала поява мереж зв'язку наступного покоління [31-35]. Основу NGN складає мультипротокольна мережа – транспортна мережа зв'язку, що входить до складу мультисервісної мережі, та забезпечує перенесення різних типів інформації з використанням різних протоколів передачі [36]. С.І. Отрох та О.С. Єфремов привели класифікацію існуючого обладнання, описали його основні характеристики і вказали необхідні протоколи і інтерфейси [37]. Крім того вони проаналізували архітектуру мережі наступного покоління. Архітектурі та обладнанню присвячені роботи А.Б. Гольдштейна та А. Атцика [22]. У роботах А.Б. Гольдштейна особлива увага приділяється програмному комутатору, його основним

функціям і характеристикам [38]. Разом з Н.А. Соколовим А. Б. Гольдштейн провели аналіз архітектури NGN і визначили її особливості [39-40].

NGN є єдиною транспортною платформою, на базі якої об'єднуються різні види сервісів. Ключовими особливостями NGN є [41]:

- використання режиму комутації пакетів для передачі даних;
- поділ функцій управління на функції, пов'язані з управлінням транспортом, управлінням викликами / сесіями та додатками / сервісами;
- відокремлення процесу надання сервісів від процесу транспорту, використання відкритих інтерфейсів;
- підтримка великого набору сервісів, додатків і механізмів, заснованих на конструктивних блоках, включаючи потокові сервіси, сервіси в режимі реального і нереального часу, мультимедійні сервіси;
- підтримка широкосмугових технологій з наскрізним («від краю до краю», end-to-end) забезпеченням якості обслуговування;
- одні й ті самі характеристики для однакових з точки зору користувача сервісів;
- конвергенція сервісів мобільних і фіксованих мереж;
- незалежність сервісо-орієнтованих функцій від використовуваних транспортних технологій та ін.

Концепція NGN відокремлює не тільки сервіси SCP від управління з'єднанням SSP, а й управління з'єднанням SSP від транспорту [36-40]. Представлена на рис. 1.2 [32]. Вводяться нові елементи мережі: програмний комутатор Softswitch, або функція управління викликами і сесіями CSCF (Call Session Control Function) в IMS (IP Multimedia Subsystem), які, з одного боку, управляють з'єднанням, а з іншого – взаємодіють з серверами надання сервісів по SIP протоколу (Session Initiation Protocol). У термінах NGN платформа надання інтелектуальних сервісів називається SDP (Service Delivery Platform). Основа ідеології NGN – це відкриті стандарти консорціуму 3GPP (3'rd Generation Partnership Project).

Є дві концепції переходу до мереж NGN зі своїми позитивними і негативними сторонами [42]:

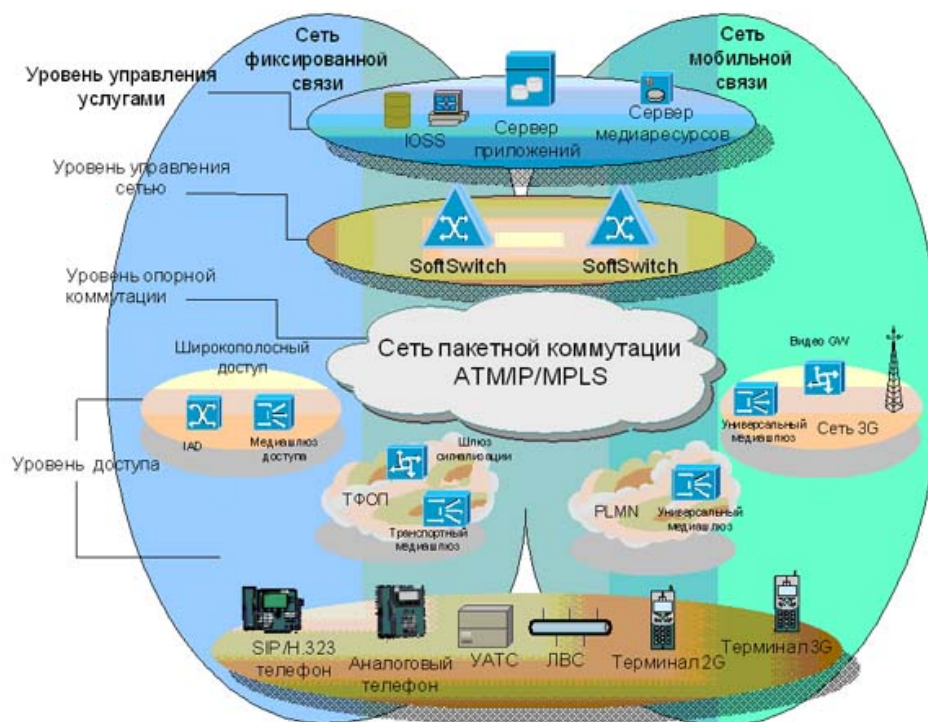


Рис. 1.2. Архітектура NGN

- оператори будують відразу NGN мережу на базі IMS (IP Multimedia Subsystem);
- оператори спочатку впроваджують в існуючі мережі програмні комутатори (Softswitch), потім здійснюють поступовий перехід на IMS.

Основна відмінність цих підходів у тому, що IMS – це повністю IP мережа і доступ до неї відбувається за допомогою 3G телефонів, з підтримкою Wi-Fi, широкосмугового Інтернету, GPRS. Програмний комутатор Softswitch призначений для конвергентних мереж і його основна функція – це управління медіашлюзами. Доступ до таких мереж відбувається за допомогою звичайних телефонних ліній, які підключаються до медіашлюзів, а маршрутизація виклику, управління з'єднанням, надання додаткових голосових сервісів відбувається в IP мережі [43].

Ідеологія побудови NGN забезпечує можливість надання абонентам сервісів Triple-Play (передача мови, даних і відео) на базі мультисервісних мереж, створюваних шляхом модернізації існуючих мереж електрозв'язку [44-45].

Згідно рекомендації MCE-T Y.3001, мережа майбутнього (future Network, FN) – це мережа, здатна надавати сервіси, можливості й засоби, які важко надати з використанням існуючих мережевих технологій.

На рис. 1.3 зображено взаємозв'язки між чотирма цільовими установками і дванадцятьма цілями проектування FN [46].



Рис. 1.3. Чотири цільові установи і дванадцять задач проектування майбутніх мереж

Рекомендується, щоб FN надавали сервіси, функції яких спроектовані у відповідності до потреб додатків і користувачів. Очікується, що в майбутньому кількість і різноманіття сервісів будуть стрімко рости. Також рекомендується, щоб FN забезпечували можливість впровадження цих сервісів, не вимагаючи, наприклад, істотного додаткового розгортання і збільшення експлуатаційних витрат.

Так як сучасним етапом розвитку телекомунікаційних мереж є саме NGN, прийнято рішення орієнтуватися в роботі на дані мережі. З огляду на складність побудови IMS, в подальшому в роботі під мережею NGN буде матися на увазі мережу з використанням Softswitch.

1.2. Управління сервісами в NGN

1.2.1. Особливості управління сервісами в NGN

Концепція NGN багато в чому спирається на технічні рішення, вже розроблені міжнародними організаціями стандартизації. Так, взаємодію серверів в процесі надання сервісів передбачається здійснювати на базі протоколів, специфікованих IETF (MEGACO), ETSI (TIPHON), форумом 3GPP2 і т.п. Для управління сервісами використовуються протоколи H.323, SIP та підходи, що застосовуються в інтелектуальних мережах зв'язку [47]. Роботи вітчизняних і зарубіжних вчених щодо управління якістю сервісів в мережах наступного покоління свідчать про необхідність удосконалення системи управління сервісами [48-52].

Деякі аспекти управління сервісами розглядаються в роботах В. Тихвинського, С. Терентьєва, В. Стеклова, Л. Беркман, Н.Князевої, М. Катал, І. О. Асауленко, С.І. Приходько, О. С. Жученко, М. Ю. Самсонова та ін [53-63]. Напрацювання в даній сфері зроблені також Е. Штейнбергом. У його роботах увага приділяється розподіленним системам управління в інтелектуальних мережах. В [52] на підставі моделювання процесів функціонування ЦСУ і децентралізованої системи управління (ДСУ) проведено порівняльний аналіз ЦСУ з ДСУ. При інтенсивності надходження заявок, меншої інтенсивності їх обслуговування на сервері, більш якісно функціонує ЦСУ. При інтенсивності надходження заявок, рівною або більшою, ніж інтенсивність їх обслуговування на сервері, краще застосовувати ДСУ.

На рис. 1.2 представлено ієрархію мережевої інфраструктури: рівень опорної комутації, рівень управління комутацією і передачею інформації, рівень управління сервісами, рівень доступу. Завдання рівня опорної комутації – комутація з'єднань і прозора передача інформації. Рівень управління комутацією і передачею служить для обробки сигнальних команд, маршрутизації викликів й управління потоками. Рівень управління сервісами містить в собі логіку надання сервісів і доступу до додатків. Рівень доступу надає широкий набір інтерфейсів для підключення до сервісів мережі. Мережу наступного покоління, відповідно до Рекомендації Y.2011 [53], можна представити у вигляді дворівневої моделі:

– рівень сервісів (NGN Service Stratum), де реалізуються функції передачі призначених для користувача даних і функції управління та підтримки ресурсів, необхідних для надання сервісів;

– транспортний рівень (NGN Transport Stratum), який реалізує функції управління і експлуатаційної підтримки транспортних ресурсів для передачі даних між термінальними пристроями.

Функції управління сервісами (service control functions, SCF) включають управління ресурсами, функції реєстрації, аутентифікації та авторизації для різних сервісів на рівні сервісів. Вони також можуть включати функції управління медіаресурсами, такими як спеціалізовані пристрої та шлюзи на сигнальному рівні. Функції управління сервісами підтримують профілі сервісів користувачів, які являють собою комбінацію користувальницької інформації та інших даних управління, що утворює індивідуальний профіль кожного користувача і об'єднані у функціональні бази даних. Функції адміністративного управління (management functions) забезпечують можливість управляти мережею NGN для надання сервісів з заданим рівнем якості, безпеки і надійності. Ці функції розподіляються децентралізовано по всіх функціональних блоках (FE) і взаємодіють з функціональними блоками управління мережевими елементами, управління мережею і управління сервісами. Функції адміністративного управління використовуються на транспортному рівні і рівні сервісів.

Завдяки розподілу транспортного рівня та рівня сервісів, можлива реалізація NGN з використанням різних вже існуючих транспортних мереж, що значно розширює можливості розгортання мережі та впровадження нових сервісів. При розробці методів управління якістю сервісів в телекомунікаційних мережах наступного покоління слід брати до уваги ці особливості архітектури мережі.

1.2.2. Методи оцінки і управління якістю сервісів в мережах наступного покоління

Одними з найбільш актуальних питань при наданні сервісів зв'язку є питання якості обслуговування. Високий рівень якості важливий як для користувача, так і для

постачальника сервісів, при цьому важливим є гарантованість якості надаваних сервісів, коли користувач має можливість вибирати необхідний йому рівень обслуговування, а постачальник сервісів приймає на себе зобов'язання цей рівень забезпечити.

До питань якості обслуговування для всіх сервісів, що підтримуються мережею NGN, зверталися такі автори як П. Фергюсон, Р. Хастон. Регулювання різнорідних потоків трафіку розглядали такі автори Я. Ванг, С. Патек, Е. Лібехерр. Питання якості розглядаються в рекомендаціях ІТУ-Т [63-65].

Оцінка якості в мережі наступного покоління здійснюється на трьох рівнях:

- на рівні користувача оцінюються показники суб'єктивного судження людини, наприклад суб'єктивна оцінка якості сприйняття окремого виду інформації;
- на рівні сервісів оцінюються різні аспекти якості сервісу, такі як швидкість передачі даних, механізми кодування і багато іншого;
- на транспортному рівні оцінюється якість функціонування мережі: затримки, втрати, варіація затримки і т. д.

У роботі Тихвинского В.О. наведено трирівневу модель оцінки якості і відповідні параметри оцінки (рис. 1.4) [47].



Рис. 1.4. Трирівнева модель оцінки якості

На кожному рівні визначено відповідні параметри оцінки якості: показники якості сприйняття (Quality of Experience, QoE) на рівні користувача, показники якості обслуговування (Quality of Service, QoS) на рівні сервісів та показники якості функціонування мережі (Network Performance, NP) на транспортному рівні .

З огляду на усталену практику під терміном *якість телекомунікаційних сервісів* слід розуміти сукупність користувальницьких властивостей та показників сервісу, які визначають здатність задовольнити встановлені або прогнозовані потреби користувача телекомунікаційних сервісів [66].

Говорячи про ступінь задоволення потреб користувачів телекомунікаційних сервісів, крім якості телекомунікаційних сервісів, слід мати на увазі, що, виходячи з вимог стандартів ISO серії 9000: 2000, до операторів і провайдерів пред'являються додаткові вимоги щодо їх забезпечення [59]. В даному випадку мова йде про якість обслуговування користувача телекомунікаційних сервісів з боку операторів і провайдерів телекомунікацій.

У роботах Катал М. проведено аналіз і порівняння методів контролю QoS в мережах наступного покоління. Традиційно контроль якості сервісів (QoS) всередині мереж телекомунікацій проводився за допомогою комбінації найкращого сервісу доставки даних, збереженням мережевих ресурсів (IntServ) або маркуванням пакета даних (DiffServ) в маршрутах передачі даних [60]. Однак розвиток проектів структур телекомунікаційних мереж наступного покоління (NGN) робить цей підхід нежиттєздатним.

При управлінні якістю сервісів необхідно враховувати особливості додатків. Рекомендація Y.1541 встановлює відповідність між класами якості обслуговування і додатками [54]:

- Клас 0 – додатки реального часу, чутливі до джиттеру, що характеризуються високим рівнем інтерактивності (VoIP, відеоконференції);
- Клас 1 – додатки реального часу, чутливі до джиттеру, інтерактивні (VoIP, відеоконференції);
- Клас 2 – транзакції даних, що характеризуються високим рівнем інтерактивності (наприклад, сигналізація);

- Клас 3 – транзакції даних, інтерактивні;
- Клас 4 – додатки, що допускають низький рівень втрат (короткі транзакції, масиви даних, потокове відео);
- Клас 5 – традиційні застосування мереж IP.

Управлінню якістю сервісів в мережах наступного покоління присвячені роботи В.О.Тихвінського і С.В. Терентьєва. Однак в цих роботах також не розроблено методи врахування думки користувачів при управлінні якістю сервісів, що дозволять підтримувати ступінь задоволеності користувачів якістю сервісів на необхідному рівні. Норми для характеристик мереж IP з розподілом по класах якості обслуговування наведені в табл. 1.1 [47].

Таблиця 1.1

Норми для характеристик мереж IP з розподілом по класах QoS

Мережеві характеристики	класи QoS					
	0	1	2	3	4	5
Затримка доставки пакета IP, IPTD	100 мс	400 мс	100 мс	400 мс	1 з	Н
Варіація затримки пакета IP, IPDV	50 мс	50 мс	Н	Н	Н	Н
Коефіцієнт втрати пакетів IP, IPLR	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	Н
Коефіцієнт помилок пакетів IP, IPER	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	Н
Примітка: Н – не нормовано						

Застосування різних механізмів забезпечення QoS в пакетних мережах наступного покоління визначають кілька міжнародних інститутів стандартизації в області NGN: ETSI TISPAN, ITU-T, MultiService Forum, 3GPP, IP / MPLS Forum, Broadband Services Forum [66-77]. Мережеві моделі забезпечення QoS приведено в табл. 1.2.

Слід зазначити, що цілі досліджень міжнародних інститутів однакові, але рух до них спостерігається з "різних сторін". Форум MSF "рухається" від транспортного рівня до рівня сервісів, з усіх міжнародних інститутів його рекомендації носять найбільш практичний характер і ґрунтуються на використанні діючих протоколів і мережевих технологій. Однак рекомендації MSF охоплюють в основному лише транспортні мережі.

Порівняння мережевих моделей забезпечення QoS

Розробник моделі QoS	Елементи управління				Методи забезпечення QoS
	Трансп. мережа	Міжмережеві шлюзи	Мережа доступу	Устаткування користувача	
ETSI TISPA	-	+	+	-	IntServ, DiffServ
ITU-T	+	+	+	-	IntServ, DiffServ
MSF	+	+	-	-	MPLS, RSVP, IPv6
3GPP	-	+	+	-	InlServ, DiffServ
IP / MPLS F	+	+	+	+	IP / MPLS
BSF	-	-	+	-	IntServ, DiffServ

ETSI TISPA в своїх розробках навпаки "рухається" від рівня сервісів і мережевого управління до транспортного рівня [22]. TISPA представляє всебічно пропрацьовану концепцію побудови підсистеми IMS, але питання забезпечення якості вирішені лише в загальному вигляді і не охоплюють всі складові транспортного рівня конвергентних мереж. В основному сфера розробки обмежується мережею доступу і міжмережевими шлюзами.

Враховуючи відсутність на сьогоднішній день єдиного стандарту оцінки та управління QoS, доцільно розглянути різні підходи. У радіомережах GERAN і UTRAN механізми забезпечення вимог QoS розділені на площину управління C-plane і площину користувача U-plane (рис. 1.5) [47].



Рис. 1.5. Механізми управління QoS

Функції площини управління здійснюють управління новими з'єднаннями, вибір відповідних способів передачі та алгоритмів захисту від помилок, розподіл існуючих радіоресурсів. Крім того, площина управління здійснює підтримку узгодженого профілю QoS протягом всього часу обслуговування. При цьому мережі радіодоступу RAN (Radio Access Network) мають бути здатні реагувати на перевантаження і погіршення якості QoS [47]. Основним завданням управління є прогнозування (екстраполяція) параметрів QoS, що дозволяє здійснити передбачуване обслуговування різних типів трафіку незалежно від того, передається інший трафік через мережу в даний час чи ні. При цьому RAN розподіляють ресурси між пакетами трафіку з різними вимогами до часу очікування, джиттеру, швидкості передачі даних і / або різними вимогами до втрати пакетів [56].

З усіх розглянутих тільки модель MCE-T є найповнішою, охоплює всі площини і мережеві складові NGN. Вона не тільки включає рішення ETSI TISPAN, а й доповнює їх. Однак роботи MCE-T носять загальний характер, тому використання даної моделі на практиці ускладнено. Тому необхідно вдосконалення методів управління якістю сервісів з використанням рекомендацій ITU-T і розробка конкретних процедур реалізації процесу забезпечення якості сервісів в телекомунікаційних мережах наступного покоління з урахуванням думки користувачів.

1.3. Методи врахування думки користувачів при оцінці якості сервісів

1.3.1. Всестороння оцінка якості сервісів

Одним з основних аспектів, який повинен братися до уваги при проектуванні мереж NGN, є забезпечення якості обслуговування. Питання забезпечення якості сервісів зв'язку є актуальними, і в даний час цим питанням займається близько 12 великих міжнародних організацій, включаючи: ITU-T, ETSI, 3GPP, DSL Forum, CableLab і ін [25].

У Рекомендації ITU-T E.800 наведені такі визначення [66].

Якість сервісів (Quality-of-service, QoS) – це сукупність характеристик телекомунікаційного сервісу, що відносяться до його здатності задовольнити

встановлені і передбачувані потреби користувача щодо сервісу (визначення запозичене зі стандарту ISO 8402).

Для всесторонньої оцінки QoS необхідно розглядати як рівень QoS, запланований і реально досягнутий постачальником сервісів, так і суб'єктивну оцінку QoS користувачем. Управління QoS можна пояснити шляхом застосування чотирьох поглядів на QoS. Ці погляди охоплюють всі аспекти QoS – з точки зору постачальника і користувача (або клієнта) сервісу. Чотирма поглядами на QoS є: вимоги до QoS клієнта; QoS, що пропонується оператором (або плановане / цільове QoS); QoS, досягнуте (забезпечене) оператором; сприйняття клієнтом QoS (оцінки QoS за результатами обстежень). На рис. 1.6 представлена взаємозв'язок точок зору користувача і оператора на якість сервісів [58].

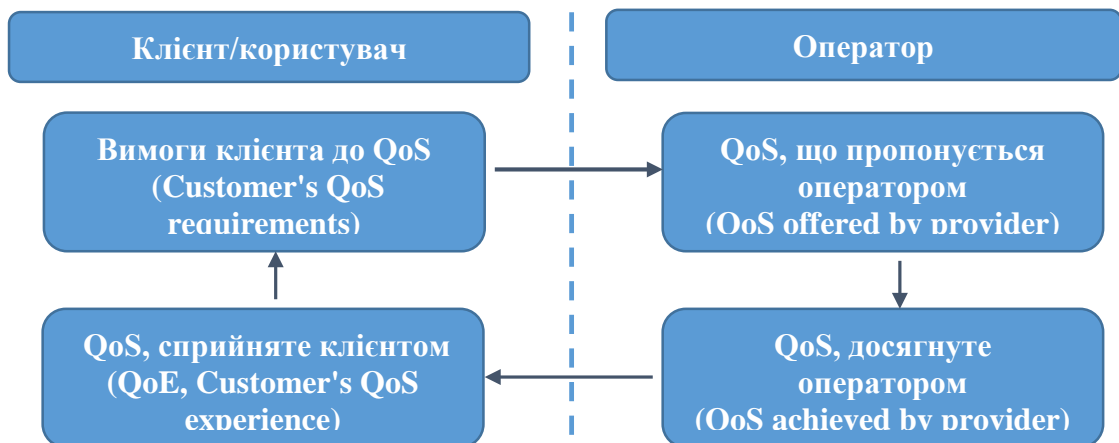


Рис. 1.6. Точки зору на якість сервісів

Якість сприйняття (Quality-of-experience, QoE) – прийнятність сервісу або програми в цілому, що суб'єктивно сприймається кінцевим користувачем (P10 / G.100. Annex 1. Quality of Experience). Якість сприйняття враховує вплив всіх аспектів і учасників надання сервісу (користувач, термінал, мережа і т.д.). Прийнятність сервісу може залежати від очікувань користувача.

Параметри, що впливають на якість сприйняття сервісів:

- коефіцієнт мережевий ефективності (NER);
- затримка надання сервісу;
- якість наданої медіа-інформації (MOS / R-фактор).

Вимоги клієнта до QoS (Customer's QoS requirements) визначають рівень якості сервісів, необхідний клієнтам. Критерії і параметри, що визначили цей рівень, знаходять відображення у вимогах.

QoS, що пропонується оператором (QoS offered by provider), – це перелік чітких однозначно визначених вимог, які можуть бути використані: як основа для формування SLA (Service Level Agreement); для декларування оператором рівня якості, доступного користувачам; як основа для планування і підтримки сервісу на заданому рівні; як основа для користувачів при виборі оператора, який забезпечує найбільш прийнятний рівень якості сервісів.

QoS, досягнуте оператором (QoS achieved by provider), – це рівень якості сервісів, фактично наданий оператором. Може використовуватися: клієнтами, регулятором як основа для порівняння рівня якості сервісів, що пропонується оператором та фактично надається, та перевірки виконання SLA; оператором як основа для коректив.

QoS, що сприймається клієнтом (QoE, Customer's QoS experience), – це якість сервісів, яка сприймається клієнтом і виражається у вигляді оцінки. Ґрунтується на опитуваннях клієнтів і характеризує думку клієнта щодо якості отриманих сервісів. Ці дані можуть бути використані для: порівняння з пропонованим рівнем якості сервісів та визначення причин відхилень; планування коректив.

При визначенні критеріїв якості телекомунікаційного сервісу необхідно брати до уваги ці різноманітні погляди. На рис. 1.7 представлена взаємозв'язок Quality of Service і Network Performance [58].

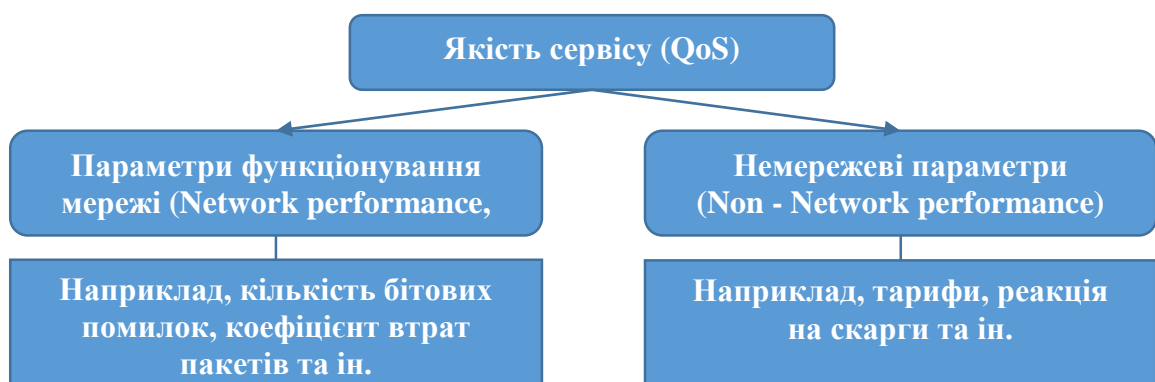


Рис. 1.7. Взаємозв'язок Quality of Service і Network Performance

Параметри функціонування мережі (Network Performance, NP) – здатність мережі надати функціональність, що забезпечує взаємодію користувачів: IPTD – затримка передачі інформації, IPDV – девіація затримки, IPLR – частка втрат інформації, IPER – частка помилок.

На підставі аналізу стану питання можна зробити висновок, що MCE-T представили найповніший опис поняття якості сервісів з урахуванням різних точок зору, проте не надали конкретних шляхів розрахунку й формування всесторонньої оцінки якості сервісів. Розглянемо розроблені методи врахування суб'єктивних показників якості при формуванні оцінки QoS.

1.3.2. Оцінка якості сервісів на основі R-фактора і оцінок MOS

З метою забезпечення необхідної якості передачі мовної інформації кожен з класів обслуговування визначається трьома кількісними характеристиками:

- загальною оцінкою якості передачі (R);
- якістю односторонньої неінтерактивної передачі мови з кінця в кінець;
- затримкою з кінця в кінець (односторонньою).

Для розрахунку R-фактора використовуються рекомендації MCE, засновані на так званій E-моделі оцінки якості передачі мови в мережах зв'язку. E-модель враховує широкий спектр чинників, що впливають на якість передачі мови, пов'язаних із кодеками і затримками в мережах з пакетною передачею даних. Відповідно до E-моделі, R-фактор представляє собою суму всіх спотворень.

Відповідно до методики MOS (Mean Opinion Score) якість мовлення, що отримується при проходженні сигналу від мовця (джерело) через систему зв'язку до слухача (приймач), оцінюється як середнє арифметичне від усіх оцінок, виставлених експертами після прослуховування тестового тракту передачі [64]. Експертні оцінки визначаються відповідно до такої п'ятибальної шкали: 5 – відмінно, 4 – добре, 3 – задовільно, 2 – погано, 1 – незадовільно.

Відповідність оцінок: оцінки 3,5 бали і вище відповідають стандартній та високій якості, 3,0 – 3,5 – задовільній якості, 2,5 – 3,0 – синтезованому звуку. Для передачі мови з гарною якістю доцільно орієнтуватися на значення MOS не нижче 3,5 балів.

Взаємозв'язок між загальною оцінкою якості передачі (R) і сприйняттям якості користувачем визначається відповідно до табл. 1.3 (Рекомендація MCE-T G.109) [74].

Таблиця 1.3

Оцінка QoS на основі R-фактора і оцінок MOS

Значення R-фактора	Категорія якості та оцінка користувача	Значення оцінки MOS
$90 < R < 100$	Найвища (відмінно)	4,34 – 4,50
$80 < R < 90$	Висока (добре)	4,03 – 4,34
$70 < R < 80$	Середня (задовільно: частина користувачів оцінює якість як незадовільну)	3,60 – 4,03
$60 < R < 70$	Низька (погано: більшість користувачів оцінює якість як незадовільну)	3,10 – 3,60
$50 < R < 60$	Незадовільна (не рекомендується)	2,58 – 3,10

Але перелік показників якості, які використовуються у цих відомих моделях, не забезпечує всесторонню оцінку якості сервісів з урахуванням точки зору користувача, яку потрібно враховувати при впровадженні сучасних сервісів, тому не можуть забезпечити оцінку якості сервісів в NGN. Було введено поняття якості сприйняття QoE на рівні користувача. Взаємозв'язок QoE, параметрів функціонування і параметрів продуктивності мережі представлені в табл. 1.4 [74].

Таблиця 1.4

Взаємозв'язок QoE, NP і параметрів продуктивності мережі

Характеристика сервісу (Профіль)	Умови еталонної моделі сервісу	Граничні значення функціонування мережі (NP)	Граничні значення продуктивності мережі
VAD Codec G.168 Packetization time і packet formation time	MOS -> 3.5 Call time – 180 сек Signalling timer <lim	IPTD IPDV IPLR IPER	Смуга пропускання (BW) De-jitter buffer Алгоритми маршрутизації і пріоритетизації трафіку

Але відсутні єдині рекомендації щодо розрахунку QoE, хоча дане питання досліджує багато вчених [78-89]. В роботі В.Ю. Деарта на підставі обширних досліджень приведена залежність впливу різних чинників на QoE сервісів потокової

передачі відео. На рис. 1.8 наочно демонструється комплексний характер залежності оцінки якості сприйняття QoE [78] :

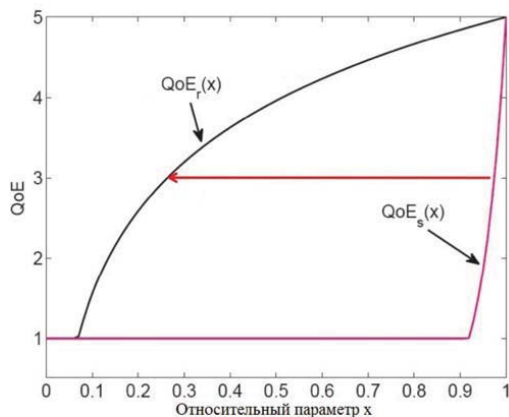


Рис. 1.8. Гістерезис забезпечення надання сервісу

– верхня крива: функція $QoE_r(x)$ (resource / related function) визначає ресурсний характер залежності QoE;

– нижня крива: функція $QoE_s(x)$ (success / related function) визначає залежність від успішного або неуспішного надання сервісу.

У роботі А. Сушкова даний підхід реалізований шляхом дослідження параметрів якості обслуговування (QoS), що визначають якість сприйняття користувачем (QoE) потокового відео при передачі через інтернет [30]. У роботах Е. Ібаррола запропонований метод розрахунку ступеня задоволеності користувача якістю сервісів S наступним чином [79-81]:

$$S = f_1(QoP) + f_2(QoP - QoR), \quad (1.1)$$

де QoP (QoS perceived by users) – це QoS, сприйняте користувачем;

QoR (QoS required by users) – вимоги користувачів до QoS.

Дані роботи свідчать про важливість визначення різних факторів, що впливають на формування ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів.

1.3.3. Моделі оцінки показників якості відповідно до рекомендацій MCE

В рекомендації MCE-T E.802 Framework and methodologies for the determination and application of QoS parameters (Основи і методології для визначення і застосування параметрів QoS) визначені наступні моделі формування вимог до якості сервісів [58]:

- universal model – універсальна модель;
- performance model – модель характеристик роботи;
- four-market model – модель чотирьох ринків.

Перша модель (*універсальна модель*) ілюструє в цілому категорії, за якими можуть групуватися критерії QoS. Критерії QoS будь-якого телекомунікаційного сервісу визначаються в ході ітераційного процесу оцінки питань по кожній клітинці таблиці, утвореної перетином зазначених чотирьох категорій і функціональних елементів сервісу.

Друга модель (*модель характеристик роботи*) переважно застосована до сервісів, що надаються на базі традиційних мереж – наземних і бездротових. Ця модель по суті є матрицею з переліком функцій в рамках сервісу по осі y і критеріїв якості по осі x .

За транспорт, забезпечення і контент, а також надання кінцевого обладнання можуть нести відповідальність різні сторони. Таким чином, загальна якість обслуговування (яка сприймається користувачем) є поєднанням різних елементів, які працюють незалежно один від одного.

Отже, необхідна модель, що дозволяє проводити роздільне обстеження різних елементів і визначати відповідні критерії якості. Такою моделлю є модель чотирьох ринків, яка складається з чотирьох елементів, які використовуються для опису впливу на QoS різних елементів сервісів. Ця модель забезпечує більш просте визначення і розбиття на категорії критеріїв QoS, що відносяться до даного типу сервісів.

Модель чотирьох ринків найбільш доцільно застосовувати для мультимедійних сервісів, оскільки в ній враховується поділ між транспортним рівнем і рівнем сервісів. Це комплекс дій для забезпечення мультимедійних сервісів, що охоплює створення контенту, управління сервісом, мережу доставки і клієнтське обладнання. На рис. 1.9 наведено загальний огляд моделі та визначено чотири компоненти [58].

Клієнтське обладнання: обладнання всіх видів, необхідне користувачеві для отримання доступу до мережі, а отже, і до сервісу – персональні комп'ютери, телевізійні приймачі, телевізійні комп'ютерні приставки, відеомагнітофони, модеми,

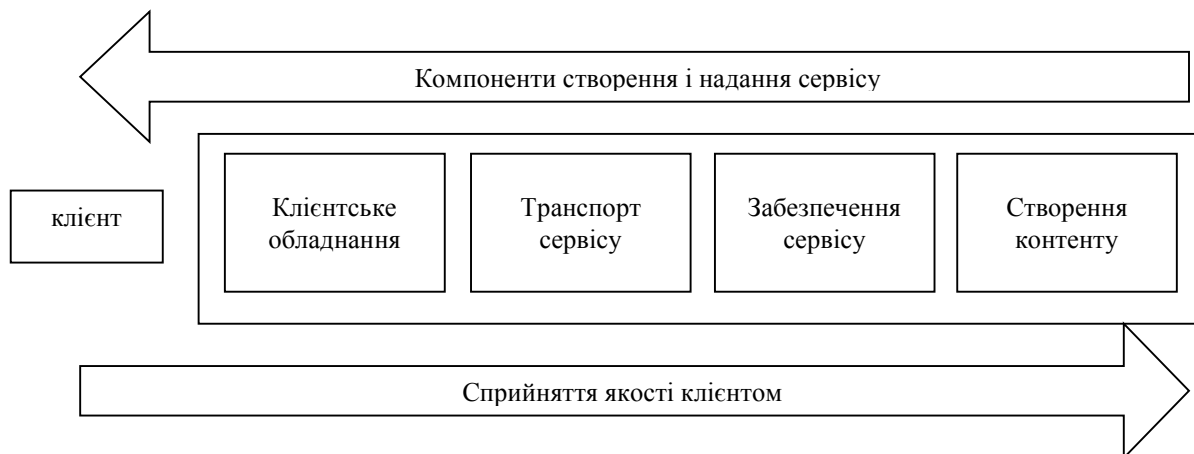


Рис. 1.9. Модель чотирьох ринків

мультимедійні кіоски і т. д. Враховувати слід не лише апаратне, але й програмне забезпечення, необхідне для коректного функціонування обладнання.

Транспорт сервісу: телекомунікаційні мережі всіх видів, які використовуються для поширення телекомунікаційних сервісів, такі як наземні (фіксовані та бездротові) і супутникові мережі телерадіомовлення.

Забезпечення сервісу: всі дії та функції, пов'язані з компонуванням, поданням і управлінням телекомунікаційними сервісами.

Створення контенту: всі дії, пов'язані зі створенням, розповсюдженням і компонуванням контенту, який надається за допомогою телекомунікаційних сервісів.

Відносно конкретного телекомунікаційного сервісу дана модель може використовуватися для того, щоб зосередитися на кожному з чотирьох компонентів окремо і визначити критерії якості. Немає потреби аналізувати всі компоненти. В залежності від аспектів обстежуваного сервісу може виявитися достатнім визначити критерії якості одного або більше компонентів

1.3.4. Вимірювання параметрів QoS

Параметри QoS вимірюються або об'єктивно за допомогою технічних засобів (шляхом вимірювання фізичних властивостей каналів, мереж, мережевих елементів і сигналів) або суб'єктивно (QoS, що сприймається користувачем) за допомогою обстежень і суб'єктивних тестів, проведених серед користувачів [47, 58, 72].

Розрахунок технічних показників якості. Загальна сумарна кількість контрольних викликів за всі сеанси випробувань N розраховується для кожного напрямку зв'язку, зазначеного в програмі випробувань. Результат розрахунку заноситься в таблицю результатів обробки даних випробувань.

Частка неуспішних викликів P_0 оцінюється за даними випробувань кількості успішних і не успішних викликів, що створюються абонентами мережі стільникового рухомого зв'язку (СРЗ) у напрямку абонентів СРЗ і абонентів телекомунікаційної мережі. Значення цього показника, виражене в відсотках, визначається за формулою [95]:

$$P_0 = \frac{Q}{N} 100\% , \quad (1.2)$$

де Q – загальна сумарна кількість неуспішних контрольних викликів за всі сеанси випробувань, визначається за методикою вимірювань для кожного напрямку зв'язку, зазначеного в програмі випробувань.

Частка викликів з передчасним роз'єднанням P_p оцінюється за даними випробувань числа успішних викликів та викликів з передчасним роз'єднанням, створюваних абонентами СРЗ в напрямку абонентів СРЗ і абонентів телекомунікаційної мережі.

Значення цього показника, виражене в відсотках, визначається за формулою [95]:

$$P_p = \frac{R}{N} 100\% , \quad (1.3)$$

де R – загальне сумарне число контрольних викликів з передчасним роз'єднанням за всі сеанси випробувань, визначається за методикою вимірів для кожного напрямку зв'язку, зазначеного у програмі випробувань.

Частка викликів, які задовольняють нормативам по якості передачі мови R_n , оцінюється за даними випробувань числа викликів з задовільним і незадовільним якістю передачі мови, створюваних абонентами СРЗ в напрямку абонентів СРЗ і абонентів телекомунікаційної мережі.

Значення показника, виражене в відсотках, визначається за формулою [95]:

$$R_n = \frac{N_{np}}{N} 100\% , \quad (1.4)$$

де N_{np} – загальне сумарне число контрольних викликів, які задовольняють нормативам за якістю передачі мови, за всі сеанси випробувань.

Частка викликів, які задовольняють нормативам за величиною часу затримки сигналу відповіді $Q_{зсв}$ оцінюється за даними випробувань числа викликів з задовільним і незадовільним часом затримки сигналу відповіді, створюваних абонентами СРЗ в напрямку абонентів СРЗ і абонентів телекомунікаційної мережі.

Значення показника, виражене в відсотках, визначається за формулою [95]:

$$Q_{зсв} = \frac{N_{зв}}{N} 100\% , \quad (1.5)$$

де $N_{зв}$ – загальна сумарна кількість контрольних викликів, які задовольняють нормативам за величиною часу затримки виклику, за всі сеанси випробувань.

Коефіцієнт відновлення зв'язку $P_{вз}$ розраховується як відношення числа заявок на відновлення зв'язку, виконаних в нормативні терміни до загальної кількості виконаних заявок на відновлення зв'язку за формулою [95]:

$$P_{вз} = \frac{N_{кз}}{N_з} , \quad (1.6)$$

де: $N_{кз}$ – кількість заявок, виконаних в контрольні терміни, $N_з$ – загальна кількість виконаних заявок.

Частка неправильно тарифікованих з'єднань – $P_{нт}$. Значення показника, виражене в відсотках, визначається за формулою [95]:

$$P_{нт} = \frac{N_{нт}}{N_p} 100\% , \quad (1.7)$$

де: $N_{нт}$ – кількість неправильно тарифікованих з'єднань,

N_p – загальна кількість рахунків.

Показник задоволеності організаційними аспектами обслуговування визначається за формулою [95]:

$$P_{орг_скарг} = \left(\frac{N_{орг_скарг}}{N_{аб_мережі}} \right) 100\% , \quad (1.8)$$

де $N_{орг_скарг}$ – кількість скарг на організаційні аспекти обслуговування,

$N_{аб_мережі}$ – кількість абонентів в мережі, зареєстрованих до моменту твори розрахунку.

Показник задоволеності технічними аспектами обслуговування визначається за формулою [95]:

$$P_{тех_скарг} = (N_{тех_скарг}/N_{аб_мережі}) 100\% , \quad (1.9)$$

где $N_{тех_скарг}$ – кількість скарг на технічні аспекти обслуговування, $N_{аб_мережі}$ – кількість абонентів в мережі, зареєстрованих до моменту твори розрахунку.

Розрахунок кількості контрольних викликів [95]:

$$n = \frac{1.96^2(p-1)*p}{\Delta^2} , \quad (1.10)$$

$$\delta = \frac{1.96}{p} \sqrt{(p-1)p/n} , \quad (1.11)$$

де p – оцінювана частка викликів,

Δ – довірчий інтервал,

δ – точність або величина довірчого інтервалу (Δ), віднесена до значення оцінюваної величини.

Суб'єктивні вимірювання проводяться для того, щоб визначити QoS, що сприймається користувачем. Це, безумовно, вимагає часу і дорога процедура. Суб'єктивні вимірювання часто мають значний розкид результатів, які необхідно

ретельно аналізувати. Внаслідок цього при вимірюванні конкретних мають відношення до мережі технічних параметрів (параметри характеристик роботи мережі), які можуть бути співвіднесені з сприйняттям користувачем QoS (безпосередньо або з використанням моделей), часто використовуються об'єктивні вимірювання [96-105].

Параметри QoS орієнтовані на користувача і мають наскрізний характер (тобто відносяться до сервісу цілком), а параметри характеристик роботи мережі можуть мати або можуть не мати наскрізного характеру. Незважаючи на те, що параметри QoS і характеристики роботи мережі розрізняються по суті і служать різним цілям, очевидно, що між ними існує внутрішній взаємозв'язок, одні мають пряме або непряме, а іноді навіть зворотний вплив на інші.

Виходячи з того, що QoS є мірою "ступеня задоволеності користувача сервісом», можливо припустити, що для визначення якості сервісу повинні застосовуватися ідеально суб'єктивні методи вимірювання. Однак суб'єктивні виміру є складним і вимагає часу процесом.

Об'єктивні вимірювання параметрів характеристик роботи мережі можуть використовуватися для визначення і аналізу конкретних проблем QoS, пов'язаних з функціонуванням мережі. Політика щодо вимірювання QoS повинна брати до уваги параметри, що впливають на результуючий якість сервісові поміж низки аспектів архітектури мережі зв'язку [58]. Таким чином, для отримання повного уявлення про QoS повинні розглядати обидва методи – об'єктивний і суб'єктивний.

Об'єктивні вимірювання виконуються в разі визначення параметрів характеристик роботи мережі і інших параметрів QoS, які можуть бути представлені в кількісній формі.

Суб'єктивні вимірювання виконуються в разі суб'єктивних аспектів, а також піддаються числовому вираженню параметрів, якщо визначається сприйняття клієнтами якості, яке вони, на їхню думку, отримують.

1.3.5. Системний підхід до оцінки якості телекомунікаційних сервісів відповідно до вимог ETSI

Для сфери телекомунікацій було розроблено стандарт ETSI ETR 003, який відображає основні принципи системного підходу до оцінки якості телекомунікаційних сервісів [70, 103]. Ці принципи означають необхідність забезпечення повноти оцінки якості сервісів з позицій їх користувача і виробника (оператора телекомунікацій), а також узгодження суб'єктивних оцінок користувачів з оцінками оператора з метою досягнення якості сервісів, що задовольняє користувачів.

Під час розробки системи показників якості телекомунікаційних сервісів перший етап – це збирання, аналіз і систематизація вимог користувачів [82-84]. Користувач, як правило, бере участь у формулюванні вимог до окремих телекомунікаційних сервісів і оцінює результат виконання цих вимог. Збір вимог і суджень користувачів щодо якості сервісів здійснює провайдер сервісів.

З точки зору користувачів / абонентів якість сервісу (QoS) визначається характеристиками, які більшою мірою пов'язані з користувачами / абонентами, а не з функціонуванням мережі; за визначенням не залежать від використовуваних в мережі технологій; враховують всі можливості сервісу з точки зору користувача / абонента; можуть бути гарантовані користувачам / абонентам провайдерами сервісів.

Задоволення вимог користувачів – кінцева мета введення різних оцінок якості. Повнота оцінки забезпечується формуванням набору показників якості, які повинні характеризувати ступінь задоволеності всіх або більшості властивостей сервісів, призначених для користувача. Згідно з практикою країн-членів ЄС, в формулюванні вимог користувачів та їх коригуванні за необхідності можуть брати участь служби, які займаються збором інформації від користувачів, провайдер сервісів, регулюючі організації або самі користувачі.

ETSI запропонована схема (шаблон) для збору вимог користувачів / абонентів, застосування якої дозволяє врахувати вимоги користувачів до конкретного сервісу (рис. 1.10) [103].

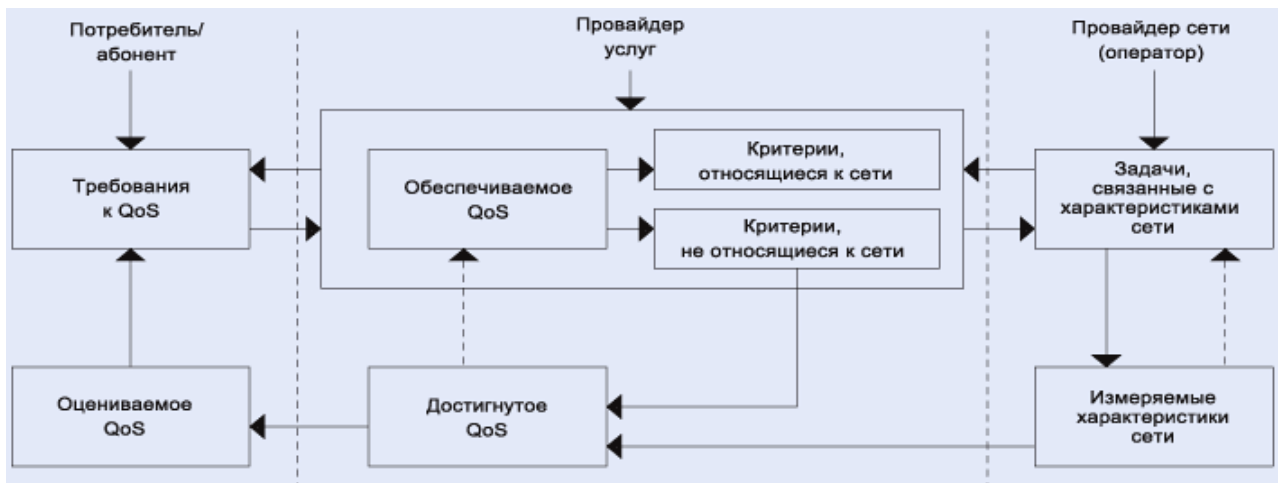


Рис. 1.10. Схема взаємодії учасників процесу оцінки QoS

Збір вимог здійснюється за основними функціями сервісу та критеріями якості. Функції сервісу охоплюють всі складові телекомунікаційної служби – від продажу права на користування сервісом до надання рахунків за наданий сервіс.

Наступним кроком при узгодженні вимог користувача до QoS є переведення їх в характеристики сервісів. Провайдер інтерпретує вимоги користувачів в характеристики сервісів і надає їм значення. Кожен сервіс повинен мати свій власний набір характеристик QoS. Характеристики сервісів виражаються в більш формальній термінології, аніж вимоги користувачів. Проте термінологія має бути зрозуміла і значуща для користувачів / абонентів. Провайдер сервісів може також визначити інші показники і значення (для управління процесом надання сервісів всередині своєї організації), доступ до яких для користувача необов'язковий.

Провайдер сервісів вивчає передумови забезпечення необхідного рівня якості та має право переглянути цінові та інші істотні складові надання сервісів, перш ніж вирішити питання про рівень характеристик роботи служби. Ці характеристики представляють собою рівень якості, що забезпечується. При цьому рівень якості, що забезпечується, визначається в умовах, що відносяться до мережі (наприклад, відсоток відмов у з'єднаннях) і не відносяться до мережі (час доставки). Критерії, які стосуються мережі, провайдер інтерпретує в характеристики (показники) роботи мережі та її елементів і визначає виходячи з вимог забезпечення необхідної якості.

В характеристиках сервісу представляють наскрізні значення по мережі в цілому: наприклад, втрати в мережі від абонента до абонента. Вимоги до характеристик, що відносяться до мережі, представлені, як правило, в рекомендаціях Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ). В основному ці характеристики відносяться до функціонування технічних засобів телекомунікацій і не дозволяють оцінювати якість обслуговування, та не пов'язані з функціонуванням телекомунікаційної мережі (системи) та її елементів. Крім того, значення показників функціонування мережі в рекомендаціях МСЕ характеризують рівень якості зв'язку, рекомендований для груп сервісів, що вимагає їх уточнення з урахуванням конкретних умов надання сервісу.

Ще один етап врахування показників якості – це оцінка QoS, тобто визначення досягнутого QoS. Значення досягнутого QoS отримують шляхом комбінації результатів вимірів на мережі та кількості скарг користувачів на якість за певний проміжок часу.

На заключному етапі здійснюється оцінка QoS користувачем / абонентом. QoS, що сприймається користувачем, зазвичай виражається в ступені задоволеності, але не в технічній термінології. В залежності від вимог абонентів, в QoS можуть входити технічні характеристики, а можуть і не входити.

Доцільно встановити емпіричний взаємозв'язок між характеристиками сервісів і кількістю (у відсотках) користувачів / абонентів, які не задоволені якістю сервісів (або в цілому, або окремими властивостями сервісів). Виходячи з встановленого взаємозв'язку, можна вводити контрольні величини (нормативи) так, щоб не перевищити обумовлений відсоток користувачів / абонентів, які стикаються з незадовільною якістю. При цьому метою є вихід на такий рівень досягнутого QoS, який міг би відповідати тому, що сприймається, оцінюється користувачем.

1.4. Використання штучного інтелекту при оцінці й управлінні QoS

Зміна парадигми в концепції сервісів, яка була пов'язана із загальною зміною концепції мереж NGN, виражається в першу чергу в тому, що ролі оператора й користувача значно змінилися. Тепер користувач і оператор виступають як союзники

в єдиному процесі інформатизації, і цю співпрацю можна вважати лейтмотивом еволюції сучасних сервісів.

Існують приклади успішного застосування методів штучного інтелекту в управлінні якістю сервісів. Так, в роботах А. Dogman [82-83] запропоновано систему оцінки QoS (рис. 1.11), яка використовує комбінацію методів нечіткої кластеризації Fuzzy C-means (FCM), які класифікують параметри якості в три кластерних центри, та регресійної моделі, яка комбінєє параметри якості роботи мережі для кожного центру згенерованих кластерів і виробляє єдине значення, яке представляє загальну якість сервісу.

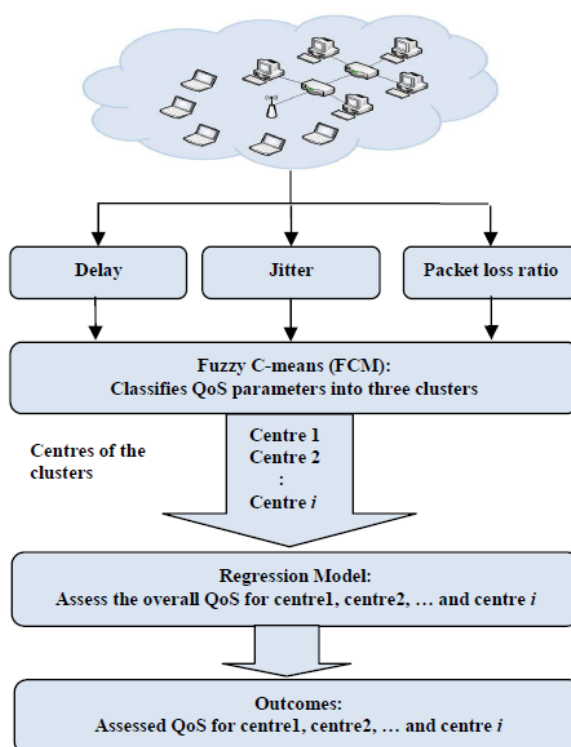


Рис. 1.11. Система оцінки QoS

У роботах К. Radhakrishnan [84] проаналізовані різні моделі для вимірювання і моніторингу якості передачі голосу при використанні Random Neural Networks (RNN). В роботі [85] представлений метод управління якістю для додатків реального часу: нейронні мережі забезпечують раннє і точне передбачення часу виконання неконтрольованих акцій, що дозволяє обирати адекватні параметри рівня якості.

В роботі [86] описується штучна нейронна мережа (багатошаровий персептрон), яка передбачає рівень задоволення користувачів банківськими сервісами з дуже низьким рівнем помилки.

В роботі [87] комбінацію двох видів нейронних мереж – мережі Кохонена та багатошарового персептрона (MLP) – було використано для аналізу і оцінки QoS для VoIP трафіку.

Однак в розглянутих роботах не вирішується питання врахування думки користувачів щодо якості сервісів, а також формування всесторонньої оцінки QoS з урахуванням точок зору всіх учасників процесу створення і надання сервісу.

1.5. Визначення напрямків досліджень

Стрімкий розвиток і поширення комунікаційних технологій набуває сьогодні характер глобальної інформаційної революції. У абонентів з'явилася потреба в сервісах зв'язку, які можна було б гнучко налаштувати відповідно до їх вимог. Для цього потрібна розробка методів оцінки та ефективного врахування думки користувача щодо якості сервісів. Задоволення вимог користувача включає в себе як технічні аспекти (параметри функціонування мережі), так і нетехнічні (обслуговування користувачів).

Аналіз науково-технічної літератури показує, що розвиток телекомунікаційних технологій загострює проблему забезпечення високої якості сервісів, пред'являючи постійно зростаючі вимоги до різних аспектів їх функціонування. Актуальність вдосконалення і розробки нових методів оцінки якості телекомунікаційних сервісів зумовлена також необхідністю формування всесторонньої оцінки якості сервісів, що враховує внесок всіх учасників процесу створення і надання сервісу. На сьогоднішній день для оцінки та управління якістю сервісів розроблені різні моделі, в яких враховуються переважно технічні показники якості роботи телекомунікаційної мережі. Для оцінки суб'єктивних показників використовуються оцінки MOS, які, однак, також не дають повної картини щодо якості сервісу.

З огляду на поставлені задачі і проведений детальний аналіз предметної області [1-17], можна визначити напрямок досліджень. Не дивлячись на велику кількість

робіт в сфері управління якістю телекомунікаційних сервісів, залишається невирішеним питання врахування думки користувачів при управлінні якістю сервісів. Розробляючи методи управління якістю сервісів, раціонально використовувати системний підхід: проблему забезпечення якості потрібно вирішувати не ізольовано, а в єдності зв'язків з навколишнім середовищем – користувачем. Були проаналізовані існуючі методи врахування суб'єктивних показників якості та обрані методи нечіткої логіки і нейронних мереж. На основі обраних методів, існуючих підходів і рекомендацій необхідно розробити метод врахування думки користувачів при управлінні якістю сервісів. При цьому слід враховувати внесок різних сторін – учасників процесу створення і надання сервісу, і групувати показники в залежності від того, яка зі сторін є відповідальною за їх забезпечення. Повнота оцінки забезпечується формуванням набору показників якості, які повинні характеризувати ступінь задоволеності всіх або більшості властивостей сервісів, призначених для користувача. Для вибору показників якості певного сервісу необхідно оцінити вплив даних показників на ступінь задоволеності користувачів якістю сервісу. При цьому необхідно уникати надмірності системи – в кожній групі повинно бути не більше 5-7 показників. Для оцінки ступеня задоволеності користувача якістю сервісів необхідно визначити підкритерії, що враховують участь всіх сторін процесу створення і надання сервісів. При формуванні ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів повинна враховуватися значущість, або «вага» кожного з показників якості. Для формування функцій приналежності нейронечіткої системи необхідно провести опитування користувачів телекомунікаційного сервісу, для чого повинна бути сформована анкета і визначено обсяг вибірки, що забезпечує необхідну точність результатів. Крім того, слід розробити метод формування загальної ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів для мережі з децентралізованим принципом управління, що складається з декількох сегментів.

На наступному етапі, з огляду на особливості архітектури сучасних телекомунікаційних мереж і проведені дослідження методів управління якістю, необхідно удосконалити метод управління якістю сервісів і включити блок врахування думки користувачів в структуру системи забезпечення якості. У процесі

управління якістю сервісів необхідно відстежувати як відповідність характеристик сервісів нормативним показникам, так і виробляти при необхідності корекцію нормативів. При цьому слід враховувати вартість корекції і оцінювати доцільність витрат на корекцію того чи іншого показника в залежності від значущості даного показника і його впливу на підсумковий результат – ступінь задоволеності користувачів якістю сервісів.

Слід розглянути можливість прогнозування потреб розвитку мережі на підставі порівняння поточного рівня задоволеності користувачів якістю сервісів і необхідного значення. Okремо слід вивчити можливості використання методу врахування думки користувачів при управлінні якістю сервісів в уже існуючих телекомунікаційних мережах, зокрема, в мережі MPLS.

Для оцінки ефективності розроблених методів слід розробити імітаційні моделі.

Основні результати досліджень першого розділу відображені в наукових працях, наведених в переліку літератури [1-2,11].

Висновки до першого розділу

1. Визначено етапи розвитку телекомунікаційних мереж. Досліджено принципи побудови телекомунікаційних мереж наступного покоління. Показано, що стрімкий розвиток інформаційно-комунікаційних технологій викликає розширення спектра надаваних сервісів.

2. Визначено, що існуючі методи оцінки якості ТКС не забезпечують усесторонню оцінку якості сервісів з урахуванням точки зору користувача. На основі проведеного дослідження існуючих методів врахування думки користувачів щодо якості сервісів в NGN показана необхідність розробки методів, що дозволяють визначати рівень якості телекомунікаційних сервісів з точки зору користувачів.

3. На основі аналізу існуючих методів оцінки та управління якістю сервісів в мережах наступного покоління показана необхідність удосконалення існуючих та розробки нових методів і підходів до управління якістю телекомунікаційних сервісів, які повинні враховувати як технічні характеристики роботи мережі, так і думку користувачів щодо якості сервісів.

РОЗДІЛ 2.

РОЗРОБКА І ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ СЕРВІСІВ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ З ТОЧКИ ЗОРУ КОРИСТУВАЧІВ

2.1. Розробка методу оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю телекомунікаційних сервісів

Як вже зазначалося в попередньому розділі, з впровадженням телекомунікаційних мереж наступного покоління з'являється велика кількість додаткових сервісів, у зв'язку з чим виникає необхідність удосконалення методів оцінки та управління якістю сервісів. Ключовим моментом процесу управління якістю сервісів є оцінка ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів [58].

NGN об'єднує інтереси трьох сторін – постачальників сервісів, постачальників обладнання, користувачів мережі та робить можливим швидко і ефективно надання сервісів [70].

Отже, якість управління та надання сервісів необхідно оцінювати з точки зору всіх учасників процесу. При цьому з точки зору кожного учасника якість обслуговування (надання інтелектуальних сервісів) матиме своє значення.

Згідно з Рекомендацією МСЕ-Т E.800 (09/2008) якість обслуговування (QoS) визначено як сукупність характеристик телекомунікаційного сервісу, що стосуються його можливості задовольняти встановлені і передбачувані потреби користувача сервісу.

Паралельно існує поняття якості сприйняття (QoE) – рівня якості, який, за заявою абонентів користувачів, вони отримали. Показники роботи мережі (NR), в тому числі показники якості роботи інтелектуальної надбудови, характеризує здатність останньої або її частини забезпечувати функції, пов'язані з наданням інтелектуальних сервісів користувачам і управлінням цими сервісами.

Очевидно, якість управління та надання сервісів для кожного учасника процесу має свій підтекст, хоча відповідні значення взаємопов'язані. Адже високоякісне функціонування обладнання (програмних комутаторів, серверів сервісів) дозволить

легко впроваджувати логіку обслуговування і вміло адмініструвати сервіси, в тому числі інтелектуальні. А це, в свою чергу, поліпшить якість сервісів з точки зору користувачів.

Оцінку якості управління та надання інтелектуальних сервісів в [109] запропоновано виконувати з використанням такого методичного підходу. Спочатку необхідно обчислити максимально допустиме і поточне значення для кожного з критеріїв з кожного боку. За допомогою експертів потрібно визначити вагові коефіцієнти.

Далі необхідно знайти значення балів для кожного критерію і суму балів для кожної зацікавленої сторони. Визначити сумарний результуючий критерій якості для кожної інтелектуальної надбудови. Основні приватні критерії якості управління та надання інтелектуальних сервісів систематизують і представляють у вигляді спеціального *Листка оцінювання якості* (див. Додаток Б). При цьому поточне значення кожного приватних критерію розраховується з використанням імітаційної або аналітичної моделі або встановлюється експертами.

В роботі [109] запропоновано для визначення якості управління та надання інтелектуальних сервісів NGN узяти підкритерії якості для кожної зі сторін, а далі сформуванню результуючий критерій якості (рис. 2.1) [109].

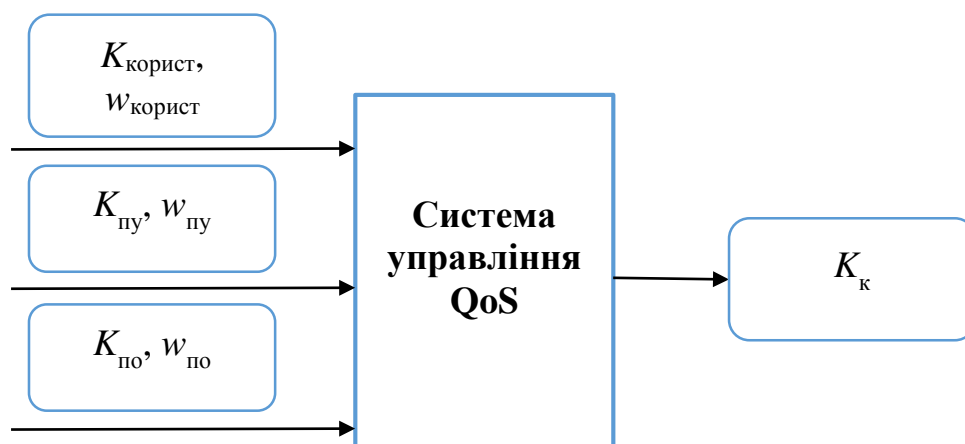


Рис. 2.1. Формування комплексного критерію якості сервісів з урахуванням інтересів трьох сторін

Тут $K_{\text{корист}}$ – підкритерій, що відображає рівень QoS з точки зору користувача сервісів,

$w_{\text{корист}}$ – ваговий коефіцієнт, або значимість $K_{\text{корист}}$;

$K_{\text{пу}}$ – підкритерій, що відображає рівень QoS з точки зору постачальника сервісів,

$w_{\text{пу}}$ – ваговий коефіцієнт, або значимість $K_{\text{пу}}$;

$K_{\text{по}}$ – підкритерій, що відображає рівень QoS з точки зору постачальника обладнання,

$w_{\text{по}}$ – ваговий коефіцієнт, або значимість $K_{\text{по}}$;

$K_{\text{к}}$ – комплексний критерій якості.

Розглянемо критерії якості управління та надання інтелектуальних сервісів з позиції всіх учасників процесу.

З позиції постачальника сервісів якість може оцінюватися складністю впровадження логіки обслуговування і адміністрування (якісний критерій, встановлюють експерти) і кількістю вдало наданих інтелектуальних сервісів, завдяки чому попит на них буде зростати.

З позиції постачальника обладнання якість може бути оцінена за такими показниками, як структурна живучість і вартість інтелектуальної надбудови.

З точки зору користувачів якість управління і надання сервісів може бути оцінена за допомогою значення Z – ступеня задоволеності користувачів якістю отриманих сервісів, який формується в результаті поєднання різних компонентів, які працюють незалежно один від одного.

Як вже зазначалося, при управлінні QoS одним з найважливіших завдань є забезпечення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів [26, 56]. У роботах, присвячених методам оцінки QoS, увага, в основному, приділяється технічним характеристикам роботи мережі [29-32]. Суб'єктивні методи оцінки параметрів QoS – MOS / R-фактор – враховують якість переданої медіа-інформації на підставі експертних оцінок [33], однак не забезпечують всеохоплюючу наскрізну оцінку користувачем якості сервісу. У низці робіт розглядається можливість врахування думки користувачів шляхом визначення QoE – якості

сприйняття отриманих сервісів користувачем [76,78]. Однак, в даних роботах не враховується необхідність всесторонньої оцінки якості сервісів, крім того, отримання QoE передбачено тільки в результаті проведення опитувань користувачів.

На підставі необхідності розробки системи всесторонньої оцінки якості сервісів та рекомендацій МСЕ-Т, розроблено метод оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю телекомунікаційних сервісів, що враховує як особливості архітектури NGN, так і думку користувачів щодо якості отриманих сервісів [6]. Це досягається в тому числі за рахунок угруповання показників якості в залежності від сторони, яка несе відповідальність за створення і забезпечення певного аспекту якості сервісу [5]. У даній системі враховується поділ між транспортним рівнем і рівнем сервісів. У цьому випадку за транспорт, забезпечення і контент, а також за надання кінцевого обладнання можуть нести відповідальність різні сторони. Загальна якість сервісів (що сприймається користувачем) є поєднанням різних компонентів, які працюють незалежно один від одного [55].

Метод являє собою послідовність наступних дій (рис 2.3):

- формування нечіткої / нейронечіткої мережі;
- визначення взаємозв'язків між елементами ІНС;
- оцінка ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу.

1. Формування нечіткої / нейронечіткої мережі.

Вибір показників і компонентів якості відбувається в залежності від оцінюваного сервісу. Необхідно здійснити вибір таким чином, щоб кількість показників якості, що впливають на кожен з компонентів, не перевищувала 5-7. Це обумовлено тим, що в оперативній пам'яті людини може одночасно зберігатися не більше 7 ± 2 понять-ознак [144].

Після вибору компонентів і показників якості, що впливають на ступінь задоволеності користувачів якістю сервісу, здійснюється формування структури ієрархічної нечіткої / нейронечіткої системи.

Визначимо значення ступеня задоволеності користувачів якістю отриманих сервісів числом Z . Чим більше значення Z , тим вище якість отриманих сервісів з точки зору користувачів.



Рис. 2.3. Процедура оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю телекомунікаційних сервісів

Введемо наступні позначення:

$Y = \{Y_i\}$ – множина компонентів якості сервісів, що відображають одну зі складових процесу створення і надання сервісів;

$X = \{x_{ij}\}$ – множина показників якості сервісів (показники групуються в залежності від того, на який компонент якості вони впливають).

З огляду на те, що значення кожного з компонентів залежить від множини показників, реалізацію структури системи оцінки якості запропоновано представляти як ієрархічну систему (рис. 2.2) [8]. На першому рівні ієрархії знаходяться показники, на другому – компоненти якості.

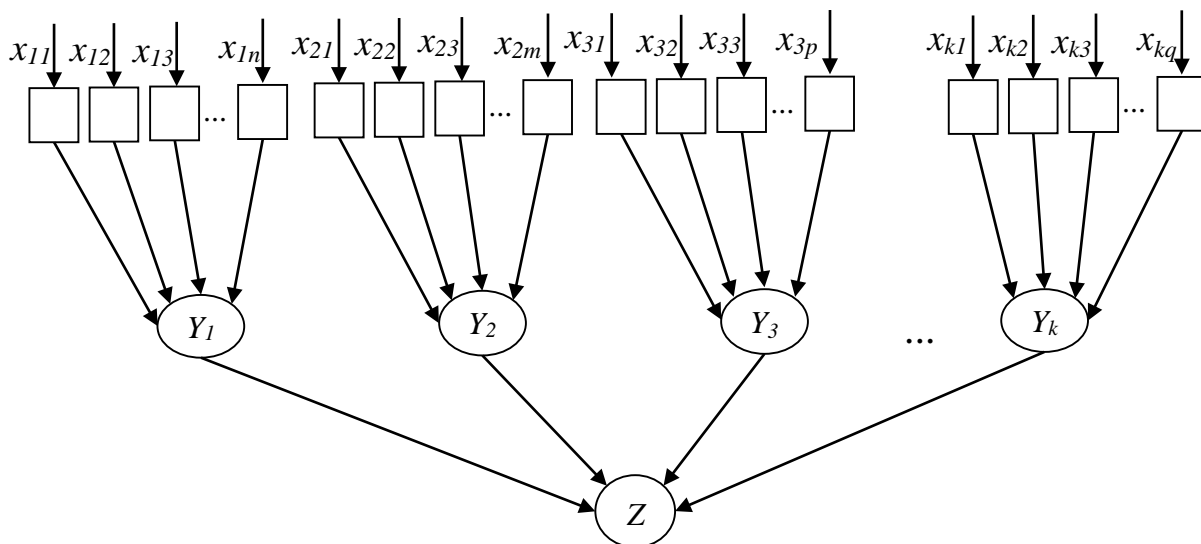


Рис. 2.2. Ієрархічна структура системи оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів

Тут Y_i – компоненти якості сервісів ($i = \overline{1, k}$);

k – кількість компонентів якості сервісів;

x_{ij} – показники якості, що впливають на компонент якості Y_i , (тут i – номер компонента, j – номер показника в i -му компоненті);

n – кількість показників якості для оцінки компонента Y_1 ;

m – кількість показників якості для оцінки компонента Y_2 ;

p – кількість показників якості для оцінки компонента Y_3 ;

q – кількість показників якості для оцінки компонента Y_k .

2. Визначення взаємозв'язків між елементами ІНС.

На підставі обраних показників якості відбувається формування анкети опитування користувачів. Розмір вибірки для проведення опитування визначається виходячи з необхідної точності (докладніше цей процес описано в підрозділі 2.5). За результатами опитування користувачів, а також з урахуванням рекомендацій міжнародних організацій по стандартизації в галузі зв'язку, здійснюється визначення еталонних значень показників якості. Також за результатами опитування визначається вплив кожного з показників на результат.

Процедура формування Z являє функціональне відображення вигляду [12]:

$$\begin{aligned}
X &= \{X_1(x_{11}, w_{11}; x_{12}, w_{12}; \dots; x_{1n}, w_{1n}), \\
&X_2(x_{21}, w_{21}; x_{22}, w_{22}; \dots; x_{2m}, w_{2m}), \dots, \\
&X_k(x_{p1}, w_{p1}; x_{p2}, w_{p2}; \dots; x_{pq(i)}, w_{pq(i)})\} \rightarrow \\
Y &= \{Y_1, w_1; Y_2, w_2; \dots; Y_i, w_i; \dots; Y_k, w_k\} \rightarrow Z.
\end{aligned}
\tag{2.1}$$

Тут X – вектор факторів, що впливають на показник Z .

w_{ij} – значимість, «вага» показників x_{ij} ($i=\overline{1, k}, j=\overline{1, q(i)}$),

w_i – значимість, «вага» показників Y_i ($i=\overline{1, p}$),

$q(i)$ – кількість показателів, впливаючих на компонент качества Y_i .

3. Оцінка ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу.

Визначення значення підсумкового показника Z здійснюється з використанням розробленої ієрархічної нечіткої / нейронечіткої мережі. На першому рівні ієрархії визначається значення, яке досяг кожен з компонентів якості сервісів (Y_1, Y_2, \dots, Y_p) в залежності від показників якості ($x_{11}, x_{12}, \dots, x_{pq}$). На другому рівні ієрархії в залежності від значень, досягнутих кожним з компонентів, визначається підсумковий показник Z – ступінь задоволеності користувачів якістю сервісу. При цьому враховується значимість, або «вага» кожного з показників і компонентів якості. «Ваги» w_{ij} показників доцільно виражати в бальній системі на основі експертних і користувальницьких оцінок. Тоді аналітично взаємозв'язок між елементами ієрархічної нейронечіткої системи можна описати таким чином:

$$Z = F(Y) \tag{2.2}$$

$$Y = f\{Y_i, w_i\}, i = \overline{1, k} \tag{2.3}$$

$$Y_i = \varphi(x_{ij}, w_{ij}), j = \overline{1, q(i)}. \tag{2.4}$$

Таким чином, на підставі об'єктивних вимірів характеристик роботи мережі і отриманих в результаті опитування користувачів даних визначається ступінь задоволеності користувачів якістю сервісів. Метод розрахунку характеристик роботи мережі наведено в підрозділі 1.3.4. Завдяки використанню індексаційних нумерації

система легко масштабується. Кількість компонентів якості, а також показників, що впливають на кожен з компонентів, визначається для кожного сервісу і може бути змінено в разі, якщо будуть виявлені додаткові показники, що впливають на ступінь задоволеності користувачів якістю сервісу.

2.2. Ієрархічна нечітка система оцінки якості сервісів з точки зору користувачів

Для стабільної роботи мережі необхідно відстежувати ступінь задоволеності користувачів якістю сервісів в залежності від зміни стану мережі. Це дозволяє реалізувати використання штучного інтелекту.

Перетворення оцінок користувачів в показники задоволеності якістю сервісів найбільш доцільно здійснювати, використовуючи відповідні математичні методи, які широко застосовуються в рішенні задач врахування думки користувачів [102-103, 114]. Зокрема запропоновано використовувати методи штучного інтелекту.

Аналіз перспективних інтелектуальних засобів підтвердив, що при вирішенні завдань управління та прийняття рішень, для яких характерна наявність неповної та недостатньо достовірної інформації, добре зарекомендували себе системи інтелектуального аналізу даних [86-93]. Нечітка логіка, яка є основою для реалізації методів нечіткого управління, більш природно описує характер людського мислення і хід його міркувань, ніж традиційні формально-логічні системи [144]. Саме тому її застосування для врахування думки користувачів є оптимальним рішенням, тому що нечітка логіка дозволяє оперувати визначеннями і правилами, зрозумілими більшості людей.

У загальному випадку нечітка мережа повинна містити наступні блоки (рис. 2.3) [116]:

- фаззифікатор – перетворює фіксований вектор факторів, що впливають (X) в вектор нечітких множин, необхідних для виконання нечіткого логічного висновку;
- нечітка база знань – містить інформацію про залежності $Y = f(X)$ у вигляді лінгвістичних правил типу ЯКЩО – ТО;

- машина нечіткого логічного висновку – на основі правил бази знань визначає значення вихідної змінної у вигляді нечіткої множини, відповідного нечітким значенням вхідних змінних;
- дефаззифікатор – перетворює вихідний нечітка множина в чітке число.

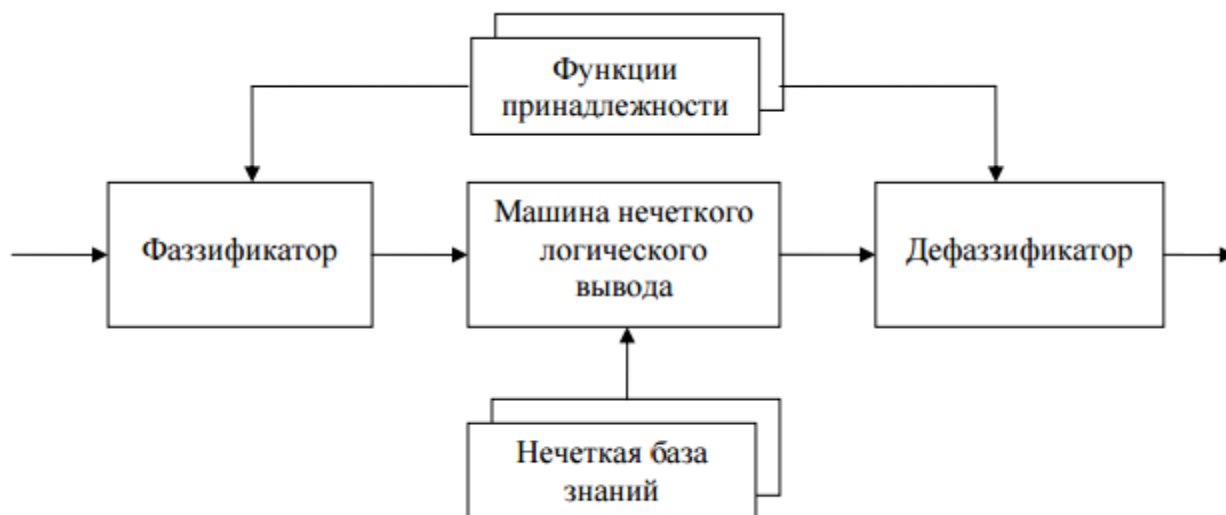


Рис. 2.3. Типова структура моделі нечіткого логічного виводу

Лінгвістичною називається змінна, що приймає значення з множини слів або словосполучень деякої природної або штучної мови. Множина допустимих значень лінгвістичної змінної називається терм-множиною. Завдання значення змінної словами, без використання чисел, для людини більш природно. Формально, лінгвістична змінна визначається наступним чином.

Лінгвістична змінна задається п'ятіркою $\langle x, T, U, G, M \rangle$, де:

x – ім'я змінної;

T – терм-множина, кожен елемент якої (терм) представляється як нечітка множина на універсальній множині U ;

G – синтаксичні правила, що породжують назву термів;

M – семантичні правила, які визначають функції приналежності нечітких термів, породжених синтаксичними правилами G .

У розробленій системі в якості лінгвістичних змінних виступають показники і компоненти якості сервісу. Тоді для кожного показника x_{ij} (компонента y_i) якості сервісу необхідно визначити наступні дані (табл. 2.1):

Опис лінгвістичних змінних нечіткої системи оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів

x_{ij}/Y_i	Ім'я змінної	Назва показника (компонента) якості сервісів, зрозуміла для користувачів
	Терм-множина	Можливі значення показника (компонента) якості сервісів, також зрозумілі користувачам (наприклад, якість мовлення може бути відмінна, гарна, середня, низька, незадовільна і т.п.)
	Межі значень	Діапазон значень показника (компонента) якості сервісів, для зручності наведений в балах, проте в разі потреби може змінюватися для кожного показника

При цьому формування підсумкового показника відбувається за алгоритмом Мамдані, який широко застосовується в системах управління [117, 119-120]. На відміну від моделей типу «чорний ящик», нечіткі моделі Мамдані прозорі, їх структура змістовно інтерпретується в термінах, зрозумілих не тільки розробникам з високою математичною кваліфікацією, а й замовникам – в даному випадку, провайдером сервісів. Прозорість нечітких моделей Мамдані – одне з головних переваг, завдяки якому нечіткі технології успішно конкурують з іншими методами [120].

Нечіткий логічний висновок за алгоритмом Мамдані виконується за нечіткою базою знань [144]:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} (\bigcap_{i=1}^n x_i = a_{i,jp} \text{ с весом } w_{jp}) \rightarrow y = d_j, j = \overline{1, m}, \quad (2.5)$$

в якій значення вхідних і вихідних змінних задані нечіткими множинами.

Нечітким логічним висновком називається отримання висновку у вигляді нечіткої множини, відповідної до поточних значень входів, з використанням нечіткої бази знань і нечітких операцій.

База правил систем нечіткого виведення призначена для формального подання емпіричних знань експертів в тій чи іншій предметній області в формі *нечітких продукційних правил*. Таким чином, база нечітких продукційних правил системи нечіткого виведення – це система нечітких продукційних правил, що відображає знання експертів про методи управління об'єктом в різних ситуаціях, характер його функціонування в різних умовах і т.п., тобто містить формалізовані людські знання.

Введемо наступні позначення:

$\mu_{jp}(x_i)$ – функція приналежності виходу x_i нечіткому терму $a_{i,jp}$, тобто [144]:

$$a_{i,jp} = \int_{\underline{x_i}}^{\overline{x_i}} \mu_{jp}(x_i) / x_i, x \in [\underline{x_i}, \overline{x_i}], \quad (2.6)$$

где $\mu_{dj}(y)$ – функція приналежності виходу y нечіткому терму d_j , тобто [144]:

$$d_j = \int_{\underline{y}}^{\overline{y}} \frac{\mu_{dj}(y)}{y}, y \in [\underline{y}, \overline{y}]. \quad (2.7)$$

Ступені приналежності вхідного вектора $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ нечітким термам d_j з бази знань розраховуються наступним чином [144]:

$$\mu_{d_j}(X^*) = \vee_{p=1, k_j} w_{jp} \cdot \wedge_{i=1, n} [\mu_{jp}(x_i^*)], j = \overline{1, m}, \quad (2.8)$$

де $\vee(\wedge)$ – операції з s-норми (t-норми), тобто з множини реалізацій логічної операції АБО (І).

В результаті отримуємо таку нечітку множину \tilde{y} , відповідну вхідному вектору X^* [144]:

$$\tilde{y} = \frac{\mu_{d_1}(X^*)}{d_1} + \frac{\mu_{d_2}(X^*)}{d_2} + \dots + \frac{\mu_{d_m}(X^*)}{d_m}. \quad (2.9)$$

Особливістю цього нечіткого безлічі є те, що універсальним безліччю для нього є терм-множина вихідних змінних y . Такі нечіткі множини називаються нечіткими множинами другого порядку.

Для переходу від нечіткої множини, заданої на універсальній множині нечітких термів $\{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ до нечіткої множини на інтервалі $[\underline{y}, \bar{y}]$ необхідно:

- 1) "зрізати" функції приналежності $\mu_{d_j}(y)$ на рівні $\mu_{d_j}(X^*)$;
- 2) об'єднати (агрегувати) отримані нечіткі множини. Математично це записується в такий спосіб [144]:

$$\tilde{y} = \text{agg}_{j=1,m} \left(\int_{\underline{y}}^{\bar{y}} \min(\mu_{d_j}(X^*), \mu_{d_j}(y)) / y \right), \quad (2.10)$$

де agg – агрегування нечітких множин, яке найбільш часто реалізується операцією знаходження максимуму.

Чітке значення виходу y , відповідне вхідному вектору x^* визначається в результаті дефазифікації нечіткої множини \tilde{y} . Найбільш часто застосовується дефазифікація за методом центра ваги [144]:

$$y = \frac{\int_{\underline{y}}^{\bar{y}} y \cdot \mu_{\tilde{y}}(y) dy}{\int_{\underline{y}}^{\bar{y}} \mu_{\tilde{y}}(y) dy}. \quad (2.11)$$

Для моделювання багатовимірних залежностей "входи – вихід", як в даному випадку, коли підсумковий показник Z залежить від значень компонентів якості Y_1, Y_2, \dots, Y_k , які, в свою чергу, визначаються в залежності від значень показників якості $x_1, x_2, \dots, x_{pq(i)}$ доцільно використовувати ієрархічні системи нечіткого логічного висновку. У цих системах вихідна змінна однієї бази знань є вхідний для іншої бази знань.

На рис. 2.4 наведено приклад ієрархічної нечіткої бази знань, що моделює залежність $y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$ з використанням трьох баз знань. Ці бази знань описують такі залежності: $y_1 = f_1(x_1, x_2)$, $y_2 = f_2(x_4, x_5, x_6)$ і $y = f_3(y_1, x_3, y_2)$ [117].

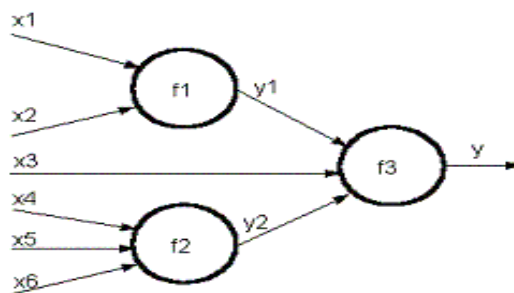


Рис. 2.4. Приклад ієрархічної нечіткої бази знань

Застосування ієрархічних нечітких баз знань дозволяє подолати "прокляття розмірності". При великій кількості входів експерту важко описати причинно-наслідкові зв'язки у вигляді нечітких правил. Це зумовлено тим, що в оперативній пам'яті людини може одночасно зберігатися не більше 7 ± 2 понять-ознак. Отже, кількість входних змінних в одній базі знань не повинна перевищувати це число. Пізніші дослідження показали, що хороші бази знань виходять, коли кількість входів не перевищує п'яти-шести [117]. Тому, при більшій кількості входних змінних необхідно їх ієрархічно класифікувати з урахуванням наведених вище рекомендацій. Зазвичай, виконання такої класифікації не становить труднощів для експерта, так як при прийнятті рішень людина ієрархічно враховує впливають фактори.

Перевага ієрархічних баз знань полягає ще і в тому, що вони дозволяють невеликій кількості нечітких правил адекватно описати багатовимірні залежності "входи – вихід". Нехай, для лінгвістичної оцінки змінних використовується по п'ять термів. Тоді, максимальну кількість правил для завдання залежності $y=f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$ за допомогою однієї бази знань буде рівним $5^6=15625$ (звичайно, для адекватного опису залежності "входи – вихід" необхідно значно менше нечітких правил). Для ієрархічної бази знань, що описує ту ж залежність, максимальна кількість нечітких правил буде рівним $5^2+5^3+5^3=275$. Причому, є "короткі" правила з двома – трьома входними перемінними.

Особливістю нечіткого логічного виводу за ієрархічною базою знань є відсутність процедур дефаззифікації і фаззифікації для проміжних змінних (компонентів якості Y_1, Y_2, \dots, Y_k). Результат логічного виводу у вигляді нечіткої множини безпосередньо передається в машину нечіткого логічного виводу

наступного рівня ієрархії [3]. В якості підсумкового показника в розробленій автором системі – вихідної лінгвістичної змінної Z – виступає ступінь задоволеності користувачів якістю сервісів. При проектуванні бази знань необхідно дотримуватися наступних правил:

- має існувати хоча б одне правило для кожного терма вхідної змінної;
- для будь-якого терма вхідної змінної має існувати хоча б одне правило, в якому цей терм використовується в якості посилки;
- для довільного вектора вхідних змінних має існувати хоча б одне правило, ступінь виконання якого більше нуля. Іншими словами, правила бази знань повинні покривати всю предметну область.

При формуванні бази знань слід зберегти прозорість нечіткої моделі. Нечітку модель Мамдані можна вважати прозорою за умови виконання таких умов [143]:

- 1) база знань не є суперечливою або надлишковою, тобто не містить правил з однаковими антецедентами;
- 2) база знань узгоджена з кількістю термів, тобто кожен терм фігурує хоча б в одному нечіткому правилі;
- 3) для довільного вхідного вектора на виході виходить не пуста нечітка множина;
- 4) окремо кожна функція приналежності змістовно інтерпретується, тобто відповідна нечітка множина є нормальною і опуклою [146, 147];
- 5) кожна терм-множина змістовно інтерпретується, тобто :
 - кількість термів не дуже велика, щоб експерт кожній нечіткій множині міг поставити у відповідність лінгвістичну оцінку [146-148].
 - нечіткі множини різних термів не повинні бути еквівалентними або майже еквівалентними. Отже, графіки функцій приналежності сусідніх термів, наприклад, "Низький" та "Нижче середнього", повинні відрізнятися візуально;
 - не повинна порушуватися лінійна впорядкованість нечітких множин, тобто для терм-множини { «низький», «нижче середнього», ..., «високий» } змінної x справедливо [143]:

$$\forall x: \mu_{low}(x) \leq \mu_{lower\ than\ average}(x) \leq \dots \mu_{high}(x). \quad (2.12)$$

Виходячи з даних вимог, для системи оцінки якості визначаються наступні терми лінгвістичних змінних (показників якості сервісу): $T = \{\text{відмінне, гарне, середнє, низьке, незадовільний}\}$ з функціями приналежності, які задовольняють поставленим умовам. Детальніше формування бази знань і ієрархічної нечіткої системи розглянуто для конкретного сервісу.

2.3. Оцінка якості мультимедійного сервісу

Застосування розробленого методу оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу реалізовано для мультимедійного сервісу, тому що саме для даного виду сервісів можуть бути доступні оцінка множини показників, що пов'язано з одночасною передачею різних видів інформації (голос, відео, дані).

При проектуванні нечіткої системи були враховані рекомендації МСЕ-Т Е.802, згідно з якими для оцінки якості мультимедійних сервісів може бути застосована модель чотирьох ринків, що виділяє наступні компоненти якості сервісу [58]: створення контенту; забезпечення сервісу; мережа доставки; клієнтське обладнання.

Розглянемо оцінку QoS на прикладі сервісу «онлайн-відтворення і скачування музики». На рис. 2.5 визначені імена лінгвістичних змінних системи нечіткого логічного висновку – компонентів і показників якості сервісу згідно моделі чотирьох ринків [6, 55].

Тут Y_1 – показник по компоненту «Створення контенту»;

Y_2 – показник по компоненту «Транспорт сервісу»;

Y_3 – показник по компоненту «Забезпечення сервісу»;

Y_4 – показник по компоненту «Клієнтське обладнання»;

Z – підсумковий показник якості сервісу;

x_{ij} – критерії якості (тут i – номер компонента, j – номер критерію в i -му компоненті);

n – кількість критеріїв оцінки компонента Y_1 ;



Рис. 2.5. Змінні нечіткої ієрархічної системи – показники і компоненти якості сервісу «онлайн-відтворення і скачування музики»

m – кількість критеріїв оцінки компонента Y_2 ;

p – кількість критеріїв оцінки компонента Y_3 ;

q – кількість критеріїв оцінки компонента Y_4 .

Тоді ієрархічна структура системи оцінки ступеня задоволеності користувачів мультимедійним сервісом матиме вигляд, представлений на рис.2.6 [13].

Рівень якості сервісу «онлайн-відтворення і скачування музики» визначається множиною критеріїв (рис. 2.5), відповідно до яких визначено вхідні параметри системи нечіткого продуктивного виведення – лінгвістичні змінні x_{ij} .

В цьому випадку необхідно сформуванати 4 бази знань для кожного з компонентів якості сервісу і ще одну, яка відображатиме зв'язок між компонентами якості і ступенем задоволеності користувачів якістю сервісів. Для кожної змінної необхідно визначити терм-множини і межі значень.

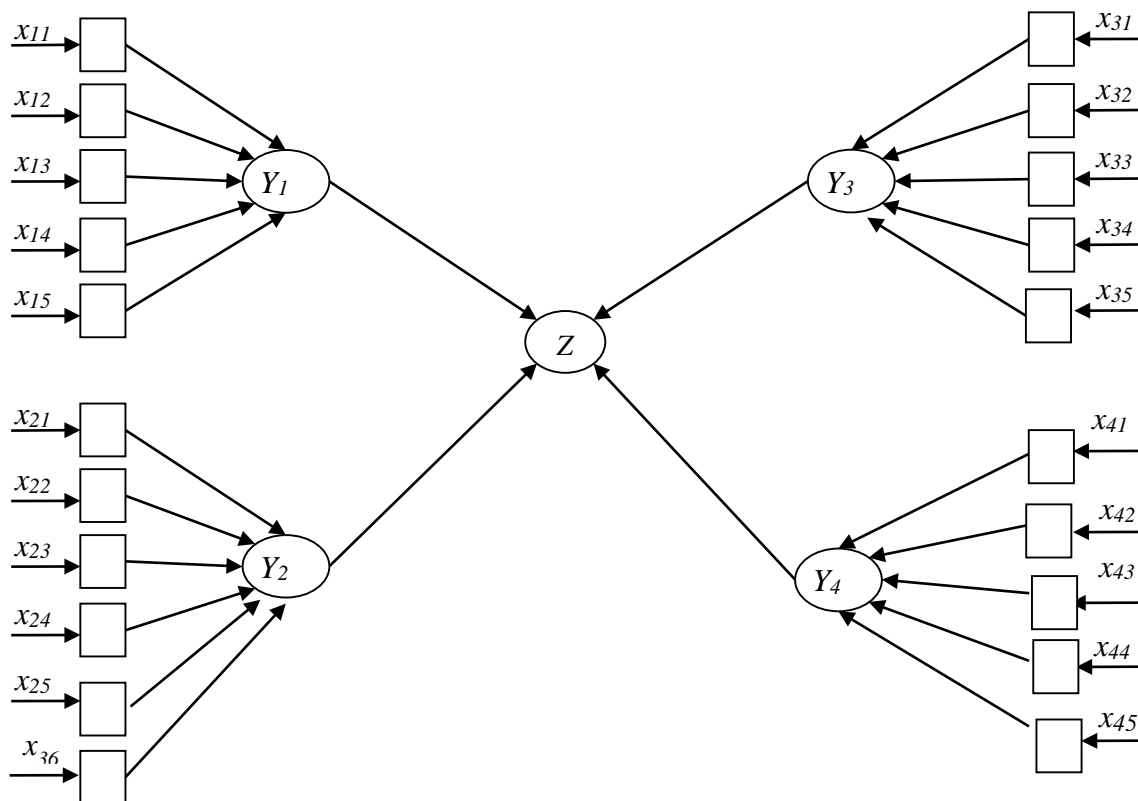


Рис. 2.6. Ієрархічна структура системи визначення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу «онлайн-відтворення і скачування музики»

При цьому розподіл термів вхідних змінних потрібно задати таким чином, щоб виконувалися умови, описані в пункті 2.3. Максимальна кількість правил для опису залежності $Z=f(x_1, x_2, \dots, x_{21})$ за допомогою однієї бази знань буде рівним $5^{21} = 4,8 \cdot 10^{14}$.

Для розробленої ієрархічної нечіткої бази знань системи оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю мультимедійного сервісу, що моделює залежність

$Z=f(x_1, x_2, \dots, x_{21})$ з використанням п'яти баз знань потрібно набагато менша кількість правил. Ці бази знань описують такі залежності: $Y_1=f_1(x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15})$, $Y_2=f_2(x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}, x_{25}, x_{26})$, $Y_3=f_3(x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{34}, x_{35})$, $Y_4=f_4(x_{41}, x_{42}, x_{43}, x_{44}, x_{45})$ та $Z=f_4(Y_1, Y_2, Y_3, Y_4)$, максимальна кількість нечітких правил складе: $5^5 + 5^6 + 5^5 + 5^5 + 5^4 = 25625$, таким чином, введення ієрархічності дозволяє зменшити кількість необхідних правил в $1,86 \cdot 10^{10}$ разів (звісно, для адекватного опису залежності "входи – вихід" необхідна значно менша кількість нечітких правил). На підставі опитувань користувачів, а також виходячи з вимог, зазначених в розділі 2.3, була сформована база знань ієрархічної нечіткої системи.

Приклад визначення терм-множин і меж значень для лінгвістичних змінних наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Визначення терм-множин для лінгвістичних змінних системи нечіткого продуктивного виведення

X	x_{11}	Ім'я змінної	актуальність контенту
		Терм-множина	[Відмінна, добра, середня, низька, незадовільна]
		Межі значень	[1,5]
	x_{12}	Ім'я змінної	технічна якість вихідного контенту
		Терм-множина	[Відмінна, добра, середня, низька, незадовільна]
		Межі значень	[1,5]
	x_{13}	Ім'я змінної	популярність контенту і виконавців
		Терм-множина	[Надзвичайно популярний, популярний, досить популярний, не дуже популярний, не популярний]
		Межі значень	[1,5]
... і т.д.			
Y	Y_1	Ім'я змінної	створення контенту
		Терм-множина	[Відмінне, добре, середнє, низької якості, незадовільне]
		Межі значень	[1,5]
	... і т.д.		
Z	Ім'я змінної	Задоволеність користувачів якістю сервісів	
	Терм-множина	[Відмінна, добра, середня, низька, погана]	
	Межі значень	[1,5]	

У табл. 2.3 наведено базу правил для компонента якості Y_1 – «Клієнтське обладнання».

Таблиця 2.3

База знань для компонента якості «Клієнтське обладнання» (Y_1)

№	Простота вибору і відтворення (x_{11})	Простота навігації та завантаження (x_{12})	Ємність пам'яті (x_{13})	Якість відтворення (x_{14})	Ергономіка пристроїв (x_{15})	Клієнтське обладнання (Y_1)
1	відмінна	відмінна	відмінна	добре	низька	добре
2	відмінна	добра	добра	середнє	середня	добре
3	добра	відмінна	середня	відмінне	низька	добре
4	відмінна	добра	добра	середнє	середня	добре
5	середня	добра	низька	низьке	відмінна	середнє
6	добра	відмінна	середня	відмінне	низька	добре
7	відмінна	відмінна	низька	відмінне	добра	відмінне
8	відмінна	низька	добра	низьке	відмінна	середнє
9	відмінна	середня	низька	добре	середня	добре
10	низька	відмінна	добра	середнє	середня	середнє
11	середня	відмінна	добра	низьке	добра	середнє
12	добра	відмінна	низька	відмінне	добра	добре
13	відмінна	низька	відмінна	Середня	відмінна	добре
14	відмінна	середня	середня	відмінне	низька	добре
15	відмінна	низька	середня	відмінне	низька	добре
	... і т.д., всього 300 правил.					

Розроблена ієрархічна нечітка система дозволяє оцінити ступінь задоволеності користувачів якістю сервісу, враховуючи при цьому всі аспекти процесу створення і надання сервісу, за які несуть відповідальність різні сторони. При цьому введення ієрархічності дозволяє значно зменшити кількість необхідних правил в базі знань системи.

2.4. Розробка методу оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю телекомунікаційних сервісів на основі використання ієрархічної нейронечіткої мережі

Запропоновано об'єднання концепцій нечіткої логіки і нейронних мереж (НМ), що дозволяє гібридній системі закладати в інформаційне поле нейронних мереж апріорний досвід експертів в сфері телекомунікацій, використовувати нечітке уявлення інформації, витягати знання з вхідного потоку показників якості сервісів. Крім того, використання методів нейронних мереж дозволяє проводити моделювання користувальницького відгуку на зміну значень показників якості без проведення додаткових опитувань.

Нейронні мережі, системи нечіткої логіки є обов'язковим інструментом інтелектуального пошуку і вилучення знань, оскільки вони мають здатність до виявлення значимих ознак і прихованих закономірностей в показниках якості сервісів, що аналізуються.

Об'єднання можливостей нейронних мереж і нечіткої логіки є найбільш перспективним підходом до організації систем інтелектуального аналізу даних [92]. Системи нечіткої логіки компенсують дві основні «непрозорості» НС в поданні знань і пояснень результатів роботи інтелектуальної системи, тобто нечітка логіка найкращим чином доповнює НМ.

Нечітка логіка дозволяє формалізувати якісну інформацію, отриману від експертів і користувачів телекомунікаційних сервісів для конкретної сфери застосування, та представити сукупність отриманих знань у вигляді системи нечітких правил логічного виводу, що дозволяє аналізувати висновки, отримані в процесі роботи гібридної інтелектуальної системи.

Нейронні мережі дають можливість відобразити алгоритми нечіткого логічного виводу в структурі НМ, вводячи в інформаційне поле нейронної мережі інформацію, отриману від експертів в сфері телекомунікацій.

При цьому використовується структура системи, представлена в підрозділі 2.2. Для ієрархічної нейронечіткої системи необхідно сформувати навчальні вибірки для

кожної з підсистем $Y_1=f_1(x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15})$, $Y_2=f_2(x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}, x_{25}, x_{26})$, $Y_3=f_3(x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{34}, x_{35})$, $Y_4=f_4(x_{41}, x_{42}, x_{43}, x_{44}, x_{45})$ й $Z=f_4(Y_1, Y_2, Y_3, Y_4)$. Сформована таким чином база знань автоматично зазнає корекції в процесі навчання нейронечіткої мережі виходячи з реальних значень показників, що аналізуються, результати корекції можуть бути в подальшому також проаналізовані [93].

Важливою особливістю нейронечітких мереж є здатність автоматично генерувати систему нечітких правил, витягуючи приховані закономірності з даних навчальної вибірки.

Теорія штучних нейронних мереж поряд з нечіткими множинами і генетичними алгоритмами є компонентом м'яких обчислень (рис. 2.7), які на відміну від класичних обчислювальних методів не ставлять за мету отримання максимально точних рішень тих завдань, суворо формалізація яких ускладнена, а кількісна оцінка всіх параметрів неможлива.



Рис. 2.7. Компоненти м'яких обчислень

Завдяки застосуванню м'яких обчислень можна уникнути втрати важливої інформації, що міститься в неточних, якісних даних, зробити процес вирішення задачі максимально близьким до людського мислення, а висновки – інтуїтивно зрозумілими. Як видно з рис. 2.7, нейронні мережі потребують меншого об'єму априорної інформації, ніж системи на базі нечіткої логіки, проте збільшується час і складність обчислень. Отже, їх застосування виправдане при поєднанні достатніх технічних можливостей і невеликого обсягу вихідної інформації. Подальшим розвитком методів

м'яких обчислень є моделі нейронечітких мереж, використання яких дозволяє зменшити роль експерта в створенні системи, так як частина параметрів механізму нечіткого виведення визначається автоматично в процесі навчання. У той же час стає логічною структура нейронної мережі, так як кожен шар нейронів виконує свою, заздалегідь визначену роль, а сформовані в результаті навчання параметри елементів мережі отримують зрозумілий досліднику сенс.

Запропонована структура нейронечіткої мережі приведена на рис. 2.8, де нейрони першого шару просто передають вхідний сигнал, виконуючи транзитну функцію.

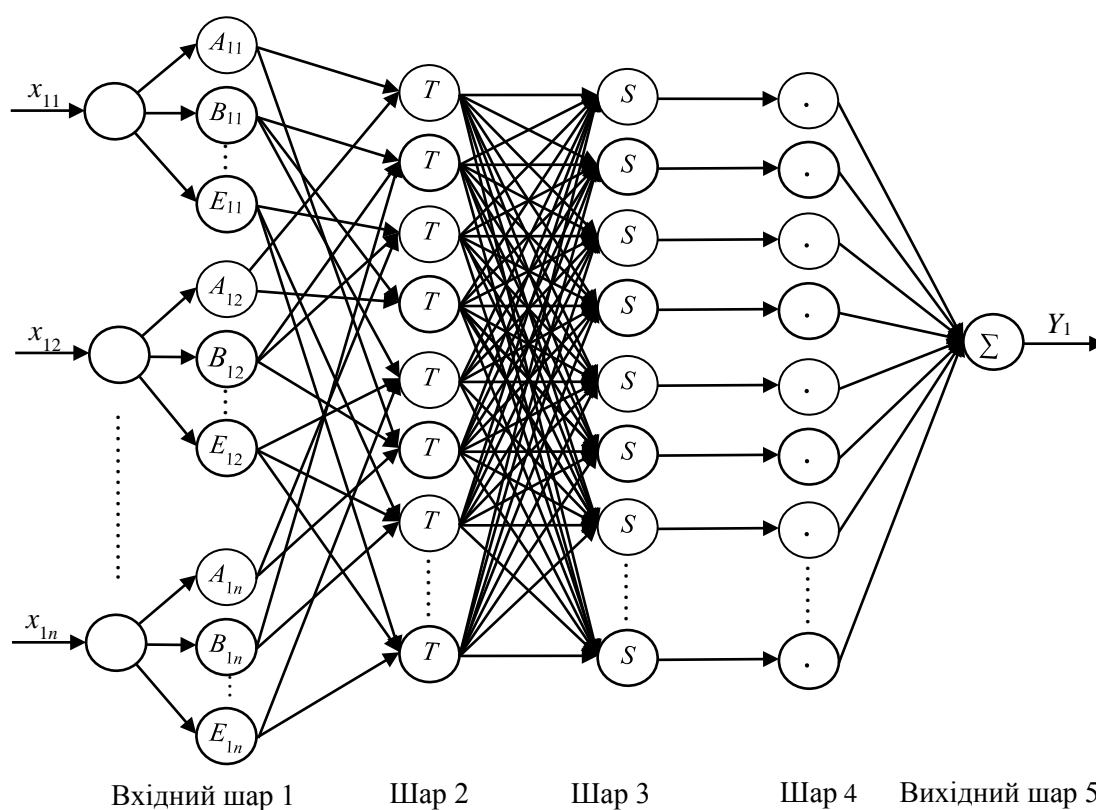


Рис. 2.8. Структура нейронечіткої мережі

Другий шар нейронів здійснює фаззифікацію вхідних змінних, моделюючи функції приналежності. Таким чином, він складається з кількості нейронів, рівної загальній кількості нечітких множин, що описують можливі значення вхідних змінних. Третій шар відповідає за визначення ступеня істинності правил, отже, він складається з нейронів, кожен з яких отримує декілька вхідних сигналів від нейронів другого шару і реалізує логічний зв'язку "І" за допомогою однієї з функцій, що

відносяться до класу t -норм (найчастіше використовується \min). Призначення третього шару нейронечіткої мережі відповідає другому етапу алгоритму нечіткого виводу, описаному в підрозділі 2.2. Аналогічним чином четвертий шар нейронів відповідає третьому етапу нечіткого логічного виведення, в свою чергу, граючи роль нечіткої операції "АБО". Нейрон вихідного шару разом з вектором ваги, що зв'язують його з вихідними сигналами попереднього шару, виконує дефазифікацію, визначаючи точне значення вихідної змінної.

Розглянемо докладніше призначення шарів нейронечіткої мережі [143].

Шар 1. Визначає нечіткі терми входних параметрів. Виходами вузлів цього шару є значення функцій приналежності (ФП) при конкретних значеннях входів. Кожен вузол шару є адаптивним з функцією приналежності $\mu_{A_i}(x)$, де x – вхід i -го вузла, $i = 1, \dots, n$; A_i – лінгвістична нечітка змінна, асоційована з даним вузлом. Для термів входних змінних обрані трапецієподібні ФП.

Шар 2. Визначає посилки нечітких правил. Даний шар – неадаптивний. Кожен вузол з'єднаний з тими вузлами першого шару, які формують передумови відповідного правила. Виконує нечітку логічну операцію «і» (тобто « \min ») на параметрах посилок правила. Виходами нейронів цього шару є мірою істинності посилок кожного j -го правила бази знань системи, обчислені за формулами [143]:

$$w_j = \min[\mu_{EZ_j}(EZ), \mu_{EF_j}(EF)], j = 1, \dots, m - 1;$$

$$w_m = 1 - \mu_{EF(m-1)}(EF). \quad (2.13)$$

Шар 3. Здійснює нормалізацію ступенів виконання правил. Неадаптивні вузли цього шару розраховують відносну ступінь (вагу) виконання нечіткого правила за формулою [143]:

$$\bar{w}_j = w_j / \sum_{j=1}^m w_j. \quad (2.14)$$

Шар 4. Нечітке число v_{kj} , що задає висновок кожного j -го правила, розглядається як нечітка множина з сингтонною ФН. Адаптивні вузли четвертого шару розраховують внесок кожного нечіткого правила в вихід мережі за формулою [143]:

$$y_j = \bar{w}_j v_{kj}, j=1, \dots, m. \quad (2.15)$$

Шар 5. Неадаптивний вузол цього шару підсумовує вклади всіх правил. [143]:

$$y = \sum_{j=1}^m y_j \quad (2.16)$$

В ієрархічних нейронечітких системах використовується алгоритм Сугено [14-15,100]. Алгоритм Сугено (*Sugeno*) виглядає наступним чином.

Формування бази правил системи нечіткого виведення здійснюється у вигляді упорядкованого узгодженого списку нечітких продукційних правил [143]:

$$\langle \text{IF } A \text{ AND } B \text{ THEN } w=\varepsilon_{1a}+\varepsilon_{2b} \rangle, \quad (2.17)$$

де антецеденти ядер правил нечіткої продукції побудовані з двох простих нечітких висловлювань A, B за допомогою логічних зв'язок «І», a і b – чіткі значення вхідних змінних, відповідні висловлюванням A і B , ε_1 і ε_2 – вагові коефіцієнти, що визначають коефіцієнти пропорційності між чіткими значеннями вхідних змінних і вихідною змінною системи нечіткого виведення, w – чітке значення вихідної змінної, визначене в висновку нечіткого правила, як дійсне число.

Фаззіфікація вхідних змінних, що визначають висловлювання, та узагальнення підумов правил нечіткої продукції здійснюється аналогічно алгоритму Мамдані за допомогою класичної нечіткої логічної операції «І» двох елементарних висловлювань A, B [143]:

$$T(A \cap B) = \min\{ T(A); T(B) \}. \quad (2.18)$$

Активізація підумов правил нечіткої продукції проводиться в два етапи. На першому етапі ступінь істинності висновків (консеквентів) нечітких продукційних правил, що ставлять у відповідність вихідній змінній дійсні числа, знаходяться аналогічно алгоритму Мамдані, як алгебраїчний добуток вагового коефіцієнта і ступеня істинності антецедента даного нечіткого продукційного правила. На другому етапі, на відміну від алгоритму Мамдані, для кожного з продукційних правил замість побудови функцій приналежності підвисновків в явному вигляді знаходиться чітке значення вихідної змінної $w = \varepsilon_{1a} + \varepsilon_{2b}$. Таким чином, кожному i -му продукційному правилу ставиться у відповідність точка $(c_i w_i)$, де c_i – ступінь істинності продукційного правила, w_i – чітке значення вихідної змінної, визначеної в консеквенті продукційного правила.

Акумуляція висновків правил нечіткої продукції не проводиться, оскільки на етапі активізації вже отримані дискретні множини чітких значень для кожної з вихідних лінгвістичних змінних.

Дефазифікація проводиться як і в алгоритмі Цукамото. Для кожної лінгвістичної змінної здійснюється перехід від дискретної множини чітких значень $\{w_1 \dots w_n\}$ до єдиного чіткого значенням згідно з дискретним аналогом методу центру тяжіння [143]:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n c_i w_i}{\sum_{i=1}^n c_i}, \quad (2.19)$$

де n – кількість правил нечіткої продукції, в підвисновках якої фігурує дана лінгвістична змінна, c_i – ступінь істинності підвисновку продукційного правила, w_i – чітке значення даної лінгвістичної змінної, встановлене в консеквенті продукційного правила.

2.5. Визначення функцій приналежності для лінгвістичних змінних системи нечіткого продуктивного виведення

Функція приналежності $\mu_A(x)$ – це деяка не імовірнісна суб'єктивна міра нечіткості, що визначається в результаті опитування експертів щодо ступеню

відповідності елемента x поняттю, що формалізується нечіткою множиною A . На відміну від імовірнісної міри, яка є оцінкою стохастичної невизначеності, що має справу з неоднозначністю настання деякої події в різні моменти часу, нечітка міра є чисельною оцінкою лінгвістичної невизначеності, пов'язаної з неоднозначністю і розпливчатістю категорій людського мислення. При побудові функції приналежності $\mu_A(x)$ з кожною нечіткою множиною A асоціюється деяка властивість, ознака або атрибут R , який характеризує деяку сукупність об'єктів X . Чим більшою мірою конкретний об'єкт $x \in X$ володіє цією властивістю R , тим ближче до відповідного значення $\mu_A(x)$. Якщо елемент $x \in X$ безумовно володіє цією властивістю R , то $\mu_A(x) = 1$, якщо ж $x \in X$ безумовно не володіє цією властивістю R , то $\mu_A(x) = 0$ [142].

Постановка задачі дослідження. Лінгвістичними змінними системи виступають компоненти і показники якості телекомунікаційного сервісу. Для визначення функцій приналежності і побудови ієрархічної системи оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів необхідно:

- визначити показники якості, які найбільш повно і всесторонньо описують всі аспекти процесу створення і надання сервісу;
- визначити значимість даних показників для користувачів;
- визначити ступінь впливу показників якості на підсумковий результат – ступінь задоволеності користувачів якістю сервісів.

Визначення методів дослідження. Л. Заде запропонував оцінювати ступінь приналежності числами з інтервалу $[0, 1]$. Фіксування конкретних значень при цьому носить суб'єктивний характер. З одного боку, для експертних методів важливим є характер вимірювань (первинний або похідний) і тип шкали [98], в якій отримують інформацію від експерта і яка визначає допустимий вид операцій, що застосовуються до експертної інформації. З іншого боку, є два типи властивостей: ті, які можна безпосередньо виміряти, й ті, що є якісними і вимагають попарного порівняння об'єктів, що володіють даною властивістю, для визначення їх відносного положення стосовно поняття, що розглядається [99]. Існує ряд методів побудови функції

приналежності нечітких множин за експертними оцінками. Можна виділити дві групи методів: прямі і непрямі

Прямі методи (найбільш відомі методи відносних частот, параметричний, інтервальний) доцільно використовувати для властивостей, ознак і атрибутів, які можна виміряти, таких як швидкість, час, температура, тиск і т.п. При використанні прямих методів як правило, буває достатньо зафіксувати вид функції принадлежности і характерні точки, за якими дискретне представлення функції принадлежности апроксимується безперервним аналогом – найбільш придатною типовою функцією принадлежности.

Непрямі методи (найбільш відомий метод парних порівнянь) використовуються в тих випадках, коли відсутні вимірні властивості об'єктів в предметній області, що аналізується. В непрямих методах значення функцій принадлежности обираються таким чином, щоб задовольняти заздалегідь сформульованим умовам. Експертна інформація є лише вихідними даними для подальшої обробки. Додаткові умови можуть накладатися як на вигляд одержуваної інформації, так і на процедуру обробки. Прикладами додаткових умов можуть бути такі:

- функція принадлежности повинна відображати наближеність до заздалегідь виділеного еталону;
- об'єкти множини U є точками в параметричному просторі;
- результатом процедури обробки повинна бути функція принадлежности, що задовольняє умовам інтервальної шкали;
- при попарному порівнянні об'єктів, якщо один об'єкт оцінюється в α разів сильніше, ніж інший, то другий об'єкт оцінюється тільки в $1 / \alpha$ разів сильніше, ніж перший, і т.д.

Як правило, прямі методи використовуються для опису понять, які характеризуються властивостями, що можна виміряти, такими як висота, зріст, вага, об'єм. У цьому випадку зручно безпосередньо задавати значення ступеня принадлежности. До прямих методів можна віднести методи, що базуються на імовірнісному трактуванні функції принадлежности $\mu_A = P(A/u)$, тобто імовірності того, що об'єкт $u \in U$ буде віднесений до множини, яке характеризує поняття A .

Якщо гарантується, що люди далекі від випадкових помилок і працюють як "надійні і правильні прилади", то можна питати їх безпосередньо із значень приналежності. Однак є спотворення, наприклад, суб'єктивна тенденція зміщати оцінки об'єктів у напрямку кінців оціночної шкали. Отже, прямі вимірювання, засновані на безпосередньому визначенні приналежності, повинні використовуватися тільки в тому випадку, коли такі помилки незначні або малоймовірні.

Непрямі методи більш трудомісткі, ніж прямі, але їхня перевага – в стійкості по відношенню до спотворень у відповіді. Для непрямих методів можна висунути умову "безумовного екстремуму": при визначенні ступеня приналежності множина досліджуваних об'єктів повинна містити як мінімум два об'єкти, чисельні уявлення яких на інтервалі $[0,1]$ приймають значення 0 та 1, відповідно [97].

Методи маркетингових досліджень в першу чергу діляться на методи збору первинних і методи збору вторинних даних [82]. Методи збору первинних даних, в свою чергу, діляться на методи збору якісних даних, методи збору кількісних даних і так звані міх-методики.

Якісні дослідження дозволяють отримати дуже докладні дані про поведінку, думку, погляди, відносини дуже невеликої групи осіб. Основні методи якісних досліджень: фокус-групи, глибинні інтерв'ю, аналіз протоколу.

Кількісні дослідження дозволяють отримати виражену кількісно інформацію про обмежене колу проблем, але від великої кількості людей, що дозволяє обробляти її статистичними методами і поширювати результати на всіх споживачів. Основні методи кількісних досліджень – різні види опитувань.

Міх-методики – змішані методи досліджень, досить вдало поєднують в собі переваги якісних і кількісних методів. Основні види міх-методик: hall-тести, home-тести і mystery shopping

Проведення дослідження. На підставі аналізу існуючих методів дослідження визначено, що для вирішення завдання врахування думки користувачів найбільш підходящими є непрямі методи. Було обрано метод опитування за допомогою анкетування вибіркової сукупності користувачів телекомунікаційних сервісів як найбільш ефективний метод дослідження ситуації та її тенденцій.

Показниками, що характеризують вибірку сукупність, є [100]:

- «Гранична помилка вибірки» – максимально можлива похибка вибірки для прийнятної ймовірності. Для визначення показника необхідно ввести довірче число t , яке дає можливість враховувати прийнятну ймовірність похибки вибірки;

- «Вибіркова дисперсія» – σ^2 , обчислюється наступним чином:

якщо досліджується частка ознаки в вибірковій сукупності [100]:

$$\sigma^2 = w(1 - w), \quad (2.20)$$

де w – частка ознаки в вибірковій сукупності;

якщо досліджується середнє значення ознаки в вибірковій сукупності [100]:

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x - \bar{X})^2}{n}, \quad (2.21)$$

де x – значення кожної ознаки в вибірковій сукупності,

\bar{X} – середнє значення ознаки в вибірковій сукупності;

N – обсяг генеральної сукупності;

n – обсяг вибіркової сукупності.

Визначення обсягу вибірки. Розраховуючи обсяг вибірки при застосуванні анкетного опитування кожної з одиниць спостереження, можна зіткнутися з проблемою оцінки середнього квадратичного відхилення в генеральній сукупності. Застосований такий шлях вирішення даної проблеми: використання більшого з можливих значень добутку $w(1 - w)$, щоб оцінити σ^2 . Це значення дорівнює $w = 0,5$. Тоді значення σ^2 дорівнює:

$$\sigma^2 = \sqrt{0,5(1 - 0,5)} = 0,5, \quad (2.22)$$

а формула для розрахунку розміру вибірки буде мати вигляд:

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2} \quad (2.20)$$

Розрахуємо необхідний обсяг вибіркової сукупності для проведення вибіркового анкетування користувачів телекомунікаційного сервісу в Україні. Параметри дослідження, які задовольняють вимогам репрезентативності дослідження, такі: допустима помилка оцінки з імовірністю 90% не повинна перевищити $\pm 5\%$.

Для ймовірності 90% довірче число $t = 1,65$. Значення $w = 0,5$ – як максимальне значення добутку $w(1 - w)$. В даному випадку $w = 0,5$ використовується через те, що немає можливості звести до одного кількісного співвимірника різні показники, які включено до розгляду в анкеті. Таким чином, на підставі врахування значення σ^2 (вираз (2.19)) отримаємо необхідний розмір вибірки, який при цьому складає:

$$n = \frac{t^2 \cdot 0,25}{\Delta^2} = \frac{1,65^2 \cdot 0,25}{0,05^2} \approx 272. \quad (2.23)$$

Розробка Анкет. Для вибору показників, що визначають якість певного сервісу, доцільно використовувати запропонований ІТУ-Т метод чотирьох ринків. При цьому слід уникати занадто великої кількості показників – оптимальним є вибір 5-6 показників, що впливають на кожен з компонентів якості.

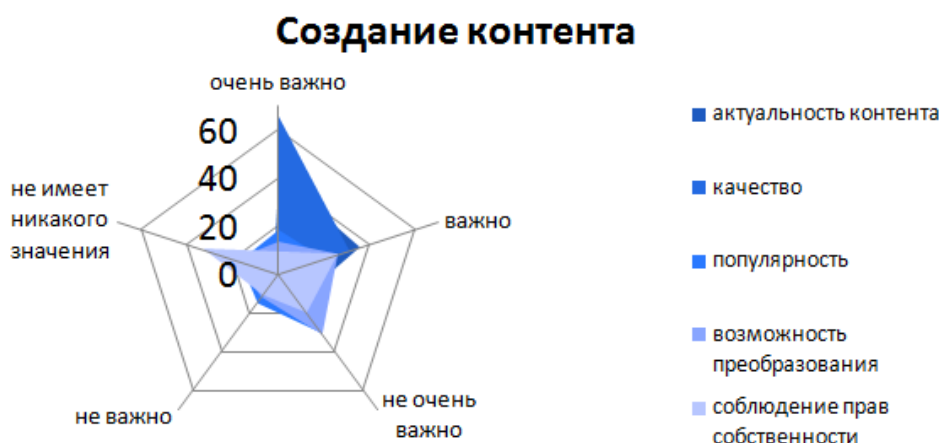
При проведенні анкетування автором було опитано необхідну кількість користувачів телекомунікаційного сервісу [35, 36, 51], а саме 300 осіб, що є достатнім для забезпечення бажаного рівня точності результатів із заданим рівнем значущості (розрахунки (2.19) і (2.21)).

Респонденти були обрані з різних верств населення, різного віку і соціального статусу (студенти, що працюють, непрацюючі, пенсіонери). В анкету було введено ряд питань, що стосуються виду діяльності користувачів, найбільш важливих аспектів якості сервісу та ін.

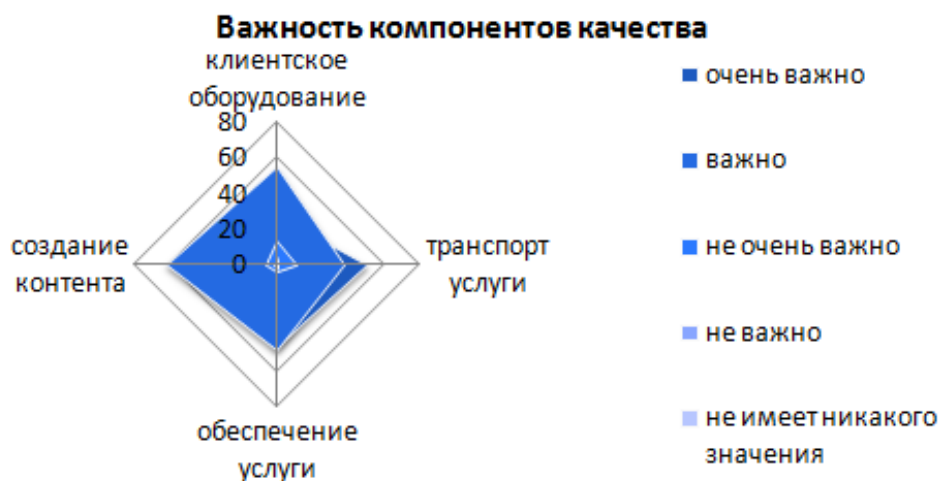
Розроблена анкета приведена в Додатку А – Анкета.

Опитування користувачів. При обробці результатів анкетування були отримані наступні дані (опитування було проведено в 2015 році).

На малюнках 2.9-2.10 наведені діаграми результатів опитування користувачів щодо важливості показників компонента якості «Створення контенту» та щодо важливості всіх розглянутих компонентів якості.

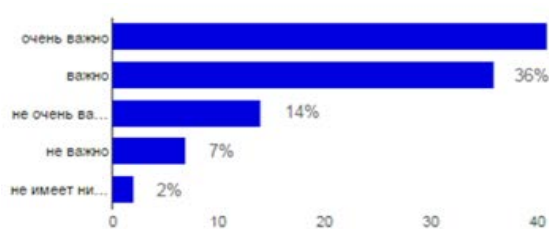


а) щодо важливості компонента якості «Створення контенту»

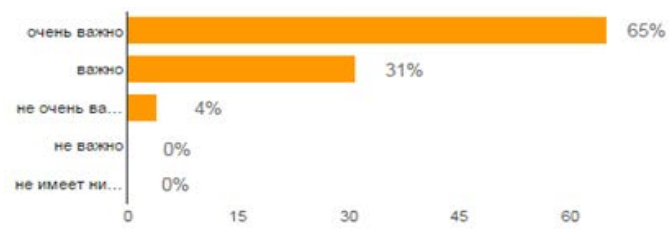


б) щодо важливості всіх розглянутих компонентів якості

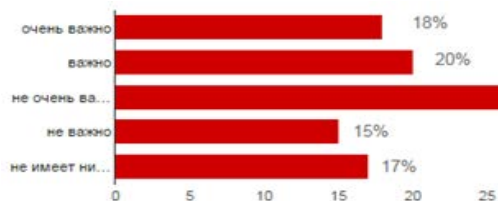
Рис. 2.9. Діаграма результатів опитування користувачів



а) «актуальність контенту»



б) «технічна якість вихідного контенту»



в) «популярність контенту і виконавців»



г) «можливість перетворення вихідного контенту в інші формати з мінімальними спотвореннями»



д) «аспекти протидії піратству і дотримання прав інтелектуальної власності»

Рис. 2.10. Результати опитування користувачів щодо показників компонента якості «Створення контенту»

Результати опитування користувачів щодо компонентів «Забезпечення сервісу» та «Клієнтське обладнання» наведені в Додатку Б – Результати опитування користувачів.

З рис. 2.11 видно, що найбільш значущими для користувачів є компоненти якості «Створення контенту» та «Клієнтське обладнання». В результаті опитування були сформовані вагові коефіцієнти для показників якості сервісів, наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Вагові коефіцієнти

x_{ij}	w_{ij}	x_{ij} , бал	x_{ij}	w_{ij}	x_{ij} , бал
x_{11}	0,21	4,2	x_{31}	0,21	4,2
x_{12}	0,21	4,5	x_{32}	0,21	4,0
x_{13}	0,19	4,3	x_{33}	0,2	4,1
x_{14}	0,21	4,0	x_{34}	0,18	3,9
x_{15}	0,18	3,8	x_{35}	0,20	4,2
x_{21}	0,20	4,0	x_{41}	0,23	4,2
x_{22}	0,30	3,9	x_{42}	0,27	4,3
x_{23}	0,10	4,1	x_{43}	0,18	3,8
x_{24}	0,10	4,2	x_{44}	0,17	4,0
x_{25}	0,20	3,8	x_{45}	0,15	3,5
x_{26}	0,10	4,0			

Як видно з результатів опитування (додаток Б), більшість користувачів хотіли б понизити абонентську плату та при цьому поліпшити якість надання сервісів. Обидва ці завдання можна вирішити завдяки використанню ієрархічної нейронечіткої системи для врахування думки користувачів при управлінні якістю сервісів.

Висновки до другого розділу

1. Удосконалено метод урахування думки користувачів щодо якості отриманих сервісів за рахунок використання нечіткої логіки, яка більш природно описує характер людського мислення і хід його міркувань, ніж традиційні формально-логічні системи, і дозволяє використовувати при розробці методів управління якістю лінгвістично сформульовані висновки користувачів щодо якості сервісів.

2. Вперше розроблено метод оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю телекомунікаційних сервісів з використанням ієрархічної нечіткої системи для оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю отриманих сервісів, яка дозволяє отримати всесторонню оцінку якості сервісу з урахуванням особливостей певного сервісу і даних, які необхідно передавати в процесі надання сервісу (звук, відео, дані або їх комбінації). Завдяки використанню індексаційної нумерації система легко масштабується, що дозволяє визначати для кожного сервісу необхідну для адекватної оцінки якості кількість компонентів якості і показників, що впливають на кожен з компонентів.

3. Застосування ієрархічної нейронечіткої системи для оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю телекомунікаційних сервісів дозволяє отримати комплексну всесторонню оцінку якості сервісів завдяки тому, що розглядаються компоненти якості сервісів, а також показники якості, що впливають на кожен з компонентів, що відображають внесок кожної зі сторін, що беруть участь в процесі створення і надання сервісів. Це дозволяє враховувати складність логіки сервісів, що надаються в ТКМ наступного покоління, а також прогнозувати реакцію користувачів на зміни стану мережі завдяки використанню методів нейронних мереж, що дозволяє отримати передбачувану реакцію користувачів на зміну значень показників якості на основі даних, отриманих раніше в результаті опитувань користувачів.

4. Для визначення функцій приналежності і завдання вихідних даних нейронечіткої мережі проведено опитування користувачів мультимедійного сервісу. Розраховано необхідний розмір вибірки, який становить 300 осіб і забезпечує точність результатів з величиною допустимої помилки не більше 5%. Результати опитування показали, що найбільш важливими для користувачів є компоненти якості «Створення контенту» та «Клієнтське обладнання». Результати опитування дозволили визначити вагові коефіцієнти показників і компонентів якості сервісу, а також сформувану навчальну вибірку для нейронечіткої мережі.

РОЗДІЛ 3.

УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ СЕРВІСІВ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

3.1. Удосконалення структури системи забезпечення якості сервісів

Як вже зазначалося, при управлінні QoS одним з найважливіших завдань є забезпечення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів [3-5, 26, 56]. У ряді робіт розглядаються питання управління якістю сервісів, однак при цьому увага в основному приділяється технічним характеристикам роботи мережі [1, 2, 49, 52, 64-66]. На відміну від загальноприйнятого методу, наведеного на рис. 2.14, в методі управління якістю сервісів, який запропоновано в даній роботі, присутні блоки аналізу і оцінки якості надаваних сервісів.

Метод управління якістю сервісів в ТКМ удосконалено за рахунок введення в структуру схеми забезпечення якості сервісів ІНС для оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів. Також розроблено процедуру роботи блоку аналізу, в якому визначається необхідність корекції показників якості сервісів та розраховується вартість корекції.

На підставі рекомендацій МСЕ-Т Е.802 і необхідності врахування вимог користувачів в роботі запропонована реалізація процесу забезпечення якості сервісів, схема якого представлена на рис. 3.1 [9].

Дамо коротку характеристику блокам схеми:

1. *Еталонні показники якості.* Визначаються постачальником сервісів і фахівцями-експертами. При необхідності можуть коригуватися на основі як експертних, так і користувальницьких оцінок.

2. *Аналіз.* Блок виконує порівняння досягнутих показників якості з встановленими еталонними показниками та інформацією, що передається каналами зворотного зв'язку від ІНС. За необхідністю – виробляє відповідні керуючі впливи.

3. *Процес надання сервісів.* Цей блок представляє процес, розроблений постачальником сервісів для надання сервісів з таким рівнем якості, який визначений еталонними показниками якості.

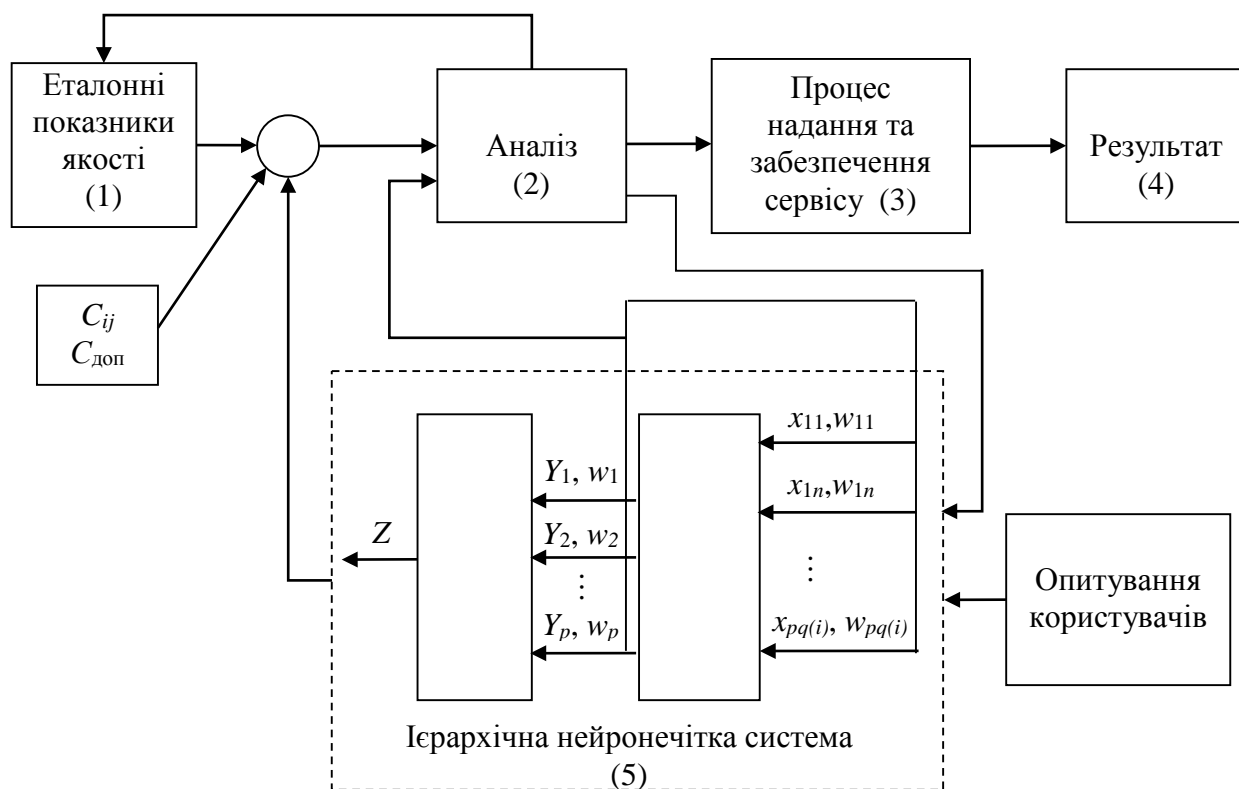


Рис. 3.1. Схема процесу забезпечення якості сервісів

4. *Результат.* Це якість сервісів, фактично наданих користувачам постачальником сервісів, що є результатом процесу забезпечення якості.

5. *Ієрархічна нечітка система (ІНС).* На підставі об'єктивних вимірів характеристик роботи мережі і отриманих в результаті опитування користувачів визначається ступінь задоволеності користувачів якістю сервісів. В роботі [4] представлено метод моделювання процесу визначення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу на основі застосування ієрархічної нечіткої системи.

Блок-схему реалізації удосконаленого методу управління якістю сервісів приведено на рис. 3.2.

В якості підсумкового показника – вихідної лінгвістичної змінної Z – виступає ступінь задоволеності користувачів якістю сервісів.

Процес являє функціональне відображення вигляду [8]:

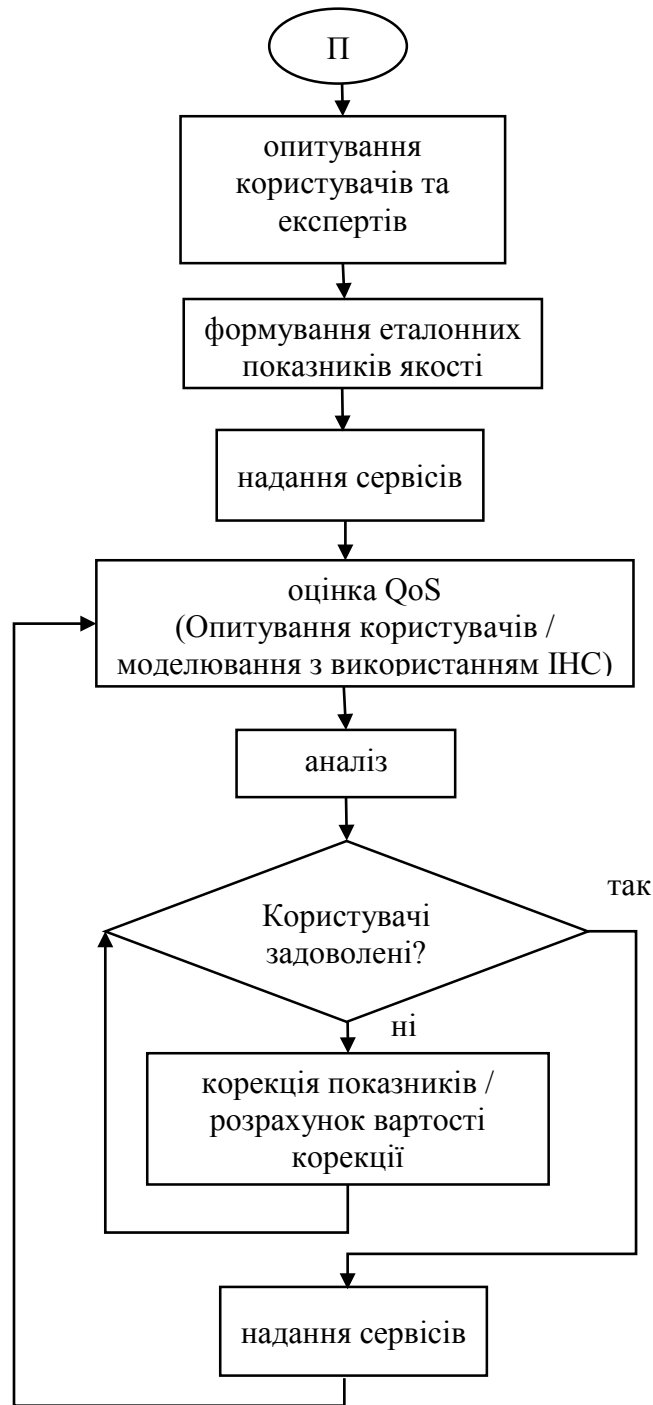


Рис. 3.2. Блок-схема реалізації удосконаленого методу управління якістю сервісів в телекомунікаційних мережах

$$\left. \begin{aligned}
 & Y_1, w_1; Y_2, w_2; \dots; Y_i, w_i; \dots; Y_p, w_p \} \rightarrow Z, \\
 & X_1(x_{11}, w_{11}; x_{12}, w_{12}; \dots; x_{1n}, w_{1n}) \rightarrow Y_1, \\
 & X_2(x_{21}, w_{21}; x_{22}, w_{22}; \dots; x_{2m}, w_{2m}) \rightarrow Y_2, \\
 & \dots \dots \dots \\
 & X_p(x_{p1}, w_{p1}; x_{p2}, w_{p2}; \dots; x_{pq(i)}, w_{pq(i)}) \rightarrow Y_p .
 \end{aligned} \right\} \quad (3.13.2)$$

Тут X – вектор впливаючих факторів,

x_{ij} – показники, що впливають на компонент якості Y_i ,

w_{ij} – значимість, «вага» показників x_{ij} ($i=\overline{1, p}, j=\overline{1, q(i)}$),

p – кількість компонентів якості,

$q(i)$ – кількість показників, що впливають на компонент якості Y_i .

«Ваги» w_{ij} показників доцільно виражати в бальній системі на основі експертних та користувальницьких оцінок.

В ієрархічних системах вихід однієї бази знань подається на вхід іншої бази знань. На першому рівні ієрархії визначаються значення, що досягаються кожним з компонентів якості сервісів ($Y_1, Y_2, \dots, Y_i, \dots, Y_p$). На другому рівні ієрархії в залежності від значень, досягнутих за кожним з компонентів, визначається підсумковий показник Z – ступінь задоволеності користувачів якістю сервісів.

3.2. Процедура роботи блоку аналізу

Розглянемо роботу блоку аналізу. В даному блоці визначається, чи відповідає ступінь задоволеності користувачів якістю сервісу рівню, визначеному еталонними показниками якості.

У разі невідповідності система визначає причину – порівнює фактичні показники якості (QoS, досягнуте оператором) з еталонними значеннями (QoS, пропоноване оператором). При цьому порівняння проводиться по низхідній: спочатку аналізуються компоненти якості Y_i ($i=\overline{1, p}$), потім, в разі виявлення відхилень, показники якості x_{ij} ($i=\overline{1, p}; j=\overline{1, q(i)}$) компонентів, значення яких не відповідають необхідному рівню. У разі недостатнього рівня, досягнутого будь-яким з показників (Y_i, x_{ij}), генерується рекомендація / керуючий вплив, спрямований на підвищення значення даного показника (приймається, що більш високому рівню якості відповідає більше значення показника).

Якщо користувачі не задоволені отриманим рівнем якості сервісів, але при цьому значення показників якості відповідають еталонним, встановленим постачальником сервісів, розглядається можливість корекції еталонних показників якості з урахуванням норм даних показників, визначених міжнародними організаціями

стандартизації, а також існуючими ресурсами системи. У разі, коли всі еталонні значення показників відповідають міжнародним нормам, а зміна значень показників не може бути здійснена в зв'язку з обмеженнями ресурсів системи та / або допустимих фінансових витрат на підвищення якості сервісу, виникає ситуація, коли претензії користувачів є або необґрунтованими, або їх неможливо врахувати. В даному випадку необхідно провести з користувачами роз'яснювальну роботу, надавши інформацію про ресурси системи в рамках поточної вартості сервісів. В іншому випадку, при невідповідності еталонних показників якості міжнародним нормам, здійснюється корекція цих показників.

Структурна схема процедури роботи блоку аналізу представлена на рис. 3.3 [12]. Всі складові структурної схеми позначено номерами, які в подальшому будемо називати «кроками». Реалізація блоку аналізу здійснюється з урахуванням результатів роботи ІНС.

«Крок 1» – початок роботи процедури.

На «кроці 2» в блок аналізу вводяться: поточне значення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів (отримане на основі опитування користувачів або в результаті роботи ІНС) та еталонне, встановлене постачальником сервісів (Z , $Z_{ет}$ відповідно); значення компонентів і показників, що впливають на компоненти якості – Y_i , w_i , x_{ij} , w_{ij} , $Y_{iет}$, $x_{iет}$ ($i=\overline{1,p}$; $j=\overline{1,q(i)}$). За аналогією з (3.1) еталонні показники визначаються наступним чином (3.2) [9]:

$$\left. \begin{aligned} Y_{1ет}, w_1; Y_{2ет}, w_2; \dots; Y_{iет}, w_i; \dots; Y_{pет}, w_p \} &\rightarrow Z_{ет}, \\ X_1(x_{11ет}, w_{11}; x_{12ет}, w_{12}; \dots; x_{1nет}, w_{1n}) &\rightarrow Y_{1ет}, \\ X_2(x_{21ет}, w_{21}; x_{22ет}, w_{22}; \dots; x_{2mет}, w_{2m}) &\rightarrow Y_{2ет}, \\ &\dots\dots\dots \\ X_p(x_{p1ет}, w_{p1}; x_{p2ет}, w_{p2}; \dots; x_{pq(i)ет}, w_{pq(i)}) &\rightarrow Y_{pет}. \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Для кожного з компонентів запропоновано використання адитивної функції середньо-зваженої оцінки – запропоновано значення кожного компонента якості

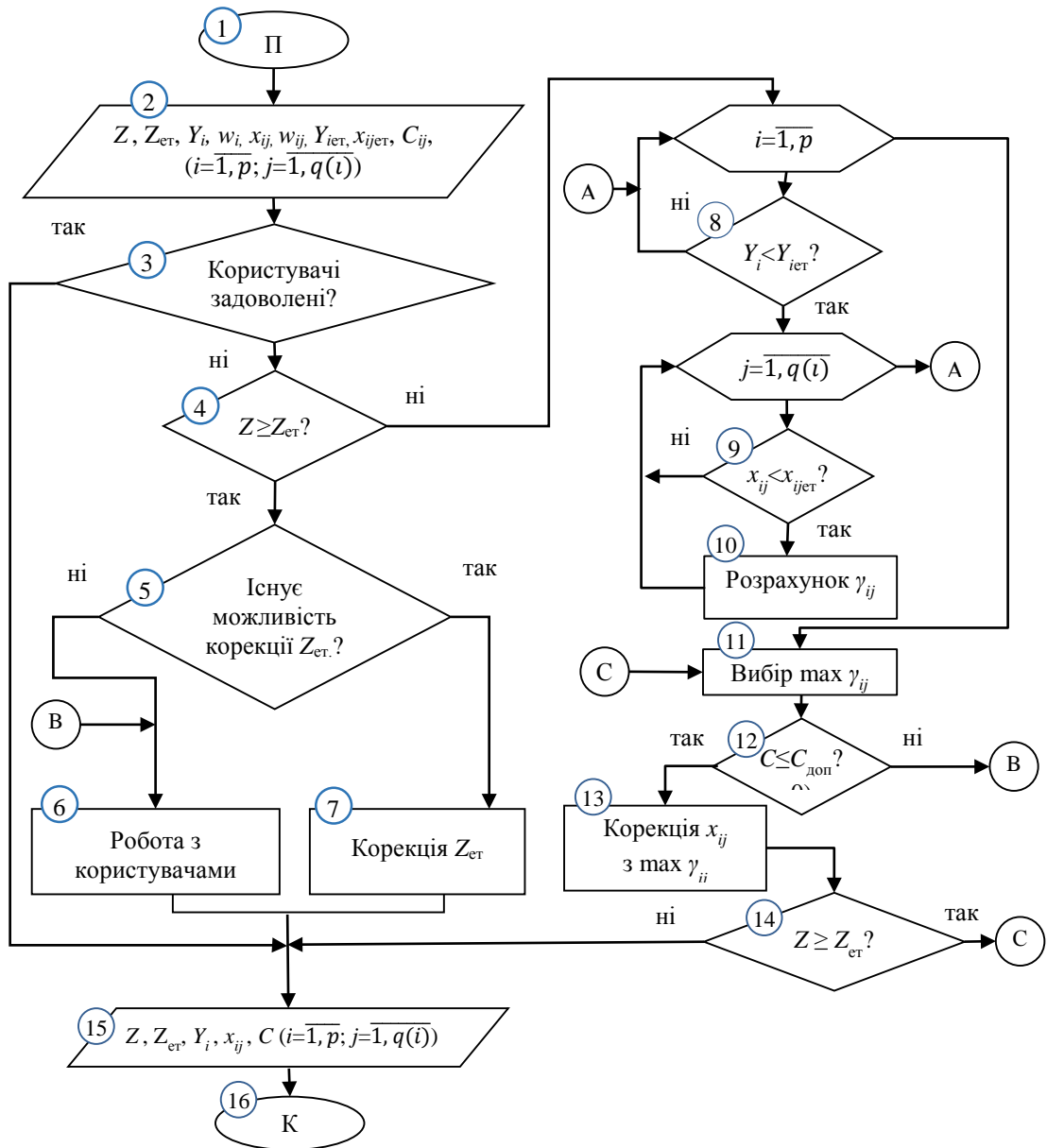


Рис. 3.3. Структурна схема процедури роботи блоку аналізу

представляти як суму зважених значень показників якості, визначених у балах. У цьому випадку розрахунок компонентів якості здійснюється наступним чином:

$$Y_i = \sum_{j=1}^{q(i)} x_{ij} w_{ij} \quad (3.3)$$

Аналогічним чином запропоновано визначати значення еталонних компонентів якості:

$$Y_{\text{ет}} = \sum_{j=1}^{q(l)} x_{ij\text{ет}} w_{ij} \quad (3.4)$$

Також вводяться величина витрат C_{ij} , необхідних для корекції показника якості x_{ij} , і загальна допустима величина витрат $C_{\text{доп}}$.

На «кроці 3» здійснюється перевірка, чи задоволені користувачі якістю наданих сервісів, і, якщо відповідь позитивна, здійснюється перехід до закінчення роботи процедури – до «кроку К». В іншому випадку здійснюється перехід до «кроку 4».

На «кроці 4» перевіряється відповідність поточного значення Z еталонному $Z_{\text{ет}}$. Якщо умова «кроку 4» виконується, то здійснюється перехід до «кроку 5», в іншому випадку – до «кроку 8».

На «кроці 5» перевіряється можливість корекції еталонного показника $Z_{\text{ет}}$. Якщо такої можливості немає, здійснюється перехід до «кроку 6» – проводиться роз'яснювальна робота з користувачами. Після чого – перехід до «кроку К». Якщо можливість корекції еталонних показників якості існує, – на «кроці 7» здійснюється корекція $Z_{\text{ет}}$, після чого також здійснюється перехід до «кроку К».

На «кроці 8» порівнюються поточні Y_i і еталонні $Y_{\text{ет}}$ значення компонентів якості ($i=\overline{1, p}$). Порівняння відбувається в циклі для всіх Y_i . У разі невідповідності деяких Y_i значенням $Y_{\text{ет}}$ – на «кроці 9», також в циклі для всіх x_{ij} ($j=\overline{1, q(l)}$), порівнюються поточні x_{ij} й еталонні $x_{ij\text{ет}}$ значення показників якості. Далі необхідно перейти до корекції показників якості.

Корекцію показників якості у разі незадоволеності користувачів якістю сервісу запропоновано проводити з використанням наступного підходу до поліпшення якості сервісів, що складається з послідовних етапів.

З огляду на те, що Z – функція, яка характеризує ступінь задоволеності користувачів якістю сервісу, на кожному кроці визначається компонент якості, а також показники, які впливають на даний компонент якості, корекція яких дозволить досягти максимального підвищення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу. Необхідно максимізувати ступінь задоволеності користувачів якістю сервісів Z з урахуванням обмежень, визначених величиною допустимих витрат на корекцію показників якості за умови [16]:

$$C = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{q(i)} C_{ij} \leq C_{\text{доп.}} \quad (3.5)$$

Тут C_{ij} – витрати, необхідні для зміни значення показника x_{ij} ($1 \leq x_{ij} \leq 5$); C – загальні витрати; $C_{\text{доп}}$ – допустима величина витрат; p – кількість розглянутих компонентів якості; $q(i)$ – кількість розглянутих показників якості i -го компонента.

При розрахунку загальних витрат C враховуються витрати обраних учасників процесу створення та надання сервісів. Відзначимо, що процес максимізації значення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів Z представляється послідовністю етапів, на кожному з яких необхідно знайти той показник якості, поліпшення значення якого дасть найбільший «питомий» вигрaш в прирості показника Z , іншими словами – найбільший приріст на одиницю вартості.

Припустимо, користувачі не задоволені декількома показниками x_{ij} . Необхідно порівняти фактичні значення показників з еталонними. Якщо для деяких показників виконується умова (3.6):

$$x_{ij} < x_{ij\text{ет}} \quad (3.6)$$

наступним кроком – на «кроці 10» буде розрахунок витрат на корекцію даних показників. Здійснюється розрахунок відносної величини змін, або співвідношення виробленого ефекту щодо поліпшення якості сервісів до необхідних для цього витрат ресурсів [16]:

$$\gamma_{ij} = w_{ij} \frac{x_{ij}(k+1) - x_{ij}(k)}{\Delta C_{ij} * x_{ij}(k)} \quad (3.7)$$

Тут γ_{ij} – відносна величина, що характеризує приріст показника якості x_{ij} на одиницю вартості; k – номер етапу; ΔC_{ij} – витрати на зміну значення показника x_{ij} ($i=\overline{1, p}; j=\overline{1, q(i)}$).

В результаті отримаємо множину $Y = \{\gamma_{ij} / \gamma_{ij} = f(x_{ij}), \forall x_{ij} < x_{ij\text{ет}}\}$.

Далі на «кроці 11» необхідно на кожному етапі для всіх показників якості x_{ij} , що потребують корекції, розрахувати значення γ_{ij} та обрати максимальне. Таким чином, зміна (поліпшення) показника x_{ij} забезпечить найбільший «питомий» вигреш в прирості значення показника Z .

Далі на кожному етапі k здійснюється розрахунок значення C і перевірка виконання умови (3.5) – «крок 12». Якщо умова (3.5) виконується, відбувається перехід до «кроку 13» і здійснюється корекція обраного показника якості, після чого на «кроці 14» проводиться моделювання з використанням ІНС, в результаті якого отримується імовірна реакція користувачів на зміну рівня якості сервісів. У разі задоволеності користувачів – процес корекції показників якості завершується – перехід до «кроку К». У разі незадоволеності – знову обирається $\gamma_{ij} = \max U$ і визначається наступний показник x_{ij} для корекції. Процес здійснюється до тих пір, поки користувачі не будуть задоволені якістю сервісів, або коли умова (3.5) не буде виконуватись. У разі, якщо ресурси системи вичерпано, але користувачі не задоволені, – здійснюється перехід до «кроку б», де проводиться роз'яснювальна робота з користувачами.

Таким чином будуть відкориговані ті показники, зміна яких призведе до максимально позитивного результату в рамках допустимих витрат. При цьому межі корекції показників якості сервісів обумовлюються як внутрішніми можливостями мережі, так і зовнішніми – рекомендаціями і нормами міжнародних організацій стандартизації.

3.3. Забезпечення необхідної якості сервісів із застосуванням удосконаленого методу управління якістю сервісів

В якості порівняльного аналізу проведемо експериментальне порівняння існуючого підходу до забезпечення якості сервісів та вдосконаленого, в рамках даної роботи, методу управління QoS з урахуванням думки користувачів. Розглянемо Приклад 1 реалізації роботи удосконаленого методу управління згідно з процедурами роботи системи забезпечення якості сервісів, наведеними на рис. 3.2 – 3.3.

Формування вхідних даних. На базі експертної оцінки визначено еталонні показники якості x_{ijet} , наведені в табл. 3.2 – 3.5. Значення показників, менші від еталонних, виділено. У табл. 3.1. задано кількість компонентів якості p , а також кількість показників якості $q(i)$, що впливають на кожен з компонентів. Крім того, вказана величина допустимих витрат $C_{доп}$.

Таблиця 3.1

Вхідні дані системи

p	$q(1)$	$q(2)$	$q(3)$	$q(4)$	$C_{доп}$ (у.о.)
4	5	6	5	5	50 000

У табл. 3.2. наведені значення еталонних і поточних показників якості компонента Y_1 «Створення контенту» та витрат, необхідних для зміни кожного з показників якості, які будуть використовуватись в даному прикладі розрахунку.

Таблиця 3.2

Вхідні значення показників якості компонента Y_1 «Створення контенту»

N п/п	Показники якості	x_{ij} , бали	w_{ij}	x_{ijet} , бали	C_{ij} , тыс.у.о.
x_{11}	актуальність контенту;	4,0	0,21	4,2	12
x_{12}	технічна якість вихідного контенту;	3,0	0,21	4,5	25
x_{13}	популярність контенту і виконавців;	4,5	0,19	4,3	27
x_{14}	можливість перетворення вихідного контенту в інші формати з мінімальними спотвореннями;	4,0	0,21	4,0	8
x_{15}	аспекти протидії піратству і дотримання прав інтелектуальної власності.	5,0	0,18	3,8	16

Згідно з виразами (3.3) і (3.4) було отримано еталонне значення компонента якості:

$$Y_{1er} = \sum_{j=1}^5 x_{1jet} w_{1j} = 4,168$$

і поточне:

$$Y_1 = \sum_{j=1}^5 x_{1j} w_{1j} = 4,065$$

У табл. 3.3 наведені значення еталонних і поточних показників якості компонента Y_2 «Транспорт сервісу» та витрат, необхідних для зміни кожного з показників якості.

Таблиця 3.3

Вхідні значення показників якості компонента Y_2 «Транспорт сервісу»

N п/п	показники якості	x_{ij} , бали	w_{ij}	$x_{ijет}$, бали	C_{ij} , тыс.у.о.
x_{21}	смуга пропуску;	4,0	0,2	4,0	25
x_{22}	мережева затримка;	3,0	0,3	3,9	10
x_{23}	варіація затримки і помилки;	4,5	0,1	4,1	18
x_{24}	колізії;	4,7	0,1	4,2	9
x_{25}	двостороння затримка * сервер + додаток + мережа *;	3,0	0,2	3,8	15
x_{26}	спотворення.	4,0	0,1	4,0	14

Згідно з виразами (3.3) і (3.4) було отримано еталонне значення компонента якості:

$$Y_{2ет} = \sum_{j=1}^6 x_{2jет} w_{2j} = 4,084$$

і поточне:

$$Y_2 = \sum_{j=1}^6 x_{2j} w_{2j} = 3,62$$

У табл. 3.4. наведені значення еталонних і поточних показників якості компонента Y_3 «Забезпечення сервісу» та витрат, необхідних для зміни кожного з показників якості.

Таблиця 3.4

Вхідні значення показників якості компонента Y_3 «Забезпечення сервісу»

N п/п	показники якості	x_{ij} , бали	w_{ij}	$x_{ij\text{ет}}$, бали	C_{ij} , тыс.у.о.
x_{31}	простота навігації при пошуку музики;	4,4	0,21	4,2	5
x_{32}	безпеку;	3,0	0,22	4,0	18
x_{33}	коректність умов контрактів;	3,0	0,19	4,1	8
x_{34}	цінова політика, види тарифікації;	4,0	0,18	3,9	20
x_{35}	підтримка клієнтів.	4,5	0,20	4,2	15

Згідно з виразами (3.3) і (3.4) було отримано еталонне значення компонента якості:

$$Y_{3\text{ет}} = \sum_{j=1}^6 x_{3j\text{ет}} w_{3j} = 3,96$$

і поточне:

$$Y_3 = \sum_{j=1}^6 x_{3j} w_{3j} = 3,774$$

У табл. 3.5 наведені значення еталонних і поточних показників якості компонента Y_4 «Клієнтське обладнання» і витрат, необхідних для зміни кожного з показників якості.

Таблиця 3.5

Вхідні значення показників якості компонента Y_4 «Клієнтське обладнання»

N п/п	показники якості	x_{ij} , бали	w_{ij}	$x_{ij\text{ет}}$, бали	C_{ij} , у.о.
x_{41}	простота вибору і відтворення;	4,5	0,20	4,2	100
x_{42}	простота навігації та завантаження;	4,55	0,20	4,3	100
x_{43}	ємність накопичувача;	3,0	0,19	3,8	20
x_{44}	якість відтворення;	4,0	0,21	4,0	150
x_{45}	ергономіка пристроїв.	4,0	0,18	3,5	100

Згідно з виразами (3.3) і (3.4) було отримано еталонне значення компонента якості:

$$Y_{4\text{ет}} = \sum_{j=1}^5 x_{4j\text{ет}} w_{4j} = 4,016$$

і поточне:

$$Y_4 = \sum_{j=1}^5 x_{4j} w_{4j} = 4,0835$$

У табл. 3.6 зведені значення еталонних і поточних значень компонентів якості.

Таблиця 3.6

Еталонні і поточні значення показників якості

i	$Y_{i\text{ет}}$, бали	w_i	Y_i , бали
1	4,168	0,25	4,0650
2	4,084	0,26	3,6200
3	3,960	0,26	3,7740
4	4,016	0,23	4,0835

Згідно з (3.2) було отримано еталонне значення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу:

$$Z_{\text{ет}} = \sum_{i=1}^4 Y_{i\text{ет}} w_i = 4,056,$$

і поточне:

$$Z = \sum_{i=1}^4 Y_i w_i = 3,878.$$

Отримуємо $Z < Z_{\text{ет}}$. Отже, потрібна корекція показників якості. Визначимо компоненти якості, значення яких не відповідають стандарту. З табл. 3.6 видно, що це компоненти Y_1 , Y_2 і Y_3 . Далі відповідно до виразу (3.6) визначимо показники якості, значення яких не відповідають еталонним (табл. 3.7).

Показники якості, що вимагають корекції

N п/п	показники якості	x_{ij} , бали	w_{ij}	$x_{ij\text{ет}}$, бали	C_{ij} , тис. у.о.
x_{12}	технічна якість вихідного контенту;	3	0,21	4,5	25
x_{22}	мережева затримка;	3	0,30	3,9	10
x_{25}	двостороння затримка * сервер + додаток + мережа *;	3	0,20	3,8	15
x_{32}	безпека;	3	0,21	4,0	18
x_{33}	коректність умов контрактів;	3	0,2	4,1	8

Прийmemo, що рекомендації, дані системою, виконуються всіма сторонами, які беруть участь в процесі створення і надання сервісу. Далі, відповідно до виразу (3.7) можна здійснити розрахунок відносної величини змін, або співвідношення виробленого ефекту щодо поліпшення якості сервісів Δx_{ij} до необхідних для цього витрат ресурсів C_{ij} :

$$\gamma_{12} = w_{12} \frac{x_{12}(k+1) - x_{12}(k)}{C_{12} * x_{12}(k)} = 0,21 \frac{4,5 - 3}{25 * 3} = 0,0042.$$

Аналогічним чином порахуємо інші значення і отримаємо дані, наведені в табл. 3.8. Для досягнення максимального ефекту при мінімальних витратах ресурсів необхідно проводити корекцію показників з максимальною величиною γ_{ij} . В останньому стовпчику таблиці вказано оптимальний порядок корекції.

Таблиця 3.8

Розрахунок відносної величини змін

γ_{ij}	γ_{ij}	порядок корекції
γ_{12}	0,00420	3
γ_{22}	0,00900	2
γ_{25}	0,00356	5
γ_{32}	0,00389	4
γ_{33}	0,00917	1

Як видно з таблиці, найбільше значення має величина γ_{33} , тому корекцію значення показника x_{33} доцільно провести в першу чергу. Витрати на зміну значення даного показника задовольняють умові (3.4):

$$C_{33} = 8\,000 < C_{\text{доп}} = 50\,000.$$

Обчислимо значення компонента якості Y_3 за даними табл. 3.4 з урахуванням зміни значення відкоригованого показника (с $x_{32}(k)=3$ на $x_{32}(k+1)=4,1$):

$$Y_3 = \sum_{j=1}^6 x_{3j} w_{3j} = 3,994.$$

Обчислимо значення Z з урахуванням результатів корекції:

$$Z = \sum_{i=1}^4 Y_i w_i = 4,065 * 0,25 + 3,994 * 0,26 + 3,62 * 0,26 + 4,084 * 0,23 = 3,935.$$

Перевіримо, чи відповідає значення Z еталонному:

$$Z = 3,935 < Z_{\text{ет}} = 4,056,$$

отже, необхідна подальша корекція показників. З табл. 3.8 видно, що наступним за величиною є значення γ_{22} . Перевіримо виконання умови (3.4):

$$C = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{q(i)} C_{ij} = 8\,000 + 10\,000 = 18\,000 < C_{\text{доп}} = 50\,000.$$

Умова виконується. В наступній ітерації була виконана послідовність розрахунків, результати яких наведено в табл. 3.9.

Таблиця 3.9

Результати корекції показників якості

№ ітерації, k	x_{ij}	значення x_{ij} до корекції, бали	значення x_{ij} після корекції, бали	C_{ij} , тис. у.о.	C , тис. у.о.	Y_i	значення Y_i до корекції, бали	значення Y_i після корекції, бали	Z , бали
1	x_{33}	3	4,1	8	8	Y_3	3,700	3,994	3,935
2	x_{22}	3	3,9	10	18	Y_2	3,620	3,890	4,005
3	x_{12}	3	4,5	25	43	Y_1	4,065	4,350	4,084

В результаті виконаних змін відкориговано ступінь задоволеності користувачів якістю сервісу:

$$Z = 4,084 > Z_{\text{ет}} = 4,056,$$

отже, необхідний результат досягнуто.

Більш наочно результати корекції показано на рисунку 3.4. Щоб визначити величину економії, розрахуємо загальну суму, необхідну для корекції всіх показників якості, значення яких менші від еталонних (табл. 3.2-3.5):

$$C = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{q(i)} C_{ij} = C_{12} + C_{22} + C_{25} + C_{32} + C_{33} = 76\,000 > C_{\text{доп}} = 50\,000.$$

Таким чином, при розглянутих вихідних даних застосування запропонованого методу корекції показників якості дозволяє зменшити кількість ітерацій на 40% і досягти функції мети з економією 14% від суми допустимих витрат. У результаті проведеної корекції значення показника Z підвищено на 6%.



Рис. 3.4. Результати корекції показників для Прикладу 1

Розглянемо Приклад 2, коли необхідна корекція еталонних показників. Значення вхідних даних для прикладу 2 наведені в табл. 3.10. У таблиці виділено показники якості, значення яких не відповідають еталонним.

Вхідні дані

№ п/п	x_{ij} , бали	w_{ij}	$x_{ij\text{ет}}$, бали	C_{ij} , тис.у.о.	№ п/п	x_{ij} , бали	w_{ij}	$x_{ij\text{ет}}$, бали	C_{ij} , тис.у.о.
x_{11}	3,2	0,24	4,2	12	x_{31}	4,0	0,20	4,0	25
x_{12}	4,0	0,26	4,5	25	x_{32}	3,9	0,30	3,9	10
x_{13}	4,0	0,17	4,3	27	x_{33}	5,0	0,10	4,1	18
x_{14}	4,3	0,17	4,0	8	x_{34}	5,0	0,10	4,2	9
x_{15}	4,0	0,15	3,8	16	x_{35}	3,8	0,20	3,8	15
x_{21}	4,5	0,21	4,2	5	x_{36}	4,0	0,10	4,0	14
x_{22}	3,5	0,22	4,0	18	x_{41}	4,2	0,20	4,2	10
x_{23}	4,1	0,19	4,1	8	x_{42}	4,5	0,20	4,3	10
x_{24}	3,0	0,18	3,9	20	x_{43}	4,0	0,19	3,8	20
x_{25}	3,5	0,20	4,2	15	x_{44}	3,2	0,21	4,0	35
					x_{45}	4,0	0,18	3,5	25

За аналогією з Прикладом 1 розрахуємо значення компонентів якості Y_i та відносної величини змін γ_{ij} (табл. 3.11-3.12).

Таблиця 3.11

Еталонні і поточні значення показників якості

i	$Y_{\text{ет}}$, бали	w_i	Y_i , бали
1	4,159	0,25	3,819
2	4,083	0,26	3,671
3	3,960	0,26	4,130
4	3,892	0,23	3,892

Розрахунок відносної величини змін

γ_{ij}	γ_{ij}	порядок корекції
γ_{11}	0,006250	1
γ_{12}	0,001300	5
γ_{13}	0,000472	6
γ_{22}	0,001746	4
γ_{24}	0,002700	2
γ_{25}	0,002667	3

Відповідно до визначеного в табл. 3.12 порядку корекції розрахуємо за аналогією з попереднім прикладом зміну значень компонентів якості і ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів. Результати розрахунків наведені в табл. 3.13.

Таблиця 3.13

Результати корекції показників якості

№ ітерації, k	x_{ij}	значення x_{ij} до корекції, бали	значення x_{ij} після корекції, бали	C_{ij} , тис. у.о.	C , тис. у.о.	Y_i	значення Y_i до корекції, бали	значення Y_i після корекції, бали	Z , бали
1	x_{11}	3,2	4,2	12	12	Y_1	3,819	4,059	3,938
2	x_{24}	3,0	3,9	20	32	Y_2	3,671	3,833	3,980
3	x_{25}	3,5	4,2	15	47	Y_2	3,833	3,973	4,016
4	x_{22}	3,5	4,0	18	65	Y_2	3,973	4,083	4,045

Як видно з табл. 3.13, для виконання умови $Z = 4,045 \geq Z_{\text{ет}} = 4,02$ потрібно виконати корекцію 4-х показників якості. Однак, після 3 ітерації перевищується гранично допустима величина витрат $C = 65 > C_{\text{доп}} = 50$. В даному випадку згідно з процедурою роботи блоку аналізу, описаною в підрозділі 3.2, необхідна корекція еталонних показників якості.

Таким чином, розроблений метод управління якістю сервісів в ТКМ дозволяє визначати, які показники якості вимагають корекції, розраховувати вартість корекції, а також виконати корекцію показників якості з урахуванням обмежень ресурсів

мережі. Це дає можливість підтримувати ступінь задоволеності користувачів якістю сервісів на необхідному рівні.

3.4. Метод формування загальної оцінки якості сервісів для мереж з розподіленим принципом управління

Для телекомунікаційних мереж наступного покоління NGN характерне поєднання принципів децентралізованого управління та децентралізованого функціонування окремих елементів. Якщо комп'ютер стає головним елементом користувачів телекомунікаційних мереж наступного покоління, то природно використовувати комп'ютери як інтелектуальні пристрої в різних вузлах мережі і створювати на основі мікропроцесорів окреме обладнання.

Таким чином, NGN – це мережі розподіленого машинного інтелекту. Вибір між централізованими і розподіленими (децентралізованими) принципами управління системами в багатьох випадках складний. Але одне можна стверджувати впевнено: розподілені системи більш стабільні і здатні певною мірою коригувати збої в мережі. Наприклад, якщо керуючий зв'язок буде пошкоджено, віддалений інтелектуальний модуль може продовжувати функціонувати згідно з останніми отриманими командами.

Друга перевага систем розподіленого інтелекту – вони здатні гнучко підлаштовуватися до змін навколишнього середовища. Наприклад, для зміни процедури функціонування централізованої системи управління потрібна розробка нового переліку (протоколу) команд для центру управління та переробка всього обладнання. У випадку з розподіленою системою управління досить завантажити нове програмне забезпечення в інтелектуальні віддалені модулі.

На основі концепції IPCC [122] запропонована архітектура NGN з розподіленим принципом управління (рис. 3.5) [99]. В телекомунікаційній мережі наступного покоління з розподіленим принципом управління існує кілька вузлів комутації сервісу (Softswitch) і кілька вузлів управління сервісом (серверів).

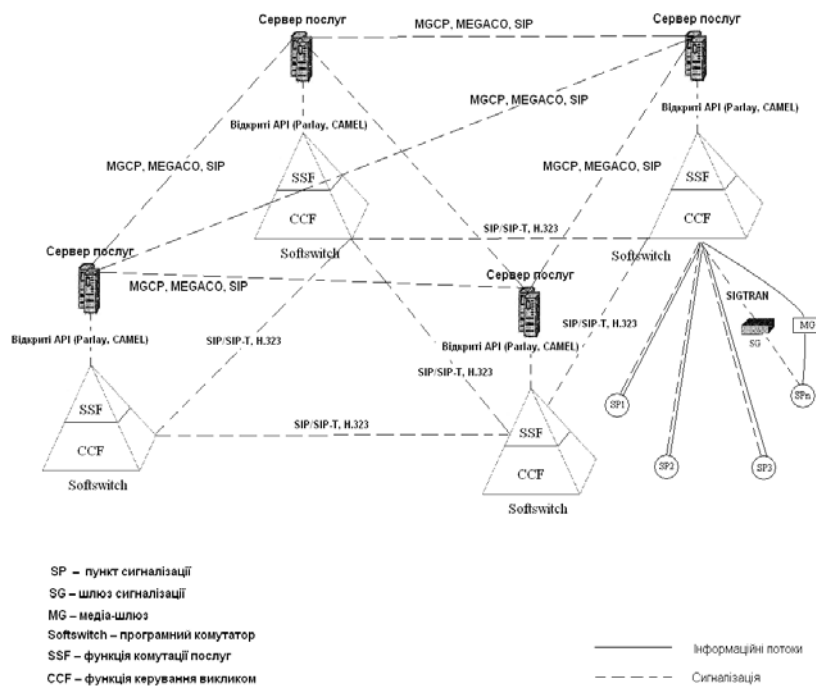


Рис. 3.5. Архітектура NGN з розподіленим принципом управління

Пропонуються два підходи до реалізації розподіленого принципу управління. При першому підході кожен сервер містить логіку обслуговування всіх класів сервісів (універсальний сервер). Другий підхід передбачає використання спеціалізованих серверів (сервер містить логіку обслуговування лише деяких певних класів сервісів). Передбачена можливість надання одного класу сервісів на декількох серверах на випадок виходу з ладу будь-якого сервера. З огляду на меншу вартість спеціалізованих серверів і менший час обслуговування заявки, в подальшому вважається, що при побудові телекомунікаційних мереж наступного покоління з розподіленим принципом управління використовуються спеціалізовані сервери.

Для телекомунікаційних мереж наступного покоління доцільна розробка методу формування загальної оцінки якості сервісів для мереж з розподіленою принципом управління. Розроблений метод оцінки якості сервісів в ТКМ було використано для удосконалення методу формування загального ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів в мережі з розподіленим принципом управління. При цьому слід враховувати, що на різних ділянках мережі можуть бути реалізовані різні набори

сервісів. Тому для розрахунку загального ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу $Z_{\text{заг}}$ запропоновано враховувати особливості сегментів мережі, зокрема, кількість наданих в кожному сегменті сервісів та їх складність.

Метод являє собою послідовність наступних етапів (рис.3.6):

- визначення кількості сегментів мережі і їх значимості;
- визначення загального ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу.

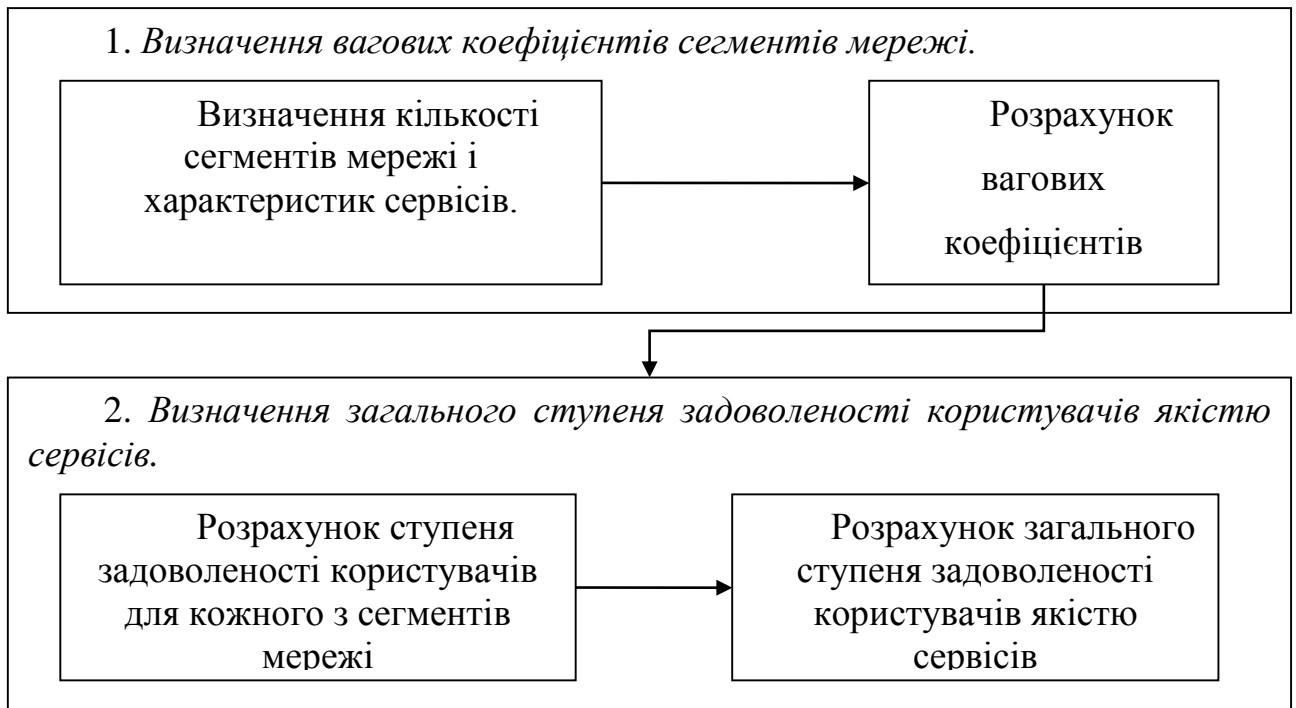


Рис. 3.6. Процедура формування загальної оцінки якості сервісів для мереж з розподіленим принципом управління

Розглянемо кожен з етапів більш докладно.

Етап 1. *Визначення вагових коефіцієнтів сегментів мережі.* На даному етапі визначаються вихідні дані – кількість сегментів мережі, кількість сервісів, що надаються в кожному із сегментів мережі, а також їх складність і важливість. На підставі цих даних формується K_i – ваговий коефіцієнт, який визначає значимість сегмента мережі, та розраховується наступним чином [17]:

$$K_i = \frac{\sum_{j=1}^{m_i} Q_{ij} v_{ij}}{\sum_{j=1}^{m_i} v_{ij}}, \quad (3.8)$$

де Q_{ij} – обсяг сервісів j -го виду в i -му сегменті мережі; v_{ij} – вагова характеристика сервісу j -го виду в i -му сегменті мережі, яка визначається її складністю і важливістю; m_i – кількість сервісів, що надаються в i -му сегменті мережі. Після розрахунків отримуємо множину $K = \{K_i\}$ вагових коефіцієнтів сегментів мережі.

Етап 2. *Визначення загального ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу.* Розрахунок ступеня задоволеності користувачів для кожного з сегментів мережі Z_i здійснюється з використанням ієрархічної нечіткої / нейронечіткої мережі відповідно до виразів (2.3) – (2.5).

Розрахунок загального ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу запропоновано проводити наступним чином [17]:

$$Z_{\text{заг}} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i K_i}{\sum_{i=1}^n K_i} \quad (3.9)$$

Тут Z_i – значення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу в i -му сегменті мережі, n – кількість сегментів мережі. Попередньо для кожного з сегментів мережі визначається значення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу.

У разі невідповідності $Z_{\text{заг}}$ еталонному значенню, корекцію слід починати з того сегмента мережі, значення K_i якого максимальне і чий внесок у формування загальної оцінки більше: $M = \max K_i$.

Розроблений метод формування загальної оцінки якості сервісів для мереж з розподіленим принципом управління дозволяє враховувати при корекції вагові коефіцієнти вузлів і виявляти сегменти мережі, в яких необхідно провести корекцію показників якості в першу чергу.

3.5. Удосконалення методу управління якістю сервісів для MPLS

Від технологій, що використовуються на рівні телекомунікаційних мереж наступного покоління NGN, багато в чому залежить якість роботи всієї мережі і кількість сервісів, що надаються. В якості транспортної мережі можуть бути використані ATM, MPLS, Ethernet та інші мережі.

Однією з основних технологій транспортного рівня NGN є MPLS завдяки реалізованим в ній можливостям управління якістю сервісів. Запропоновано

удосконалення методу управління якістю сервісів в ТКМ з технологією MPLS з можливістю визначення, чи задовольняє даний сегмент мережі рівнем QoS, необхідного для забезпечення певного сервісу, і можливістю генерації рекомендацій щодо необхідності змін для забезпечення необхідної якості сервісу.

Технологія MPLS (multiprotocol label switching – багатопротокольна комутація за мітками) від початку була задумана як засіб зниження навантаження на маршрутизатори й адаптації IP-мереж до різноманітного трафіку даних. Вона давала шлях сполучення мереж IP і ATM й закономірно стала однією з технологій транспортного рівня NGN. Технологія MPLS підтримує показники якості обслуговування QoS, надаючи різні класи обслуговування [123].

Для сервіс-провайдерів технологія MPLS-VPN – це можливість економічної підтримки масштабованих сервісів VPN в мережі IP. Інжиніринг трафіку, забезпечення якості сервісів (QoS) і функції протоколу MPLS, що передбачають роботу без встановлення з'єднання (connectionless features), надають сервіс провайдерам небувалі можливості для нарощування VPN в своїй інфраструктурі без шкоди для продуктивності. Застосування технології MPLS VPN дозволяє оператору об'єднати клієнтські мережі та утворити єдину мережу, ізольовану від мереж інших клієнтів.

В технології MPLS пристрої опорної мережі передають пакети тільки з використанням міток і не аналізують заголовки IP-пакетів. У точці виходу мітки видаляються. Таким чином, на основі мітки здійснюється прискорена комутація пакетів у вузлах мережі, диференціюється трафік і підтримується наскрізна якість сервісів IP-мережі. Технологія MPLS дозволяє будувати велику кількість віртуальних приватних IP-мереж з власною (ізольованою) системою IP-адресації на базі єдиної транспортної мережі й, таким чином, може служити основою для побудови масштабованих мультисервісних мереж [124].

Кожен з класів мережевого рівня (Forwarding Equivalence Class, FEC), обробляється окремо від інших – не тільки тому, що для нього будується свій шлях (Label Switching Path, LSP), але і в сенсі доступу до загальних ресурсів (смуги пропускання каналу і буферного простору). В результаті технологія MPLS дозволяє

дуже ефективно підтримувати необхідну якість обслуговування, не порушуючи наданих користувачеві гарантій. Застосування в маршрутизаторах LSR (Label Switching Router, LSR) таких механізмів управління буферизацією і чергами, як WRED, WFQ або CBWFQ, дає можливість оператору мережі MPLS контролювати розподіл ресурсів і ізолювати трафік окремих користувачів.

Заголовок MPLS складається з декількох полів (рис. 3.7):

– Мітка (20 біт). Використовується для вибору відповідного шляху комутації за мітками.

– Час життя (TTL). Це поле, що займає 8 біт, дублює аналогічне поле IP-пакета. Це необхідно для того, щоб пристрої LSR могли відкидати пакети, що «зблукали», тільки на підставі інформації, що міститься в заголовку MPLS, не звертаючись до заголовку IP.

– Клас сервісу (Class of Service, CoS). Поле CoS, що займає 3 біти, спочатку було зарезервовано для розвитку технології, але останнім часом використовується в основному для визначення класу трафіку, що вимагає певного рівня QoS.

– Ознака дна стека міток. Ця ознака (S) займає 1 біт.

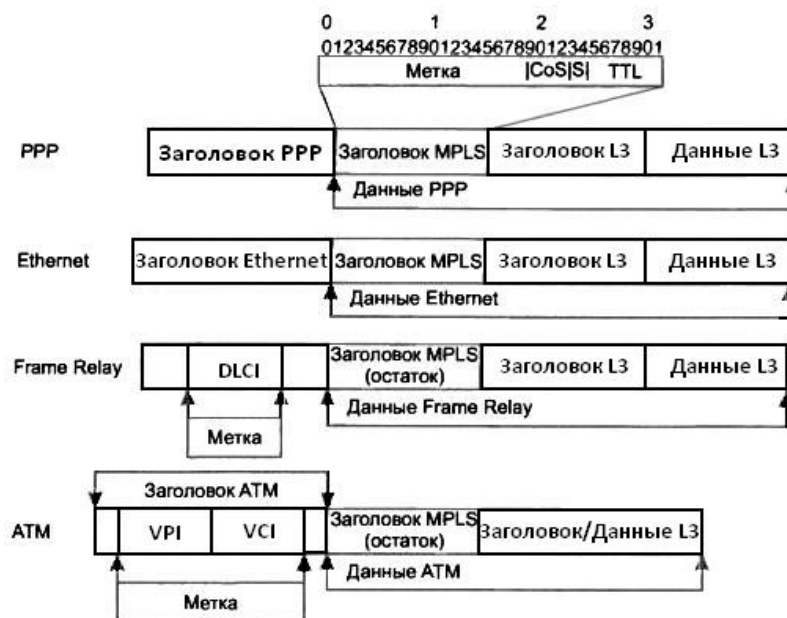


Рис. 3.7. Формати заголовків декількох різновидів технології MPLS

Як видно з рис. 3.7, технологія MPLS підтримує кілька типів кадрів: PPP, Ethernet, Frame Relay і ATM. Це означає, що в технології MPLS використовуються

формати кадрів цих технологій для розміщення в них пакета мережевого рівня, яким сьогодні майже завжди є IP-пакет. IETF визначив набір з 14 класів обслуговування трафіку. У їх число входить клас негарантованого обслуговування BE (Best Effort), при якому трафік не отримує ніякої гарантії, і клас термінового пересилання пакетів EF (Expedited Forwarding), при якому трафік отримує мінімальну затримку і низьку ймовірність втрат (для мови і відео). Інші 12 класів обслуговування визначені документом RFC 2597 і відносяться до гарантованого пересилання AF (Assured Forwarding). Чотири класи дозволяють виділити чотири профілі трафіку відповідно до вимог користувача [123].

Виходячи зі зручності MPLS в якості транспортної технології NGN з передбаченими механізмами забезпечення QoS, а також на підставі визначень IETF щодо класів якості, в даній роботі запропоновано удосконалення методу управління якістю сервісів для корекції значень показників якості x_{2j} компонента якості Y_2 – «Транспорт сервісу» (див. рис. 2.5, підрозділ 2.3) в мережі MPLS, оскільки серед сучасних телекомунікаційних технологій саме в MPLS передбачені механізми управління QoS для різних типів сервісів.

Для підвищення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів вдосконалений метод управління якістю сервісів передбачає наступні дії:

1. Корекція значень показників в межах класу якості даного сервісу, якщо існує така можливість.

2. Зміна класу якості для даного сервісу.

При цьому можлива зміна заголовка пакета:

1. Змінюється політика обслуговування пакета в MPLS мережі – змінюються параметри обслуговування пакетів певного класу усередині MPLS мережі. Проводиться перевірка, чи можливо підвищення значення показника в рамках поточного класу якості обслуговування.

2. Змінюється клас DSCP.

На рис. 3.8 наведено блок-схему реалізації методу управління якістю сервісів для MPLS.

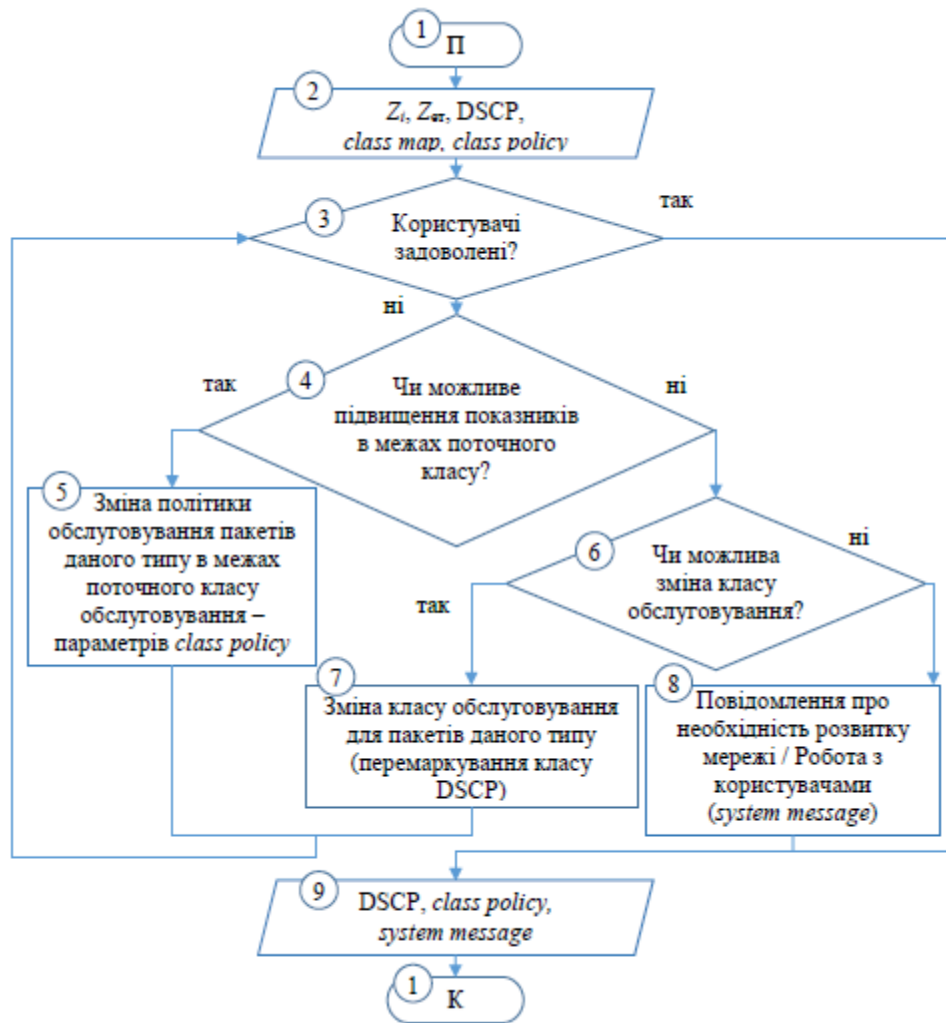


Рис. 3.8. Блок-схема реалізації методу управління якістю сервісів для MPLS

Розглянемо докладніше кожен з етапів.

Етап 1. На першому етапі роботи процедури здійснюється перевірка задоволеності користувачів якістю сервісу. З використанням розробленого методу оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю телекомунікаційних сервісів здійснюється розрахунок величини Z . Далі отримане значення ступеня задоволеності користувачів необхідно порівняти з еталонним.

Етап 2. Якщо користувачі не задоволені ($Z < Z_{ет}$), визначаються показники якості, що вимагають корекції, і на другому етапі проводиться перевірка, чи можлива зміна значень показників в рамках поточного класу обслуговування. При цьому межі

значень показників в рамках класів обслуговування визначаються відповідно до таблиць 3.14-3.15 [128, 131] виходячи з типу сервісу.

Таблиця 3.14

Визначення класів якості обслуговування і норми на робочі характеристики
IP-мереж (рек. МСЕ-Т У.1545)

Характеристики	Клас якості обслуговування					
	0	1	2	3	4	5
Затримка IP-пакетів (IPTD)	100 мс	400 мс	100 мс	400 мс	1 з	нн
варіація затримки IP-пакетів (IPDV)	50 мс	50 мс	нн	нн	нн	нн
коефіцієнт втрат IP-пакетів (IPLR)	$1 * 10^{-3}$					нн
коефіцієнт помилок IP-пакетів (IPER)	$1 * 10^{-4}$					нн

Таблиця 3.15

Вимоги різних сервісів до показників втрати пакетів, пропускної спроможності і
затримки

Application	Data loss	Bandwidth	Delay Sensitive
File transfer	no loss	elastic	no
E-mail	no loss	elastic	no
Web	no loss	elastic	yes, few secs
Real-time audio/video (VoIP/video telephony)	loss-tolerant	audio: 5kbps-1Mbps video: 10kbps-5Mbps	yes, <150 msec
Stored audio/video	loss-tolerant	same as above	yes, few secs
Online games	loss-tolerant	few kbps up	yes, <100 msec
instant messaging	no loss	elastic	yes, few secs

Етап 3. На третьому етапі зміна значень в межах певного класу обслуговування реалізується шляхом зміни параметрів конфігурації мережі *policy-map*. Пакети в класи можна розсортовувати за різними атрибутами, наприклад, вказуючи ACL, як шаблон, або за полем DSCP, або виділяючи конкретний протокол (включається технологія NBAR).

При сортуванні пакетів доцільно використовувати тип черги Class Based Weighted Fair Queuing (CBWFQ), оскільки даний тип черги відповідає механізму обслуговування черг на основі класів. Увесь трафік розбивається на 64 класи на

підставі наступних параметрів: вхідний інтерфейс, аксес лист (access list), протокол, значення DSCP, мітка MPLS QoS.

Загальна пропускна спроможність вихідного інтерфейсу розподіляється за класами. Смугу пропускання, що виділяється кожному класу, можна визначати як абсолютне значення (bandwidth в kbit/s) або у відсотках (bandwidth percent) відносно до встановленого значення на інтерфейсі.

Критерії відбору пакетів класом:

class-map match-all CLASS

match access-group

match input-interface

match protocol

match ip dscp

match ip rtp

match mpls experimental

Визначення класу:

class CLASS! – назва класу;

bandwidth BANDWIDTH! -

bandwidth percent BANDWIDTH_PERCENT

queue-limit QUEUE-LIMIT

random-detect

Позначення:

BANDWIDTH – мінімальна смуга *kbit/s*, значення не залежить від *bandwidth* на інтерфейсі;

BANDWIDTH_PERCENT – процентне співвідношення від *bandwidth* на інтерфейсі;

QUEUE-LIMIT – максимальна кількість пакетів в черзі;

random-detect – використання *WRED* ;

Алгоритм налаштування.

1. Розподіл пакетів по класах – *class-map* :

access-list 101 permit ip any any precedence critical


```
class-map match-all Class1
match access-group 101.
```

2. Опис правил для кожного класу – *policy-map* :

```
policy-map Policy1
class Class1
bandwidth 100
queue-limit 20
class class-default
bandwidth 50
random-detect.
```

3. Запуск заданої політики на інтерфейсі – *service-policy* :

```
interface FastEthernet0/0
bandwidth 256
service-policy output Policy1.
```

4. Перегляд результату:

```
#sh class Class1
#sh policy Policy1
#sh policy interface FastEthernet0/0.
```

В результаті зміни *policy-map* відбудеться зміна політики обслуговування пакетів даного типу (можна збільшити смугу пропускання, підвищити пріоритет пакетів в черзі і т.п.). У разі, якщо досягнуто межі значення показника в межах поточного класу, на четвертому етапі здійснюється перевірка, чи можлива зміна класу обслуговування (зміна коду DSCP) для пакетів даного типу. Рішення здійснюється відповідно до переліку класів, наведеного в табл. 3.16 [130].

Значення стандартного поля DiffServ пакету присвоюється таким чином, щоб в кожному вузлі мережі пакет зазнавав певної переадресації або пересилання даних через вузол. Значення за замовчуванням коду DSCP дорівнює 000 000. Коди DSCP для вибору класу мають зворотну сумісність зі значеннями IP-пріоритету, при цьому узгоджуються три найбільш значущих біти (табл. 3.16-3.17). При зміні класу DSCP змінюється поле в заголовку пакета. Біти DS0-DS5 визначають селектор класу. На базі

DSCP розроблена технологія "покрокової поведінки" PHB (per Hop Behavior). В рамках цієї політики визначаються коди DSCP всередині класів. Наприклад, для політики негайної переадресації EF рекомендоване значення DSCP = 101110. Ця політика відповідає найбільш високому рівню обслуговування.

Таблиця 3.16

Відповідність DSCP <=> IP Precedence

DSCP Name	DS Field Value		IP Precedence	DSCP Name	DS Field Value		IP Precedence
	Binary	Decimal			Binary	Decimal	
CS0	000 000	0	0	AF31	011 010	26	3
CS1	001 000	8	1	AF32	011 100	28	3
AF11	001 010	10	1	AF33	011 110	30	3
AF12	001 100	12	1	CS4	100 000	32	4
AF13	001 110	14	1	AF41	100 010	34	4
CS2	010 000	16	2	AF42	100 100	36	4
AF21	010 010	18	2	AF43	100 110	38	4
AF22	010 100	20	2	CS5	101 000	40	5
AF23	010 110	22	2	EF	: 101 110	46	5
CS3	011 000	24	3	CS6	110 000	48	6
				CS7	111 000	56	7

Таблиця 3.17

Відповідність IP Precedence й типів сервісів

Precedence	data type	protocol / application example
0 – routine	Low -priority data	web, bittorrent
1 – priority	Medium -priority data	SQL, AD
2 – immediate	High-priority data	Citrix ICA, Salesforce
3 – flash	Call Signaling	RTCP
4 – flash-override	Video Conferencing	WebEx, GoToMeeting
5 – critical	Voice	RTP
6 – internet control	reserved	
7 – network control	reserved	

На рис.3.9-3.10 показані відмінності між байтом ToS, визначеним стандартом RFC 791 і полем DiffServ.



Рис. 3.9. Байт ToS:

- IP-пріоритет – три біти (P2 – P0);
- затримка, пропускна здатність і надійність – три біти (T2 – T0);
- два біта (CU1 – CU0) в даний час не використовуються.



Рис. 3.10. Поле DiffServ:

- код DSCP – шість бітів (DS5-DS0);
- явне повідомлення про перевантаження (ECN) – два біти.

Розташування бітів поля DiffServ в заголовку IP пакета представлено на рис. 3.11-3.12.



Рис. 3.11. Заголовок IPv4

Для зміни значення коду DSCP адміністратору мережі необхідно виконати на маршрутизаторі наступні команди:

policy-map Policy Map ! --- Створює схему політик

class Class ! --- Вказує створювану політику для систематизації

! --- трафіку за допомогою управління класами.

set ip dscp DSCP ! --- встановлює значення *dscp* в двійковій, десятковій або буквеній системі (в залежності від значення *dscp* визначається PHB, див. табл. 3.16).

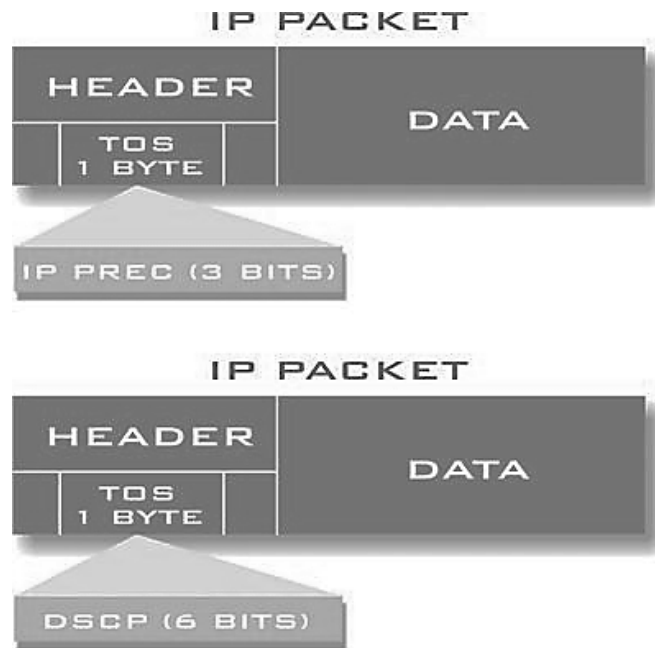


Рис. 3.12. Розташування коду DSCP в заголовку IP пакета

В результаті роботи п'ятого етапу змінюється клас обслуговування пакетів даного типу. У разі, якщо зміна класу обслуговування неможлива (досягнута межа для сервісів даного типу), здійснюється перехід до етапу 6 – роз'яснювальної роботи з користувачами.

Розглянемо приклад корекції показників якості в мережі MPLS, побудованої з використанням маршрутизаторів Cisco. У табл. 3.18 представлено вихідні дані.

Таблиця 3.18

Показники якості компонента Y_2 «Транспорт сервісу», що вимагають корекції

x_{2j}	поточне значення		значення, відповідне еталонному	
	бали	абсолютне значення	бали	абсолютне значення
x_{21} , смуга пропускання	3,0	597 кб/с	4,0	796 кб/с
x_{22} , мережева затримка	3,0	1800 мс.	3,9	1260 мс

При цьому абсолютні значення показників якості визначаються виходячи з рекомендацій МСЕ-Т щодо якості надаваних сервісів (табл. 3.16-3.17) і ставляться у відповідність до бальної оцінки.

Для розглянутого сервісу «Онлайн відтворення і скачування музики» в табл. 3.15 визначено наступні вимоги:

- смуга пропускання: 5 кб/с – 1 Мб/с;
- затримка: 1-3 с.

Виходячи з цих даних, визначимо відповідність абсолютних значень бальних оцінок (табл. 3.19).

Таблиця 3.19

Відповідність бальної оцінки абсолютним значенням показників

Значення показника в балах	x_{21} , смуга пропускання, кб/с	x_{22} , мережева затримка, мс
1	5	3000,00
2	398	2400,00
3	597	1800,00
4	796	1200,00
5	1000	1000,00

В мережі MPLS, коли потік даних проходить загальним шляхом, маршрут з комутацією за мітками LSP (Label Switched Path) може бути сформований із залученням сигнальних протоколів MPLS. У вхідному маршрутизаторі з комутацією за мітками LSR (Label Switch Router) кожному пакету присвоюється мітка, й він передається далі. У кожному LSR уздовж LSP мітки використовуються для визначення наступного кроку переадресації пакета.

При вході пакета до мережі в граничному LSR пакету присвоюється відповідна позначка (рис. 3.13).

Класифікація пакетів має на увазі використання дескриптора трафіку для розподілу за категоріями будь-яких пакетів в межах певної групи й створення пакета, доступного для обробки в мережі службою QoS. За допомогою класифікації пакетів можна розділити мережевий трафік на кілька рівнів пріоритету або класів обслуговування [126]. У розглянутому прикладі для сервісу «Онлайн відтворення і скачування музики» був визначений наступний клас обслуговування:

policy-map pack-multimedia-music

! --- Створює схему політик під назвою "pack-multimedia-music".

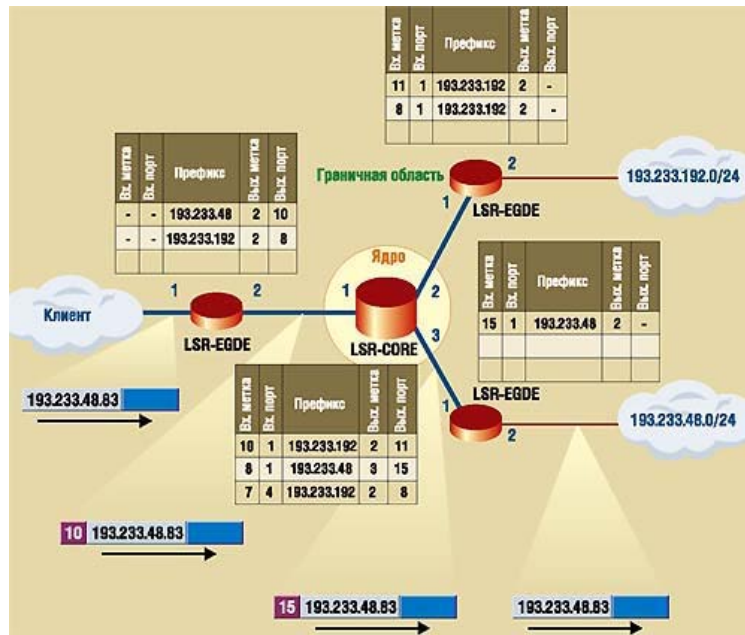


Рис. 3.13. Схема комутації MPLS

class management ! --- Вказує створювану політику для систематизації трафіку

bandwidth 796 ! --- встановлює пропускну здатність = 796 kbps

set ip dscp 34 ! --- Встановлює значення DSCP для пакетів рівним 34.

При цьому встановлюється значення поля DSCP в заголовку пакета. Замість класу обслуговування CS4:

1	0	0	0	0	0	ECN	ECN
---	---	---	---	---	---	-----	-----

встановлюється значення:

1	0	0	0	1	0	ECN	ECN
---	---	---	---	---	---	-----	-----

що відповідає класу якості обслуговування AF41 і пріоритету IP = 4 (рис.3.14).

DSCP Name	DS Field Value		IP Precedence
	Binary	Decimal	
DS4	100 000	32	4



DSCP Name	DS Field Value		IP Precedence
	Binary	Decimal	
AF41	100 010	34	4

Рис. 3.14. Зміна значення DSCP

На рисунку 3.15 показано, як при цьому змінюється заголовок пакета.

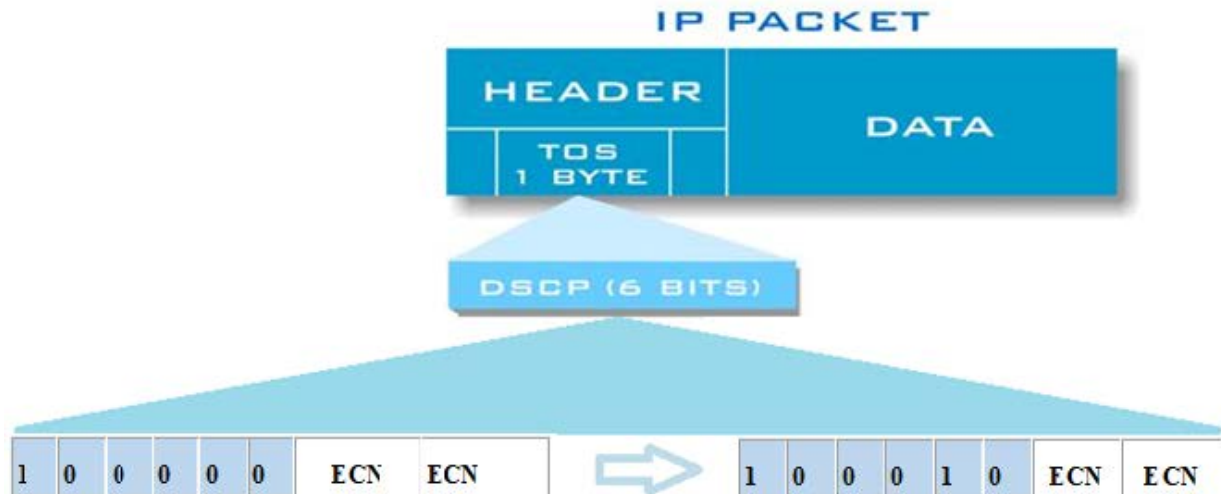


Рис. 3.15. Зміна коду DSCP в заголовку пакета

Розрахуємо зміну значення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів відповідно до формул (3.2) – (3.4). Результати наведено в табл. 3.20.

Таблиця 3.20

Результати корекції показників якості компонента Y_2

№ ітерації, k	x_{ij}	значення x_{ij} до корекції	значення x_{ij} після корекції	γ_{ij}	C_{ij} , тис. у.о.	C , тис. у.о.	Y_i	значення Y_i до корекції, бал	значення Y_i після корекції, бал	Z , бал
1	x_{21}	3,0 бала (597 кб/с)	4,0 бала (796 кб/с)	0,0055	12	12	Y_2	3,49	3,67	3,93 - 3,98
2	x_{22}	3,0 бала (1800 мс)	3,9 бала (1260 мс)	0,0045	20	32	Y_2	3,67	3,97	4,06

Таким чином, застосування вдосконаленого методу управління якістю дозволило підвищити ступінь задоволеності користувачів якістю сервісу з $Z = 3,93$ до $Z = 4,06$, або на 3,2%.

Вдосконалений метод управління якістю сервісів в MPLS здійснює корекцію значень показників якості в залежності від вимог користувачів до певного сервісу, причому можлива корекція як в політиці обслуговування пакетів в межах MPLS мережі, так і зміна коду DSCP в заголовку пакета. Система враховує вподобання користувачів, а також рекомендації міжнародних організацій стандартизації в сфері

телекомунікацій. Таким чином досягається підвищення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів.

3.6. Формування загальної оцінки якості сервісів для мережі з розподіленим принципом управління

Розглянемо приклад розрахунку загального ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу для мережі з 4 сегментів. Схематичне зображення мережі наведено на рис. 3.16.

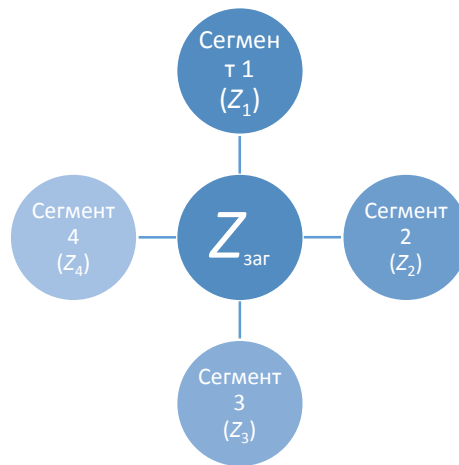


Рис. 3.16. Схематичне зображення мережі з 4-х сегментів з розподіленим принципом управління

Визначимо вхідні параметри. У табл. 3.21 приведено кількість сервісів, що надаються в кожному сегменті мережі.

Таблиця 3.21

Вхідні параметри

№ сегмента мережі	Кількість видів сервісів, що надаються в даному сегменті мережі, m_i
1	15
2	20
3	12
4	10

У табл. 3.22 задані вагові характеристики сервісів та обсяг сервісів певного виду, що надаються в кожному сегменті мережі. Обсяг сервісів Q_{ij} виражається в доходах

від надання сервісів j -го виду в i -му сегменті мережі й виражається в тис.грн. У таблиці виділені кольором види сервісів, які надаються в кожному сегменті.

Таблиця 3.22

Характеристики сегментів мережі

Вид сервісу, j	w_{ij}	Q_{1j}	Q_{2j}	Q_{3j}	Q_{4j}
1	1	110	293	0	0
2	5	395	230	0	0
3	7	71	29	430	0
4	8	428	423	49	0
5	10	65	71	313	0
6	3	254	414	422	334
7	7	294	467	297	113
8	1	84	275	486	318
9	9	222	46	302	0
10	2	52	402	309	0
11	6	0	152	416	0
12	1	333	459	313	190
13	1	167	496	74	388
14	9	28	45	334	0
15	3	0	66	0	0
16	10	0	133	0	444
17	3	426	299	0	35
18	8	69	82	0	274
19	8	0	329	0	422
20	2	0	262	0	375

На підставі вхідних даних відповідно до (3.8) були розраховані вагові коефіцієнти сегментів мережі. Далі розрахуємо загальне значення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу виходячи з отриманих даних (табл. 3.23).

Таблиця 3.23

Результати розрахунків

№ сегмента мережі	Кількість видів сервісів, що надаються в даному сегменті мережі, m_i	Вагові коефіцієнти сегментів мережі, K_i	Z	$Z_{\text{ср}}$
1	15	136,9615	4,2	4,2
2	20	194,7404	3,5	3,8
3	12	188,3462	3,2	3,7
4	10	130,3070	4,1	4,0

В результаті розрахунків відповідно до виразу (3.9) визначено загальний ступінь задоволеності користувачів якістю сервісу:

$$Z_{\text{заг}} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i K_i}{\sum_{i=1}^n K_i} = 4,03$$

Розглянемо варіант, за якого в деяких сегментах мережі спостерігається відхилення значень ступеня задоволеності користувачів від еталонних. В цьому випадку слід починати корекцію показників з того сегмента, «важливість» якого вище.

Таким чином, застосування запропонованого методу визначення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів в мережах з розподіленим принципом управління дозволило визначити загальний ступінь задоволеності користувачів якістю сервісу для мережі з 4х сегментів.

Висновки до третього розділу:

1. Удосконалено метод управління якістю сервісів в телекомунікаційних мережах, який за рахунок введення ієрархічної нейронечіткої системи в схему системи забезпечення якості сервісів в телекомунікаційних мережах наступного покоління дозволяє враховувати зміну ступеня задоволеності користувачів якістю отриманих сервісів. За рахунок використання методів нечіткої логіки і нейронних мереж реалізована можливість не тільки моделювання ступеня задоволеності користувачів, але і прогнозування змін значення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу в залежності від зміни стану мережі.

2. Розроблено процедуру роботи блоку аналізу, в якому, за рахунок використання відносної величини змін, або співвідношення виробленого ефекту щодо поліпшення якості сервісів до необхідних для цього витрат ресурсів, а також врахуванню імовірної реакції користувачів на зміну рівня якості сервісів, визначаються показники якості, корекція яких призведе до максимально позитивного результату в рамках допустимих витрат. Крім того, можливий розрахунок вартості корекції показників якості.

3. Розроблено метод управління якістю сервісів в мережах з розподіленим принципом управління. За рахунок введення вагових коефіцієнтів для сегментів мережі реалізована можливість формування загальної оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів з урахуванням особливостей сегментів мережі, зокрема, кількості сервісів, що надаються в кожному сегменті, та їх складності.

4. Удосконалено метод управління якістю сервісів в MPLS. Вдосконалений метод може визначити, чи задовольняє заданий сегмент мережі необхідному рівню якості сервісів та, в разі необхідності, прогнозувати розвиток мережі. На підставі вимог користувачів до якості сервісів з використанням удосконаленого методу управління якістю сервісів в MPLS проводиться налаштування технічних показників якості в межах поточного класу обслуговування для даного сервісу. У цьому випадку змінюється політика обслуговування пакетів певного типу всередині мережі MPLS, при цьому враховуються рекомендовані межі значень мережевих характеристик для даного сервісу. Крім того, в разі необхідності, система може змінити код DSCP в заголовку IP пакета в межах допустимих класів обслуговування, що дозволить забезпечити необхідний рівень обслуговування при передачі пакета за межі MPLS мережі. Розрахунок ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів Z до і після корекції показав підвищення Z більше ніж на 3%, при тому що вплив здійснювався лише на 2 показники якості з 22.

РОЗДІЛ 4.

МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ СЕРВІСІВ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

4.1. Постановка задачі експерименту

Ситуація в сфері управління якістю телекомунікаційних сервісів вимагає розробки системи забезпечення якості сервісів, яка буде формувати всесторонню оцінку якості сервісів, забезпечувати підтримку ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів на необхідному рівні, а також визначати необхідність і вартість корекції показників якості.

Функціонування запропонованої і розробленої в даній роботі системи забезпечення якості сервісів можна представити у вигляді схеми (рис. 4.1).

1. У систему завантажуються еталонні показники якості сервісів, сформовані в результаті експертних і користувальницьких оцінок, а також попередньо встановлена вартість корекції показників якості та доступні ресурси мережі, зокрема, гранично допустима величина витрат на корекцію показників якості. На підставі даних, отриманих в результаті опитування користувачів, формується відповідна даному сервісу ієрархічна нечітка/нейронечітка система оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу.

Вибір показників якості, значення яких враховуються при обчисленні ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів, здійснюється з використанням рекомендацій, наведених в підрозділах 2.3 та 2.5 даної роботи.

Для мереж з розподіленим принципом управління в систему також завантажуються, крім вище вказаних, дані про кількість сегментів мережі, а також про кількість і складність сервісів, що надаються в кожному із сегментів мережі. Дані про значення показників якості також необхідно вказати для кожного з сегментів мережі.

2. На другому етапі в систему завантажуються поточні значення показників якості сервісу, які потім надходять в модуль аналізу. Модуль аналізу звертається



Рис. 4.1. Схема системи забезпечення якості сервісів

до ІНС, та на підставі поточних значень показників якості здійснюється оцінка поточної ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів. Якщо ступінь задоволеності користувачів якістю сервісів відповідає еталонному, процес аналізу

рівня QoS припиняється до надходження в систему нових даних. Для системи з розподіленим принципом управління спочатку обчислюється ступінь задоволеності користувачів якістю сервісів для кожного з сегментів мережі з використанням модуля оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів. Потім відбувається формування загальної оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу.

3. У разі необхідності модуль корекції проводить корекцію показників якості. При цьому враховується вартість корекції і визначаються показники, корекція яких призведе до найбільшого приросту ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу в рамках допустимих витрат. У разі задоволеності користувачів якістю сервісів, процес корекції показників якості припиняється. У разі невідповідності ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів еталонному значенню, система видає рекомендації щодо необхідності корекції певних показників якості із зазначенням вартості корекції. Рекомендації видаються стороні, відповідальній за компонент якості, на який впливають показники якості, що вимагають корекції.

Функціонування розробленої системи забезпечення якості сервісів базується на використанні методів і алгоритмів, представлених в підрозділах 2.1-2.5 і 3.1-3.4 даної роботи:

– Метод оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю телекомунікаційних сервісів. Метод формує всесторонню оцінку якості сервісів, а також дозволяє виконати моделювання реакції користувача на зміни значень показників якості;

– Метод управління якістю сервісів в телекомунікаційних мережах. Метод використовує функцію відповідності якості сервісів еталонному значенню і враховує співвідношення ефекту від поліпшення якості сервісів до необхідних для цього витрат. Включає розроблену процедуру роботи блоку аналізу і дозволяє підтримувати якість сервісів на рівні, за якого користувачі задоволені якістю наданих сервісів.

– Метод формування загальної оцінки якості сервісів для мереж з розподіленим принципом управління.

Розроблені методи оцінки та управління якістю сервісів в ТКМ дозволяють вдосконалити існуючі на сьогоднішній день підходи, спрямовані на забезпечення і підвищення значення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів.

Багатофункціональна система забезпечення якості сервісів з графічним інтерфейсом користувача розроблена для підтримки рівня якості сервісів на рівні, за якого користувачі задоволені якістю отриманих сервісів. Система включає певні модулі, але є можливість поетапного нарощування функціональності шляхом підключення нових модулів.

4.2. Створення графічного інтерфейсу системи

Вимоги до системи.

Операційна система: WinXP SP3, WinXPx64 SP2, Win2003Server R2 SP2, WinVista SP2, Win2008Server SP2 або R2, Win7, Win8, Win8.1.

Процесор: x86 процесор з підтримкою SSE2.

Оперативна пам'ять: не менше 1 ГБ.

Вільний дисковий простір: 2-4 Гб.

На базі MATLAB розроблено GUI-додаток, що реалізує роботу системи забезпечення якості сервісів із використанням вдосконалених методів управління якістю сервісів і розробленого методу оцінки якості сервісів з урахуванням думки користувачів [16]. Програмне забезпечення методу управління якістю сервісів в ТКМ реалізовано наступними засобами: Fuzzy Logic Toolbox – пакет розширення MATLAB, що містить інструменти для проектування систем нечіткої логіки; і ANFIS-редактор MATLAB, що дозволяє синтезувати з експериментальних даних нейронечіткі мережі.

MATLAB – високорівнева мова та інтерактивне середовище для програмування, чисельних розрахунків і візуалізації результатів. За допомогою MATLAB можна аналізувати дані, розробляти алгоритми, створювати моделі і додатки.

Операційне середовище системи MATLAB – це множина інтерфейсів, які підтримують зв'язок цієї системи з зовнішнім світом: діалог з користувачем через командний рядок або графічний інтерфейс, перегляд робочої області і шляхів доступу, редактор і відладчик *m*-файлів, робота з файлами і оболонкою DOS, експорт і імпорт даних, інтерактивний доступ до довідкової інформації, динамічна взаємодія

з зовнішніми системами Microsoft Word, Excel та ін. Реалізуються ці інтерфейси через командне вікно, інструментальну панель, системи перегляду робочої області й шляхів доступу, редактор / відладчик *m*-файлів, спеціальні меню та т.п. [71].

Мова, інструментарій та вбудовані математичні функції дозволяють досліджувати різні підходи і отримувати рішення швидше, ніж з використанням електронних таблиць або традиційних мов програмування, таких як C/C++ або Java. MATLAB є інструментом для вирішення широкого спектра наукових і прикладних задач в таких областях як: моделювання об'єктів і розробка систем управління, проектування комунікаційних систем, обробка сигналів і зображень, вимірювання сигналів і тестування, фінансове моделювання та ін. [72].

Дескрипторна графіка MATLAB дозволяє конструювати деталі графічного інтерфейсу, призначеного для користувача (Graphic User Interface), для створення власних додатків. При цьому різні функції і *m*-файли викликаються з графічного вікна стандартного виду, але елементи інтерфейсу (кнопки, меню, слайдери, написи тощо) задаються користувачем [73].

На рис. 4.2 представлено зовнішній вигляд головного вікна графічного інтерфейсу розробленого додатка для реалізації удосконалених методів управління якістю сервісів.

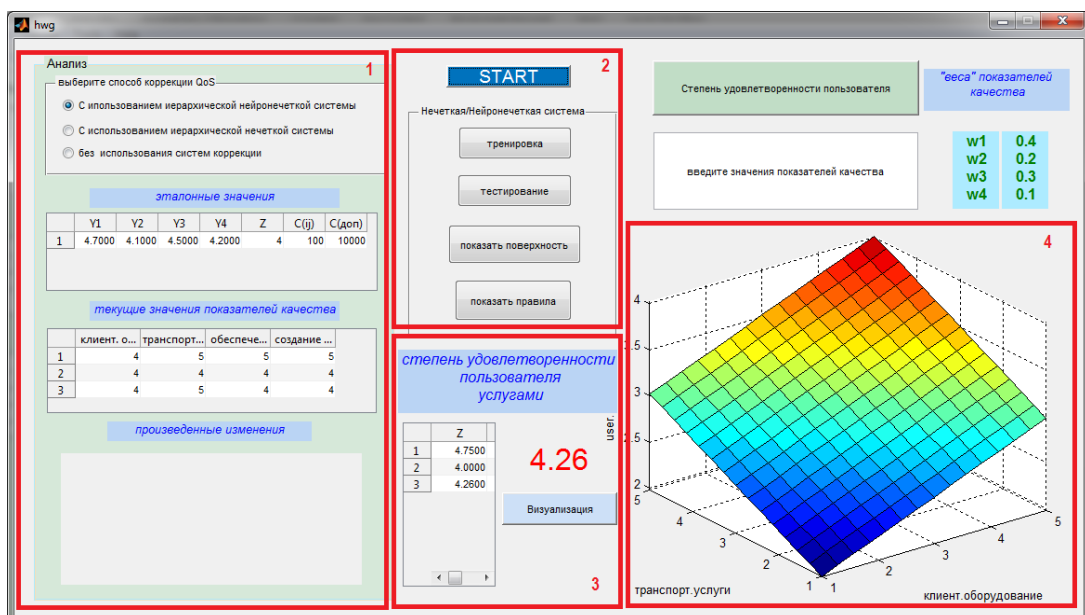


Рис. 4.2. Зовнішній вигляд GUI-додатка системи забезпечення якості сервісів

Вікно візуально поділяється на наступні основні зони:

- 1) аналіз даних, що відноситься до реалізації роботи блоку аналізу;
- 2) ієрархічна нечітка / нейронечітка система, з кнопками, що дозволяють провести тренування і тестування системи, а також показати поверхню "входи-вихід" і правила нечіткої / нейронечіткої системи;
- 3) значення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу;
- 4) зона виведення графічної інформації, де, в залежності від обраної функції, можуть відображатися поверхня "входи-вихід" або структура відповідної FIS.

Крім того, у вікні відображаються «ваги» компонентів якості, визначені на підставі опитувань користувачів. Згідно з (3.1), встановлено наступну відповідність:

- w_1 – значимість, «вага» компонента якості Y_1 «клієнтське обладнання»;
- w_2 – значимість, «вага» компонента якості Y_2 «транспорт сервісу»;
- w_3 – значимість, «вага» компонента якості Y_3 «забезпечення сервісу»;
- w_4 – значимість, «вага» компонента якості Y_4 «створення контенту».

Також додаток дає можливість розрахувати значення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу на підставі показників, введених в текстове поле.

Розглянемо докладніше зону, що візуалізує роботу блоку аналізу. Тут є можливість вибору способу корекції QoS:

- з використанням ієрархічної нейронечіткої системи;
- з використанням ієрархічної нечіткої системи;
- без використання систем корекції – в цьому випадку робота блоку аналізу не реалізується.

Також в зоні аналізу (зона 2) розташовані таблиці з еталонними і поточними значеннями показників якості, а також текстове поле, в якому відображаються дії, виконані в процесі роботи блоку аналізу і результати корекції показників якості. Зокрема, вказується вартість корекції показників якості.

Для початку роботи необхідно натиснути кнопку «START». При цьому в систему завантажуються поточні значення показників якості сервісу, які відображаються у відповідній таблиці. Відповідно до обраного способу корекції QoS, система розраховує і аналізує ступінь задоволеності користувачів якістю сервісу, після чого

виводить поточне значення у вікно програми (рис 4.3). Статистику змін значення ступеня задоволеності (показник Z) можна подивитися в таблиці в зоні 3.

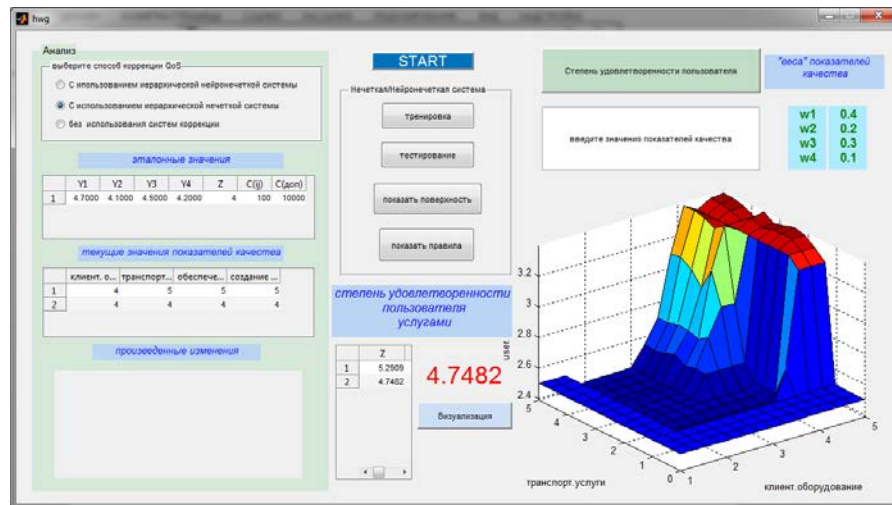


Рис 4.3. Візуалізація у вікні програми поверхні нечіткого виведення системи MATLAB при аналізі результатів роботи ієрархічної нечіткої системи визначення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу

При натисканні на кнопку «Показати поверхню» в зоні виведення графічної інформації (зона 4) генерується поверхня "входи-вихід" відповідної FIS, що ілюструє залежність значення підсумкового показника якості від компонентів якості.

На рис. 4.4 показана структура верхнього рівня ієрархії адаптивної мережі нейронечіткої виведення для визначення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу.

Розроблений додаток в таблиці «Еталонні значення» в зоні 1 відображає еталонні значення компонентів якості $Y_1 - Y_4$, ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу Z , а також величину допустимих витрат $C_{\text{доп}}$. У разі виявлення відхилення ступеня задоволеності користувачів від еталонного значення, в блоці аналізу відбувається перевірка значень компонентів і показників якості, і, в разі виявлення відхилень, проводяться необхідні коригувальні дії. У разі виявлення невідповідності ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу еталонному значенню, система виробляє відповідні рекомендації. У зв'язку з тим, що в процесі створення і надання сервісу бере участь кілька сторін, передбачені наступні можливості:

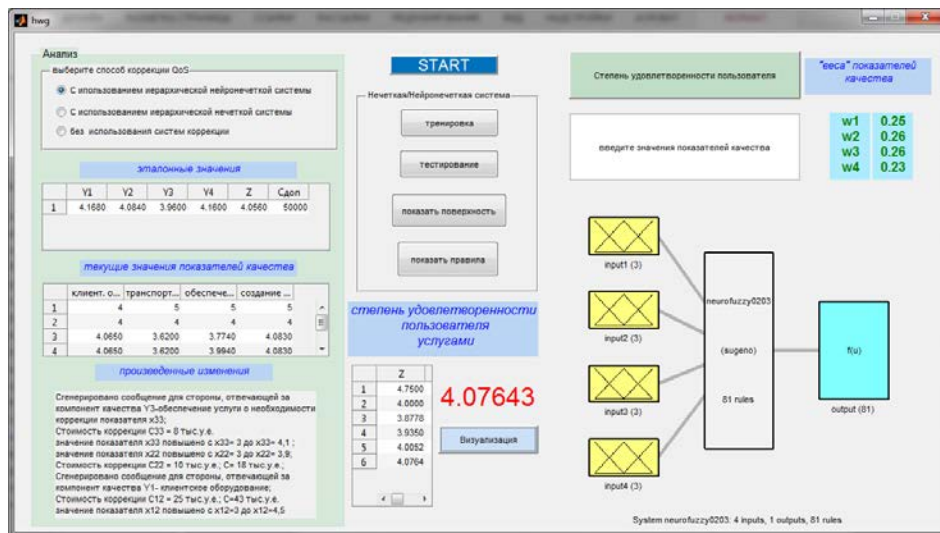


Рис. 4.4. Структура верхнього рівня ієрархії адаптивної мережі нейронечіткого виводу

- проводиться корекція значення показника якості сервісу, в разі, якщо корекція даного показника якості можлива доступними засобами;
- генерується повідомлення для сторони, відповідальної за показник якості, значення якого вимагає корекції з зазначенням вартості корекції.

На рис. 4.5 показаний приклад поверхні виведення в разі використання нейронечіткої системи.

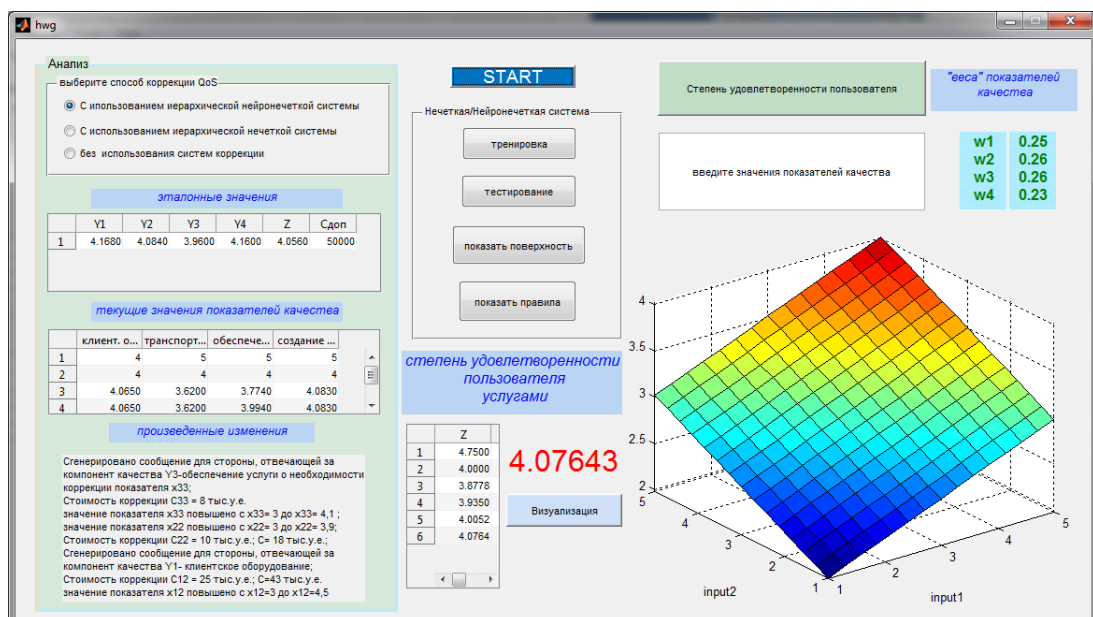


Рис 4.5. Візуалізація у вікні програми поверхні нечіткого виведення системи MATLAB при використанні ієрархічної нейронечіткої системи визначення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу

При цьому в таблицях в зонах 1 і 3 можна побачити результати корекції показників якості відповідно до процедур, розробленими в розділі 3. У таблиці «Поточні значення показників якості» відображаються значення компонентів якості сервісу Y_1 - Y_4 і значення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів Z , визначені з використанням розробленої ієрархічної нейронечіткої системи визначення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів. У таблиці «Здійснені зміни» вказується, які показники якості були відкориговані і наскільки змінилося їх значення.

Результати моделювання збігаються з результатами розрахунків, виконаних в розділі 3. У систему були завантажені вихідні дані, визначені за результатами опитування користувачів і наведені в табл. 3.4-3.5.

На рис. 4.6 – 4.10 показані результати роботи системи для вихідних даних, розрахованих у Прикладі 1 підрозділу 3.3.

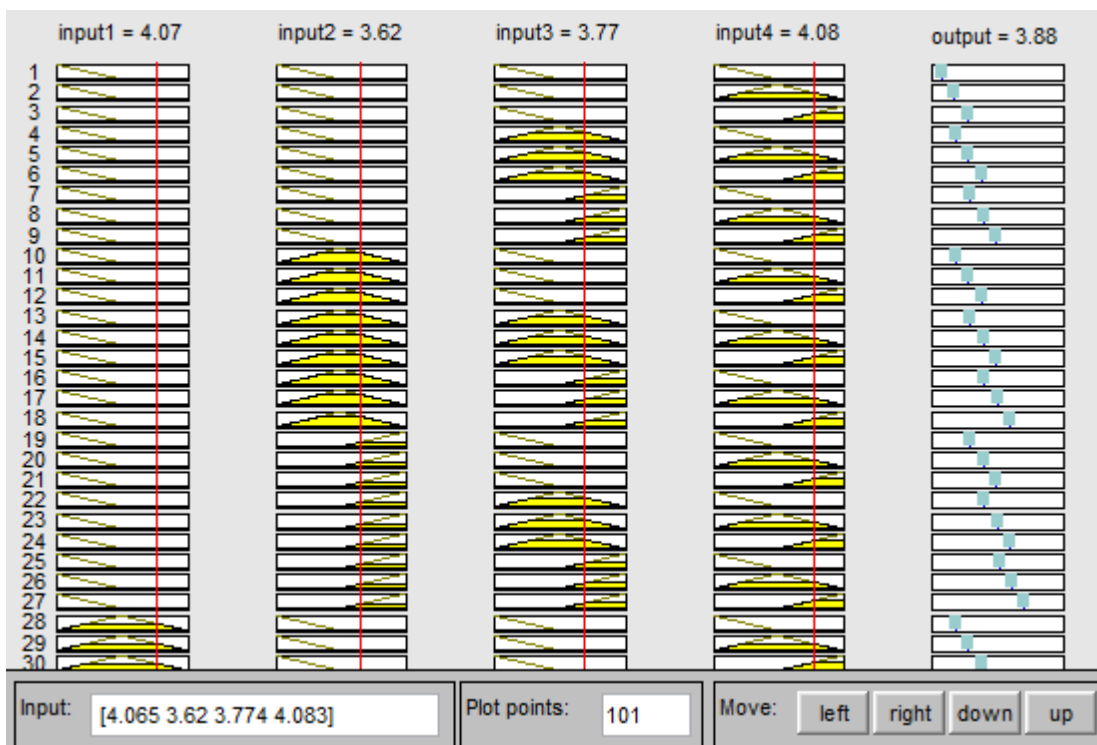


Рис. 4.6. Результат роботи системи забезпечення якості сервісів для вихідних даних (крок $k = 0$)

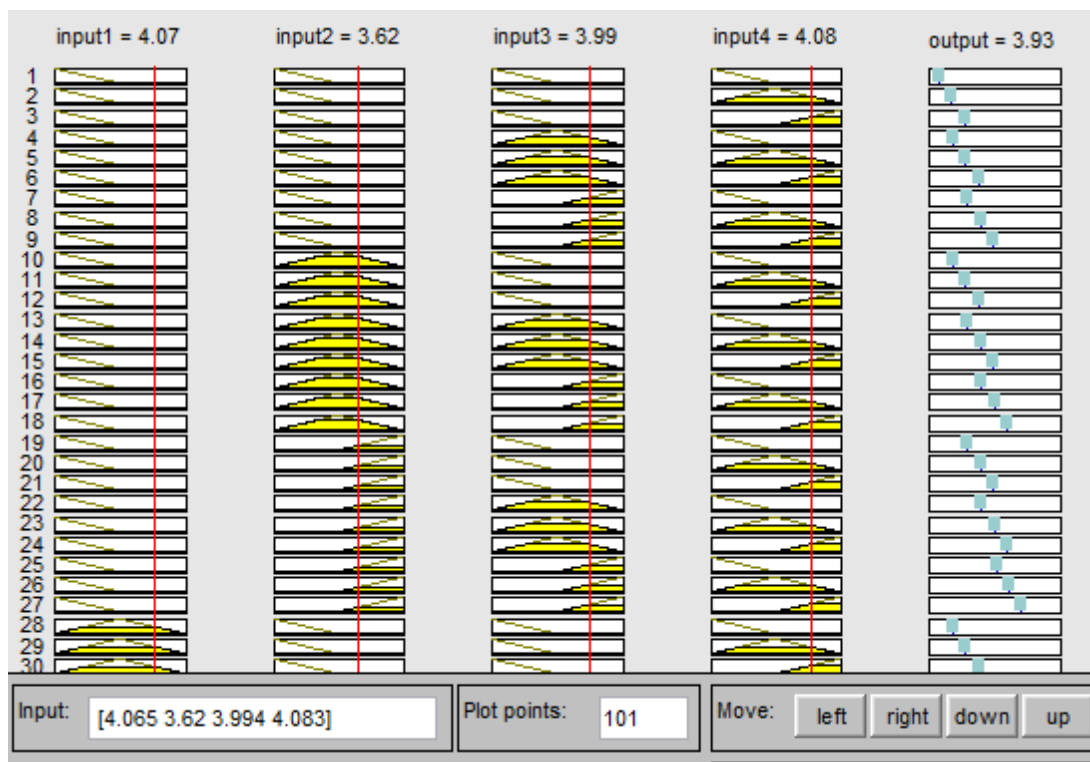


Рис. 4.7. Результат роботи системи забезпечення якості сервісів за результатами корекції для кроку $k = 1$

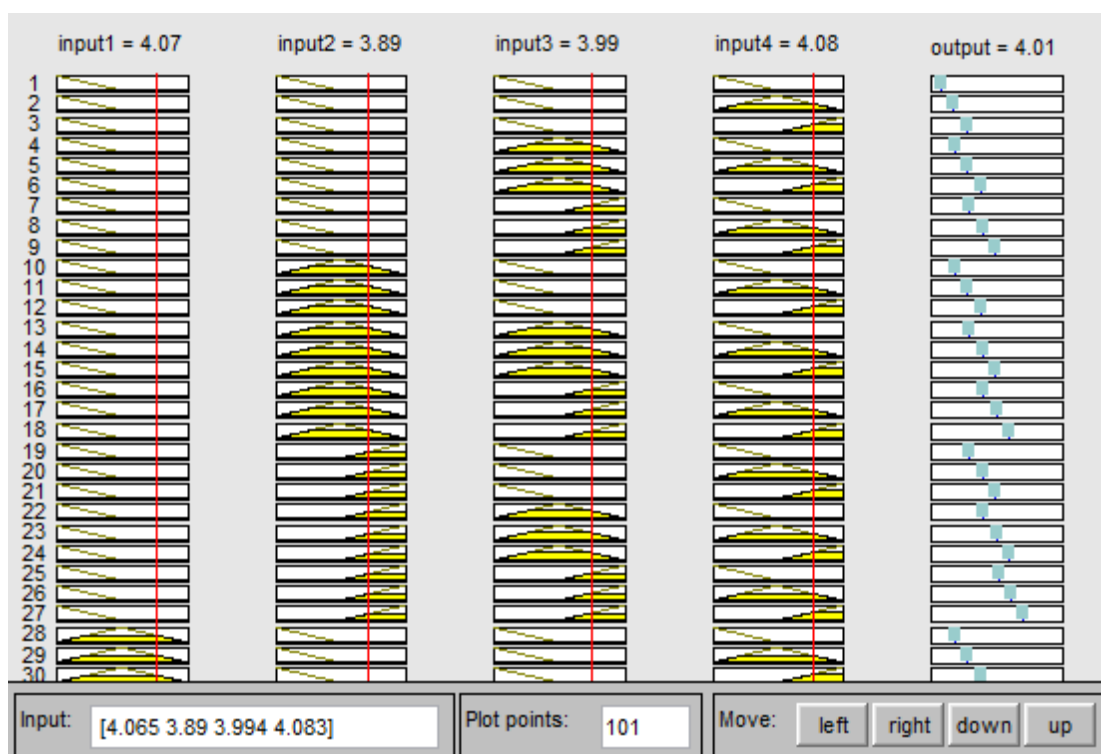


Рис. 4.8. Результат роботи системи забезпечення якості сервісів за результатами корекції для кроку $k = 2$

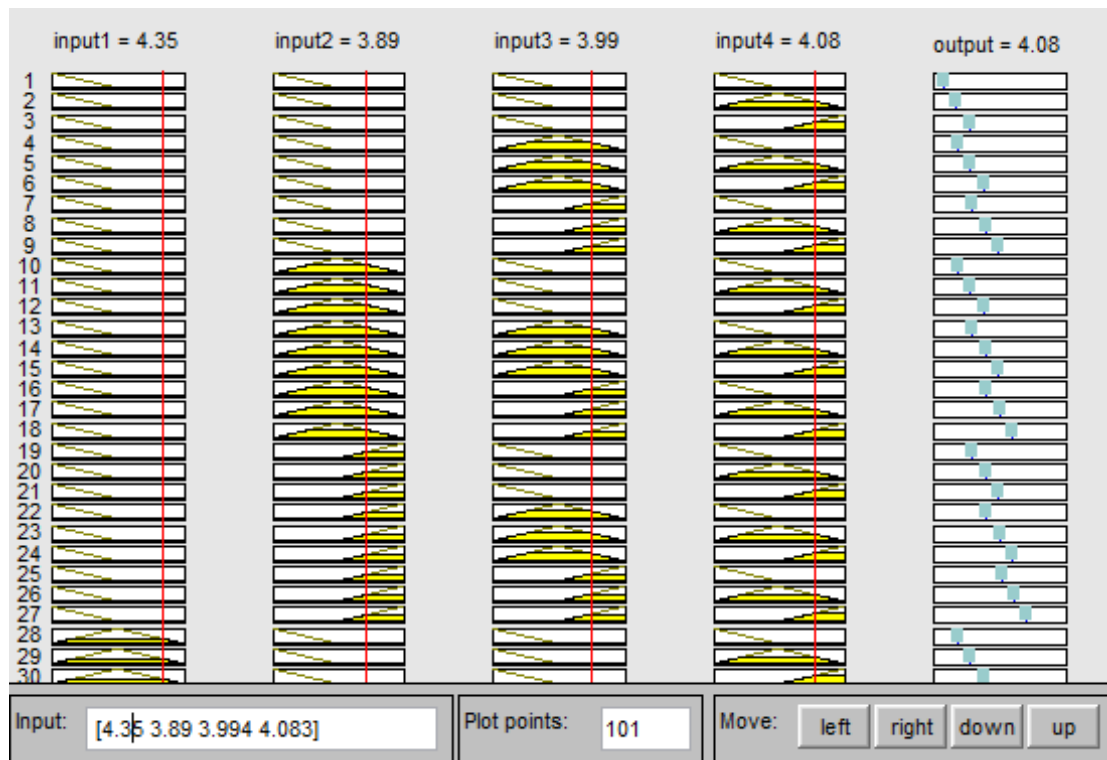


Рис. 4.9. Результат роботи системи забезпечення якості сервісів за результатами корекції для кроку $k = 3$

Всі результати моделювання наведені в табл. 4.1 і на рис. 4.10.

Таблиця 4.1

Результати корекції показників якості

№ ітерації, k	x_{ij}	значення x_{ij} ДО корекції, бал	значення x_{ij} ПІСЛЯ корекції, бал	C_{ij} , тис.у. о.	C , тис.у. о.	Y_i	значення Y_i ДО корекції, бал	значення Y_i ПІСЛЯ корекції, бал	Z , бал
1	x_{33}	3	4,1	8	8	Y_3	3,77	3,99	3,93
2	x_{22}	3	3,9	10	18	Y_2	3,62	3,89	4,01
3	x_{12}	3	4,5	25	43	Y_1	4,07	4,35	4,08

Як видно з рис. 4.6-4.10 і табл. 4.1, результати моделювання повністю співпадають з результатами розрахунків, виконаних в розділі 3, що свідчить про коректність роботи системи. У табл. 4.2 наведено значення компонентів якості і визначених на підставі даних значень ступеня задоволеності користувачів з використанням нечіткої та нейронечіткої систем (Z_{fuzzy} і Z_{nf} відповідно).



Рис. 4.10. Результат роботи системи забезпечення якості сервісів за результатами корекції

Також наведено значення ступеня задоволеності користувачів Z , визначеного за результатами опитування з використанням формул (3.3) – (3.8). Повністю результати наведено в додатку Г – Порівняння результатів моделювання з використанням нечіткої та нейронечіткої систем. На основі аналізу отриманих результатів роботи системи визначено, що більш точні результати забезпечує використання нейронечіткої ієрархічної системи (рис. 4.11).

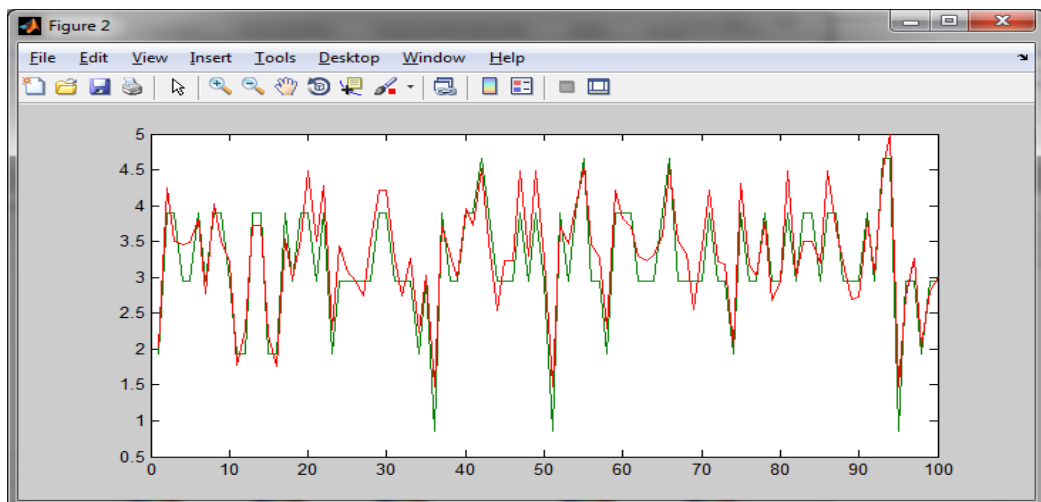


Рис. 4.11. Порівняння результатів роботи системи оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу з використанням ієрархічної нечіткої та нейронечіткої систем і значень, визначених за результатами опитувань користувачів

Таблиця 4.2

Результати роботи системи оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю
сервісу

№	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Z	Z_{fuzzy}	Z_{nf}	№	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Z	Z_{fuzzy}	Z_{nf}
1	1	5	2	2	2.5300	2.9512	2.5300	21	5	5	2	3	3.7600	3.8917	3.7600
2	5	3	2	5	3.7000	3.8917	3.7000	22	1	5	5	3	3.5400	3.8917	3.5400
3	1	1	4	2	2.0100	1.9391	2.0100	23	2	4	5	2	3.3000	2.9512	3.3000
4	5	3	5	3	4.0200	3.8917	4.0200	24	3	2	1	5	2.6800	2.9512	2.6800
5	4	4	5	5	4.4900	3.8917	4.4900	25	2	4	5	4	3.7600	3.8917	3.7600
6	4	3	5	4	4.0000	3.8917	4.0000	26	5	5	2	1	3.3000	2.9512	3.3000
7	5	5	2	4	3.9900	3.8917	3.9900	27	1	5	4	3	3.2800	2.9512	3.2800
8	3	2	1	3	2.2200	1.9391	2.2200	28	4	5	4	4	4.2600	3.8917	4.2600
9	2	3	5	4	3.5000	3.8917	3.5000	29	1	4	5	4	3.5100	3.8917	3.5100
10	4	5	2	5	3.9700	3.8917	3.9700	30	4	5	5	3	4.2900	3.8917	4.2900
11	3	1	3	5	2.9400	2.9512	2.9400	31	3	2	2	5	2.9400	2.9512	2.9400
12	5	1	3	5	3.4400	2.9512	3.4400	32	1	5	1	3	2.5000	2.9512	2.5000
13	3	5	5	4	4.2700	3.8917	4.2700	33	5	4	4	5	4.4800	3.8917	4.4800
14	5	1	2	5	3.1800	2.9512	3.1800	34	2	5	5	4	4.0200	3.8917	4.0200
15	4	5	5	5	4.7500	4.6629	4.7500	35	5	3	2	3	3.2400	2.9512	3.2400
16	1	4	4	4	3.2500	2.9460	3.2500	36	2	5	5	2	3.5600	3.8917	3.5600
17	5	2	5	4	3.9900	3.8917	3.9900	37	1	2	5	2	2.5300	2.9512	2.5300
18	3	5	5	1	3.5800	3.8917	3.5800	38	4	5	4	3	4.0300	3.8917	4.0300
19	1	2	3	5	2.7000	2.9512	2.7000	39	3	4	2	5	3.4600	2.9512	3.4600
20	5	5	2	4	3.9900	3.8917	3.9900	40	2	3	5	3	3.2700	2.9512	3.2700

Середня величина помилки роботи нечіткої системи розраховується за формулою:

$$Errf = \frac{\sum_{i=1}^n |Errf_i|}{5n}, \quad (4.1)$$

де $Errf_i$ – величина помилки роботи нечіткої системи для i -го набору даних ($i = \overline{1, n}$).

n – кількість наборів показників якості, оброблених системою.

Аналогічно розраховуємо середню величину помилки роботи нейронечіткої системи $Errnf$:

$$Errnf = \frac{\sum_{i=1}^n |Errnfi|}{5n}, \quad (4.2)$$

де $Errnfi$ – величина помилки роботи нейронечіткої системи для i -го набору даних ($i=\overline{1, n}$).

Величина помилки для результатів роботи нечіткої мережі склала 5,19%, для нейронечіткої – 0,536%. Це пояснюється здатністю нейронних мереж до навчання, завдяки чому система здатна самостійно уточнювати функції приналежності на основі отриманих даних.

Розроблена система дозволяє отримати всесторонню комплексну оцінку якості сервісів з урахуванням думки користувачів, а також промоделювати передбачувану ступінь задоволеності користувачів якістю сервісів. У системі реалізований вдосконалений метод корекції показників якості сервісів, дозволяє досягти оптимальних результатів корекції показників якості з урахуванням існуючих обмежень і таким чином забезпечити підтримку ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів на необхідному рівні.

4.3. Моделювання ієрархічної нечіткої системи визначення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів

Для моделювання ієрархічної нечіткої системи було прийнято рішення використовувати пакет розширення MATLAB – Fuzzy Logic Toolbox – пакет програм, що відносяться до теорії нечітких (розмитих) множин. Пакетом забезпечується підтримка сучасних методів нечіткої кластеризації і адаптивних нечітких нейронних мереж. Графічні засоби пакета дозволяють інтерактивно відстежувати особливості поведінки системи.

Існує два способи створення ієрархічних нечітких систем. Перший спосіб полягає у виконанні нечіткого виведення для проміжних змінних з подальшою передачею чітких значень цих змінних в нечіткі системи наступного рівня

ієрархії. Для реалізації цього способу необхідно викликати функцію `evalfis` для кожної нечіткої бази знань. Недолік цього способу полягає в тому, що над проміжними змінними (Y_1 - Y_4) послідовно виконуються операції дефаззифікації і фаззифікації. Нечіткі результати проміжних логічних виводів дефаззифікують, потім ці чіткі значення подають на вхід нечітких систем наступного рівня ієрархії і там вони фаззифікуються, тобто стають нечіткими, отже, для проміжних змінних треба задавати функції приналежності. Крім того, необхідно забезпечити еквівалентність нечітких множин до і після операцій дефаззифікації і фаззифікації. При другому способі процедури дефаззифікації і фаззифікації для проміжних змінних не виконуються. Результат логічного виводу у вигляді нечіткої множини безпосередньо передається в машину нечіткого виведення наступного рівня ієрархії. Тому, для опису проміжних змінних в ієрархічних нечітких базах знань досить задати лише термножини, без визначення функцій приналежності [117].

У систему завантажена база правил, сформована за результатами опитувань користувачів, наведених в розділі 2. У результаті сформовано 5 нечітких систем для визначення значень компонентів якості $Y_1 - Y_4$ і підсумкового показника Z – ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу. На рис. 4.12 показана структура нечіткої мережі верхнього рівня ієрархії, на входи якої подаються значення компонентів якості, отримані в результаті роботи нечітких мереж першого рівня ієрархії [13-15].

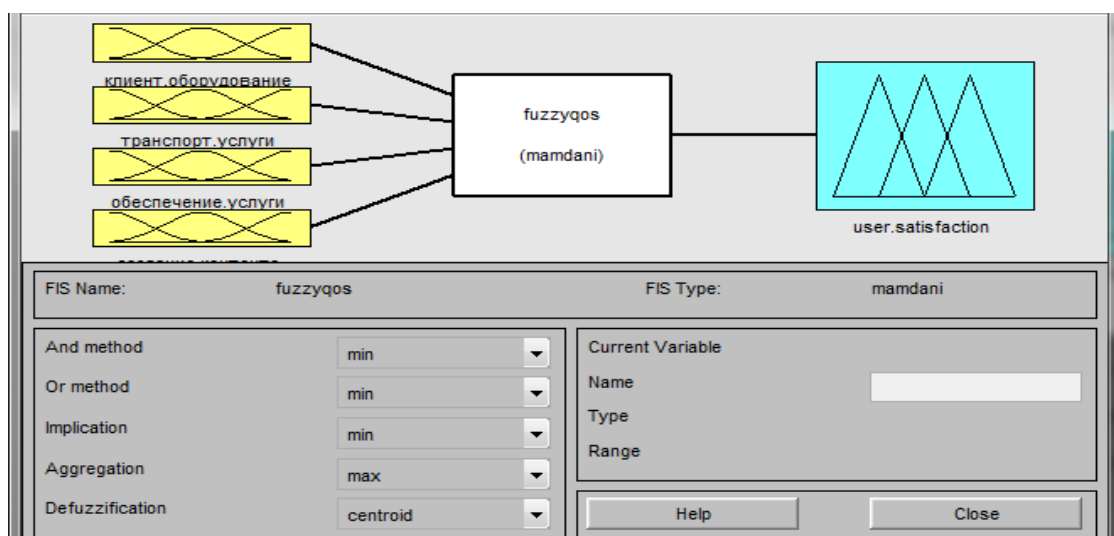


Рис. 4.12. Структура нечіткої мережі для визначення значення Z

Для організації зв'язку між різними рівнями ієрархії необхідно сформулювати матрицю зв'язків, в якій вказується, які виходи першого рівня ієрархії подаються на певні входи другого рівня ієрархії. Для розробленої ієрархічної нечіткої мережі матриця зв'язків має наступний вигляд:

$$T = \begin{bmatrix} 5 & 1 \\ 5 & 2 \\ 5 & 3 \\ 5 & 4 \end{bmatrix}.$$

Крім того, необхідно вказати імена нечітких мереж, які повинні використовуватися для побудови ієрархічної структури. Для цього необхідно виконати наступні команди:

```
% Задаємо список fis-файлів:
fis_file_names = { 'y1.fis' 'y2.fis' 'y3.fis' 'y4.fis' 'QoSfuzzy.fis'};
% Матриця зв'язків між базами знань:
tree_list = [5 1, 5 2, 5 3, 5 4];
% Підготовка функцій приналежності:
[FIS_list, input_list] = prepare_tree (fis_file_names, tree_list);
% Значення вхідних (термінальних) змінних:
data = [x11 x12 x13 x14 x15 x21 x22 x23 x24 x25 x26 x31 x32 x33 x34 x35 x41 x42
x43 x44 x45];
% Результат:
out1 = hier_evalfis (data, FIS_list, input_list, tree_list, 2);
```

Детальний опис функцій «prepare_tree» і «hier_evalfis» наведено в додатку Д – Функції реалізації зв'язків між рівнями ієрархічної нечіткої системи [117]. В результаті моделювання встановлено, що найбільший вплив на ступінь задоволеності користувачів якістю сервісу надають компоненти «Забезпечення сервісу» та «Клієнтське обладнання». Чим важливіше показник якості сервісу для користувачів,

тим менше варіацій в значенні даного показника якості сервісу вони готові прийняти. Крім того, система дозволяє визначити, які критерії по кожному з компонентів мають найбільший вплив на результат – ступінь задоволеності користувачів якістю сервісів.

На рис. 4.13 показана поверхня, що відображає залежність значення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів від значень компонентів якості «Транспорт сервісу» та «Клієнтське обладнання».

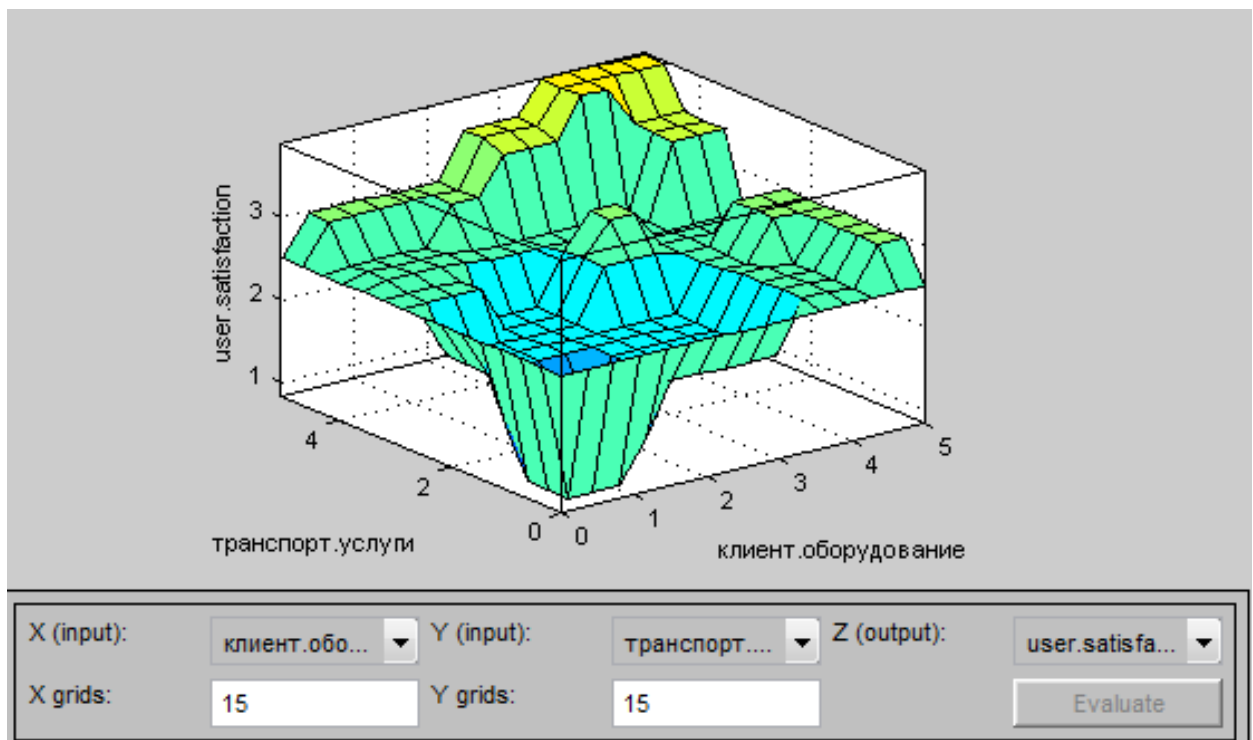


Рис. 4.13. Візуалізація поверхні нечіткого виведення системи MATLAB для ієрархічної нечіткої системи визначення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу в залежності від значень компонентів якості «Транспорт сервісу» та «Клієнтське обладнання»

Порівняння результатів роботи ієрархічної нечіткої системи визначення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу і результатів розрахунків за формулами (3.3 -3.8) наведені на рис. 4.14.

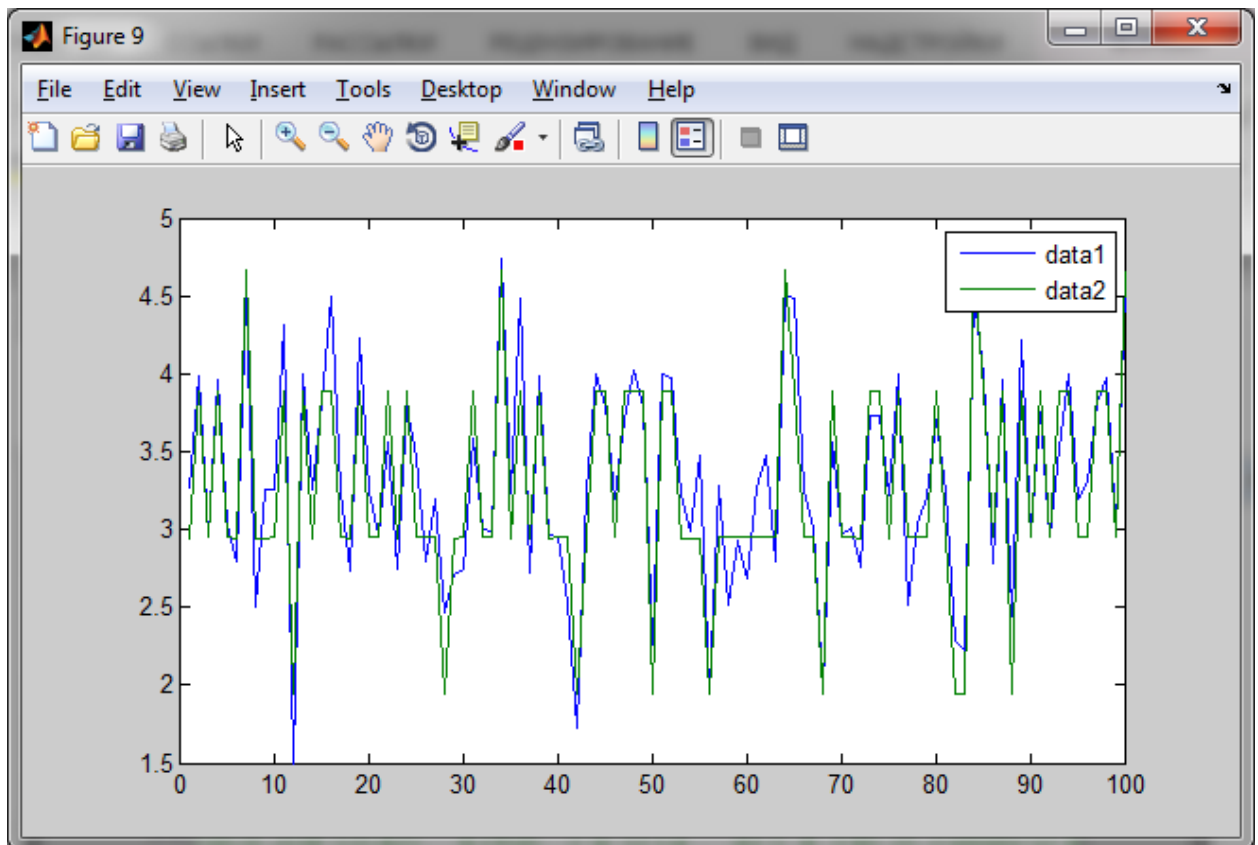


Рис. 4.14. Порівняння результатів розрахунків (data 1) з результатами роботи ієрархічної нечіткої системи визначення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісу (data 2)

З рис. 4.13 видно, що результати роботи ієрархічної нечіткої системи в цілому збігаються з даними, отриманими в результаті опитування користувачів, проте присутня помилка обчислень, що дорівнює в середньому 0,25 бали, або ~5%.

4.4. Моделювання ієрархічної нейронечіткої системи визначення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів

Під назвою адаптивної системи нейронечіткого виведення ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) [94] відома спеціалізована нейромережева структура, що характеризується гарною збіжністю та орієнтована на вилучення знань у вигляді системи нечітких правил з даних навчальної вибірки. ANFIS – функціональний еквівалент моделі нечіткого виведення за алгоритмом Sugeno.

Проведений аналіз показує, що думка користувачів і знання експертів, представлені у формі нечітких правил логічного виводу, можуть бути прозорим способом відображені в структурі нейронечіткої мережі. Навчання нейронечіткої мережі дозволяє не тільки налаштувати ваги зв'язків (тобто відкоригувати достовірність нечітких правил логічного виводу), а й усунути суперечливість системи нечітких правил в цілому. У разі відсутності вихідної інформації по даній предметній області, але при достатньому обсязі навчальної вибірки нейронечітка мережа автоматично перетворює приховані в аналізованих показниках закономірності в базу знань у вигляді системи правил нечіткого логічного виводу [143-148].

На базі користувальницьких оцінок (розмір вибірки – 300 користувачів вікової групи 15, ..., 75 років) була сформована навчальна вибірка, на підставі якої була згенерована адаптивна мережа нейронечіткого виведення для визначення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів.

Нейронечітку мережу можна розглядати як один з різновидів систем нечіткого логічного виведення типу Сугено [117]. При цьому функції приналежності синтезованих систем налаштовані так, щоб мінімізувати відхилення між результатами нечіткого моделювання та експериментальними даними. ANFIS реалізує систему нечіткого виводу Сугено у вигляді п'ятишарової нейронної мережі прямого поширення сигналу.

Призначення шарів наступне:

- перший шар – терми вхідних змінних;
- другий шар – антецеденти (посилки) нечітких правил;
- третій шар – нормалізація ступенів виконання правил;
- четвертий шар – висновки правил;
- п'ятий шар – агрегування результату, отриманого за різними правилами.

Входи мережі в окремий шар не виділяються. Наприклад, на рис. 4.15 зображено ANFIS-мережу з двома вхідними змінними (x_1 і x_2) і чотирма нечіткими правилами. Для лінгвістичної оцінки вхідної змінної x_1 використовується 3 терма, для змінної x_2 – 2 терма [143].

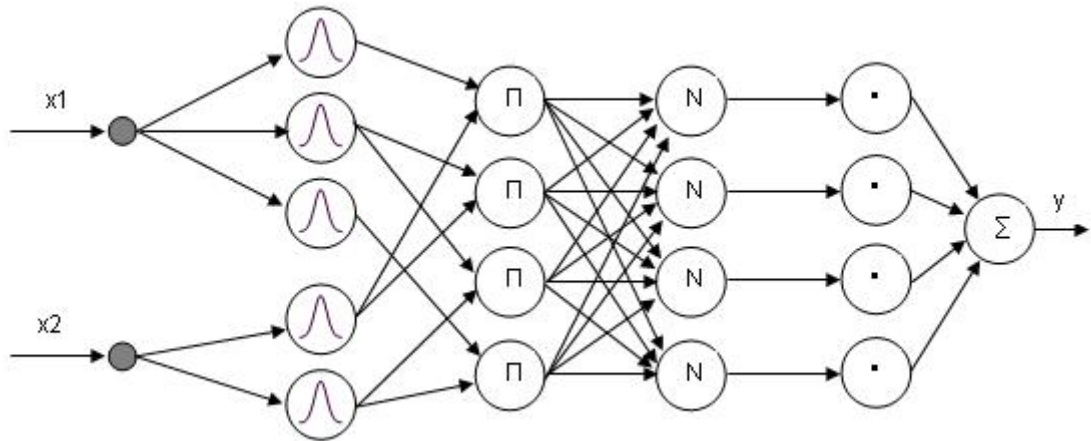


Рис. 4.15. Приклад ANFIS мережі з двома змінними

Введемо наступні позначення, необхідні для подальшого викладу:

x_1, x_2, \dots, x_n – входи мережі;

y – вихід мережі;

R_r : Якщо $x_1 = a_{1,r}$ і ... і $x_n = a_{n,r}$, то $y = b_{0,r} + b_{1,r}x_1 + \dots + b_{n,r}x_n$ – нечітке правило з порядковим номером r ;

m – кількість правил, ;

$a_{i,r}$ – нечіткий терм з функцією приналежності $\mu_r(x_i)$, застосовуваний для лінгвістичної оцінки змінної x_i в r -му правилі () ;

$b_{q,r}$ – дійсні числа в ув'язненні r -го правила () .

У розробленій системі на входи першого рівня ієрархії подаються значення показників якості x_{ij} , на входи другого рівня ієрархії – значення компонентів якості сервісу Y_i .

ANFIS-мережа функціонує наступним чином.

Шар 1. Кожен вузол першого шару представляє один терм з колоколообразной функцією приналежності. Входи мережі x_1, x_2, \dots, x_n з'єднані тільки зі своїми термами. Кількість вузлів першого шару дорівнює сумі потужностей терм-множин вхідних змінних. Виходом вузла є ступінь приналежності значення вхідної змінної відповідного нечіткому терму:

$$\mu_r(x_i) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x_i - c}{a} \right|^{2b}}, \quad (4.3)$$

де a , b і c – параметри функції приналежності, що настроюються.

Шар 2. Кількість вузлів другого шару дорівнює m . Кожен вузол цього шару відповідає одному нечіткому правилу. Вузол другого шару з'єднаний з тими вузлами першого шару, які формують антецеденти відповідного правила. Отже, кожен вузол другого шару може приймати від 1 до n вхідних сигналів. Виходом вузла є ступінь виконання правила, яка розраховується як добуток вхідних сигналів. Позначимо виходи вузлів цього шару через τ_r , $r = \overline{1, m}$.

Шар 3. Кількість вузлів третього шару також дорівнює m . Кожен вузол цього шару розраховує відносну ступінь виконання нечіткого правила:

$$\tau_r^* = \frac{\tau_r}{\sum_{j=1}^m \tau_j}. \quad (4.4)$$

Шар 4. Кількість вузлів четвертого шару також дорівнює m . Кожен вузол з'єднаний з одним вузлом третього шару, а також з усіма входами мережі (на рис. 4.6 зв'язки з входами не показані). Вузол четвертого шару розраховує внесок одного нечіткого правила в вихід мережі:

$$y_r = \tau_r^* \cdot (b_{0,r} + b_{1,r} x_1 + \dots + b_{n,r} x_n). \quad (4.5)$$

Шар 5. Єдиний вузол цього шару підсумовує вклади всіх правил:

$$y = y_1 + \dots + y_r + \dots + y_m. \quad (4.6)$$

Для моделювання ІНС за результатами опитувань користувачів, представленим в розділі 2, були сформовані навчальні вибірки для $Y_1 - Y_4$ і Z .

У табл. 4.3 приведена частина навчальної вибірки нейронечіткої мережі.

На рис. 4.16 – 4.17 видно, що навчальна вибірка має нормальний закон розподілу.

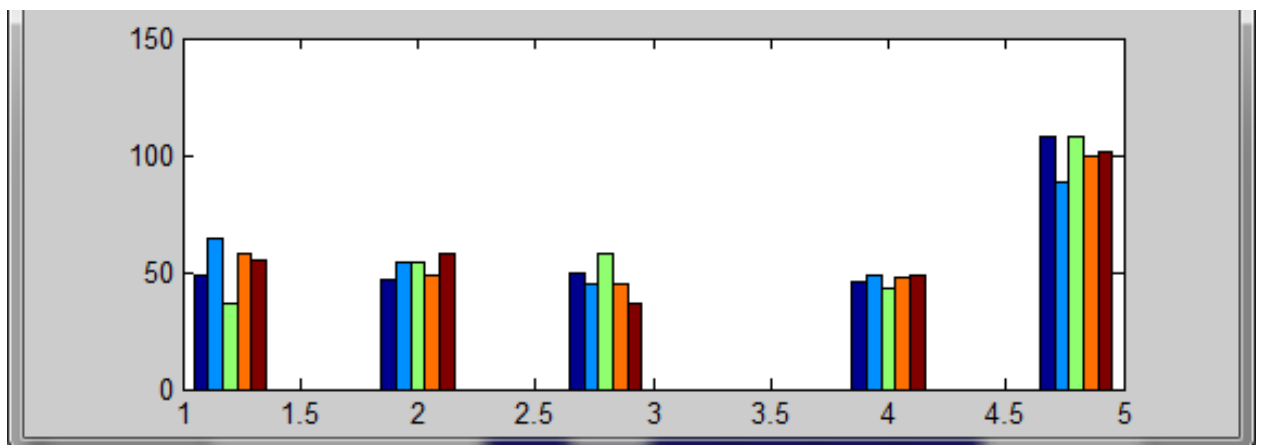
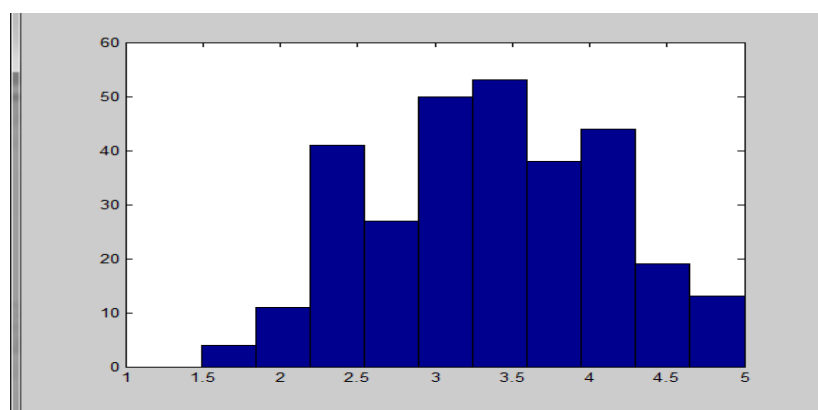


Рис. 4.16. Розподіл значень навчальної вибірки по балам

Частина навчальної вибірки верхнього рівня ієрархії ІНС

Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Z
3	3	5	5	4
3	3	4	3	3
3	3	5	3	4
4	5	5	5	5
3	4	4	4	4
3	4	4	3	4
4	3	5	5	4
3	5	3	4	4
4	4	4	4	4
5	5	5	4	5
3	4	4	5	4
5	4	4	5	5
3	5	5	4	4
4	5	5	3	4
3	4	4	5	4
3	5	3	3	3
3	5	3	5	4
3	4	4	4	4

... і т.д., всього 300 наборів даних.

Рис. 4.17. Гістограма розподілу значень Z в навчальній вибірці

Для навчання нейронечіткої мережі використовувався гібридний метод навчання – комбінація градієнтного спуску у вигляді алгоритму зворотного поширення помилки і методу найменших квадратів. Алгоритм зворотного поширення помилки налаштовує параметри антецедентів правил, тобто функцій приналежності. Методом

найменших квадратів оцінюються коефіцієнти висновків правил, так як вони лінійно пов'язані з виходом мережі. Кожна ітерація процедури налаштування виконується в два етапи.

На першому етапі на входи подається навчальна вибірка, і по нев'язці між бажаною і дійсною поведінкою мережі ітераційним методом найменших квадратів знаходяться оптимальні параметри вузлів четвертого шару.

На другому етапі залишкова нев'язка передається з виходу мережі на входи, і методом зворотного поширення помилки модифікуються параметри вузлів першого шару. При цьому знайдені на першому етапі коефіцієнти висновків правил не змінюються.

Ітераційна процедура настройки триває поки нев'язка перевищує заздалегідь встановлене значення. На рис. 4.18-4.19 показані результати навчання нейронечіткої мережі визначення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів: порівняння даних навчальної вибірки і результатів роботи системи. Використовувався гібридний метод навчання. Кількість епох – 3. При цьому для навчальної вибірки величина помилки склала $1,05 \cdot 10^{-6}$, для тестуючої вибірки – $2,12 \cdot 10^{-6}$.

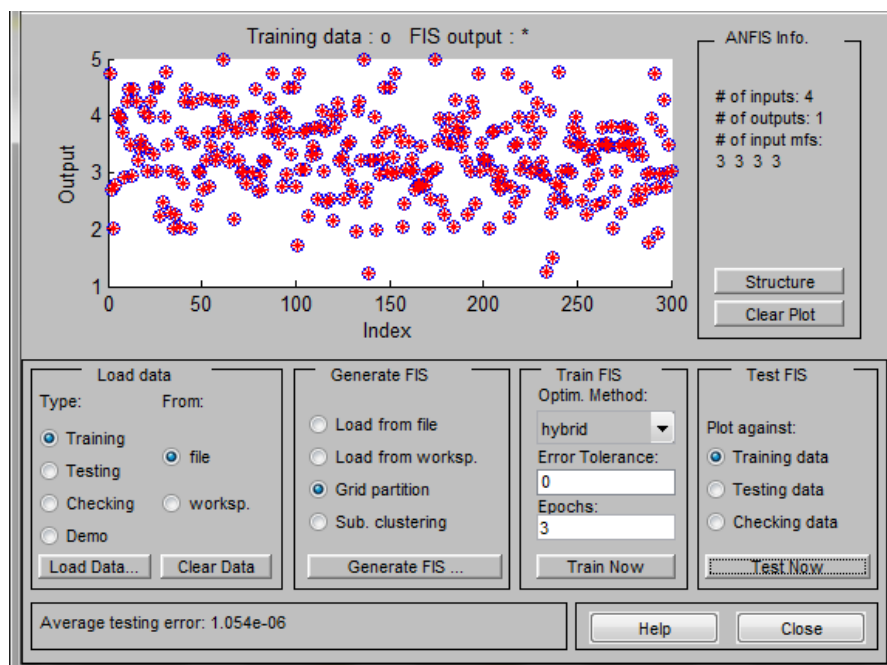


Рис. 4.18. Результати навчання нейронечіткої мережі визначення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів: порівняння даних навчальної вибірки і результатів роботи системи

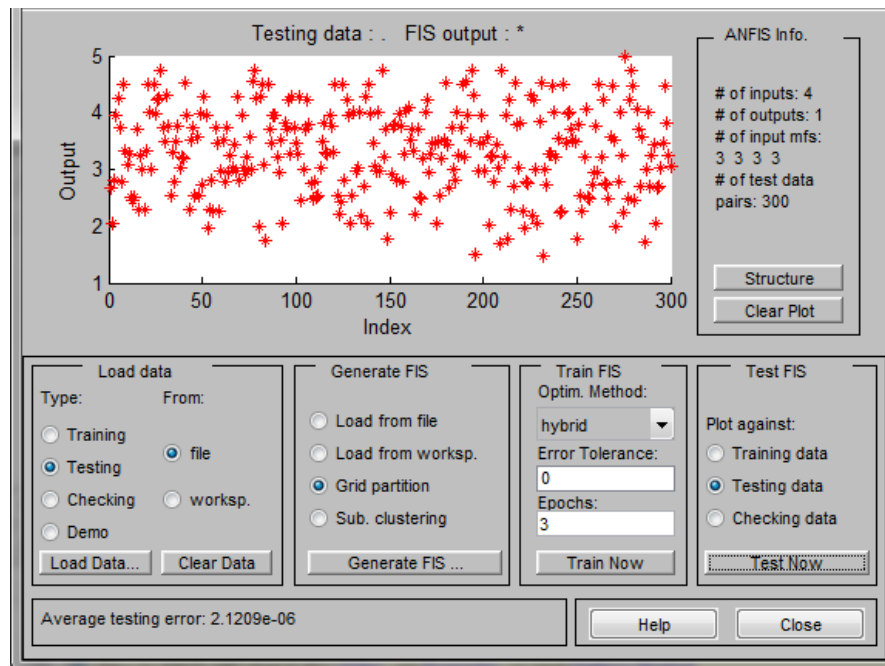


Рис. 4.19. Результати навчання нейронечіткої мережі визначення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів: порівняння даних тестуючої вибірки і результатів роботи системи

На рис. 4.20 зображена структура верхнього рівня ієрархії змодельованої нейронечіткої мережі визначення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів. Тут на входи системи надходять значення компонентів якості (Y_1 - Y_4), на виході – ступінь задоволеності користувачів якістю сервісів (Z).

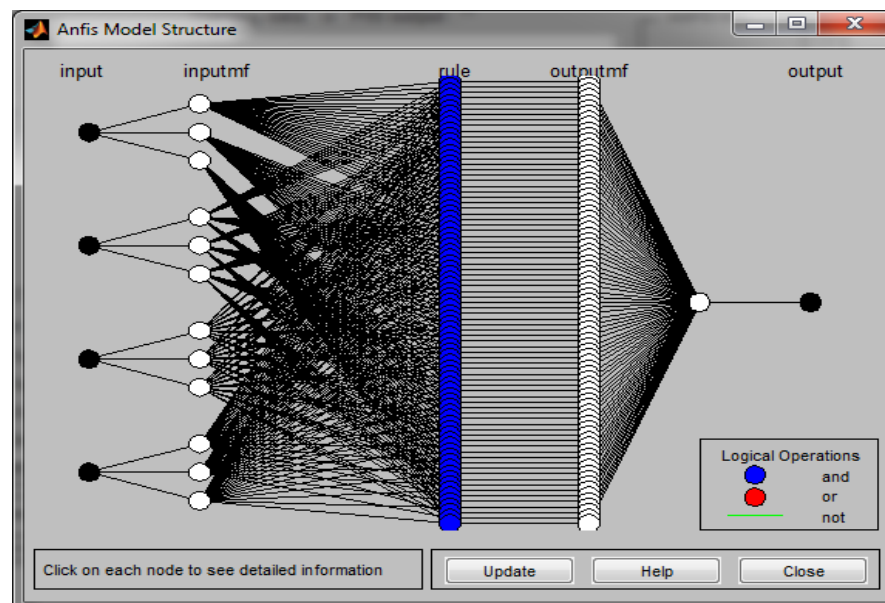


Рис. 4.20. Структура верхнього рівня ієрархії нейронечіткої мережі визначення ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів

Аналогічно було проведено навчання для кожного з компонентів якості сервісу Y_1 – Y_4 . В результаті навчання були визначені функції приналежності для змінних і сформовані бази знань. Приклади графіків функцій приналежності описані в підписах до рис. 4.21-4.22.

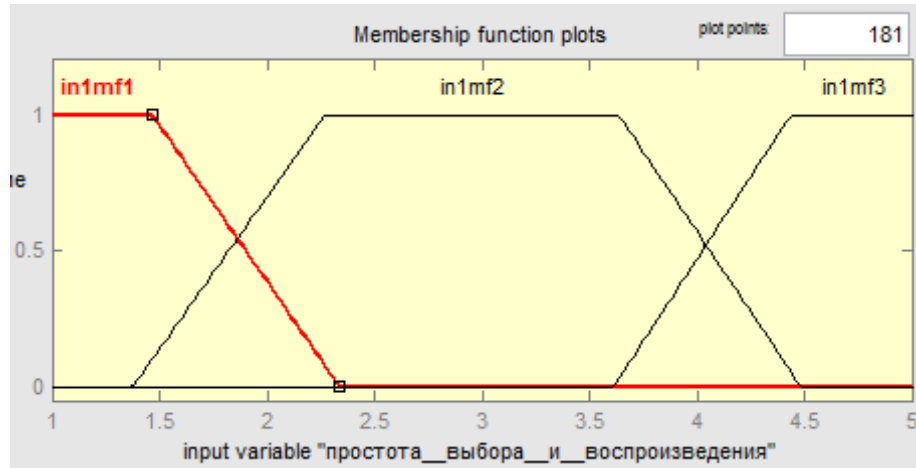


Рис. 4.21. Графіки функцій приналежності для терм-множин вхідної змінної x_{11} "простота вибору і відтворення"

NumMFs = 3

IN1MF1 = 'складно здійснити вибір і відтворення': 'trapmf', [-0.4 0.4 1.466 2.337]

IN1MF2 = 'вибір і відтворення не ускладнені': 'trapmf' [1.376 2.27 3.636 4.486]

IN1MF3 = 'процес вибору і відтворення інтуїтивно зрозумілий': 'trapmf', [3.62 4.45 5.61 6.41]

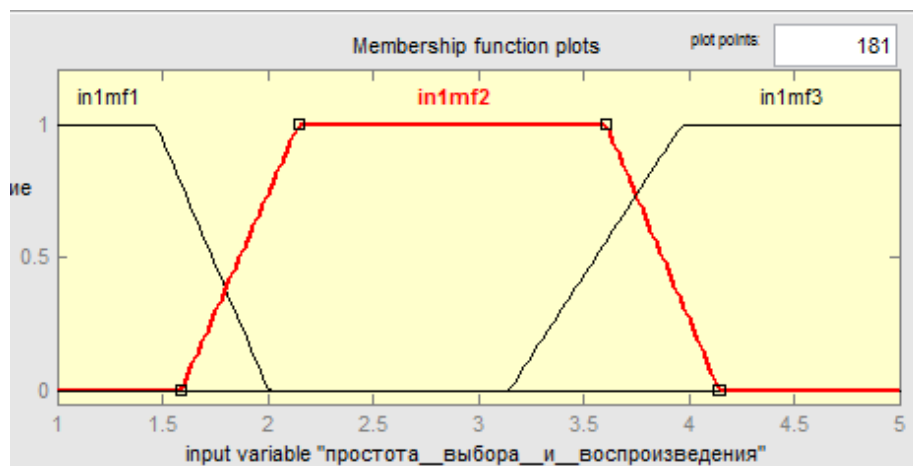


Рис.4.22. Графіки функцій приналежності для терм-множин вхідної змінної x_{12} "простота навігації та завантаження"

NumMFs = 3

IN1MF1 = 'навігацію і завантаження складно здійснити': 'trapmf', [-0.4 0.4 1.47 2.005]

IN1MF2 = 'навігація і завантаження не утруднені': 'trapmf', [1.59 2.15 3.61 4.14]

IN1MF3 = 'процес навігації і завантаження інтуїтивно зрозумілий': 'trapmf', [3.147 3.97 5.133 5.933]

Для отримання висновку по ієрархічній нейронечіткій мережі необхідно передати проміжні результати – результати роботи нейронечітких мереж для Y_1 – Y_4 – на входи верхнього рівня ієрархії. Для цього необхідно виконати наступні команди:

```
global FISFI % -нечітка система.
fisy1 = readfis ('y1.fis'); % Зчитування нечітких систем з диска
fisy2 = readfis ('y2.fis');
fisy3 = readfis ('y3.fis');
fisy4 = readfis ('y4.fis');
fisqos = readfis ('neurofuzzy.fis');
FISFI = fisy1; % Нечіткий висновок для y1:
disp ('клієнтське обладнання ----- >>')
% Y1 = evalfis_ww ([x11 x12 x13 x14 x15], FISFI)
y1 = evalfis (Y1, FISFI)
% Нечіткий висновок для y2:
FISFI = fisy2;
disp ('транспорт сервісу ----- >>')
% Y2 = evalfis_ww ([x21 x22 x23 x24 x25 x26], FISFI)
y2 = evalfis (Y2, FISFI)
% Нечіткий висновок для y3:
disp ('забезпечення сервісу ----- >>')
FISFI = fisy3;
% Y3 = evalfis_ww ([x31 x32 x33 x34 x35], FISFI)
y3 = evalfis (Y3, FISFI)
% Нечіткий висновок для y4:
disp ('забезпечення сервісу ----- >>')
FISFI = fisy4;
```

```

% Y4 = evalfis_ww ([x41 x42 x43 x44 x45], FISFI)
y4 = evalfis (Y4, FISFI)
% Нечіткий висновок для Z:
disp ( 'ступінь задоволеності користувачів якістю сервісу ---- >>')
Z = evalfis ([y1 y2 y3 y4], fisqos)
І в результаті отримаємо:
>> getnfqosz
клієнтське обладнання ----- >>
y1 = 4.1680
транспорт сервісу ----- >>
y2 = 3.9536
забезпечення сервісу ----- >>
y3 = 4.0840
забезпечення сервісу ----- >>
y4 = 4.0160
ступінь задоволеності користувачів якістю сервісу ---- >>
Z = 4.0554
Y = 4.1680 3.9536 4.0840 4.0160

```

В результаті роботи розробленої нейронечіткої системи отримані результати, які відповідають результатам, визначеним на підставі опитувань користувачів і розрахунків з використанням виразів (3.3) – (3.8).

На рис. 4.23 видно, що графік значень ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів, визначених ІНС, практично повністю збігається з результатами, визначеними за результатами опитувань.

Середня величина помилки при визначенні ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів з використанням ієрархічної нейронечіткої системи дорівнює 0,0268 бали, або 0,536%, що свідчить про високу точність роботи системи.

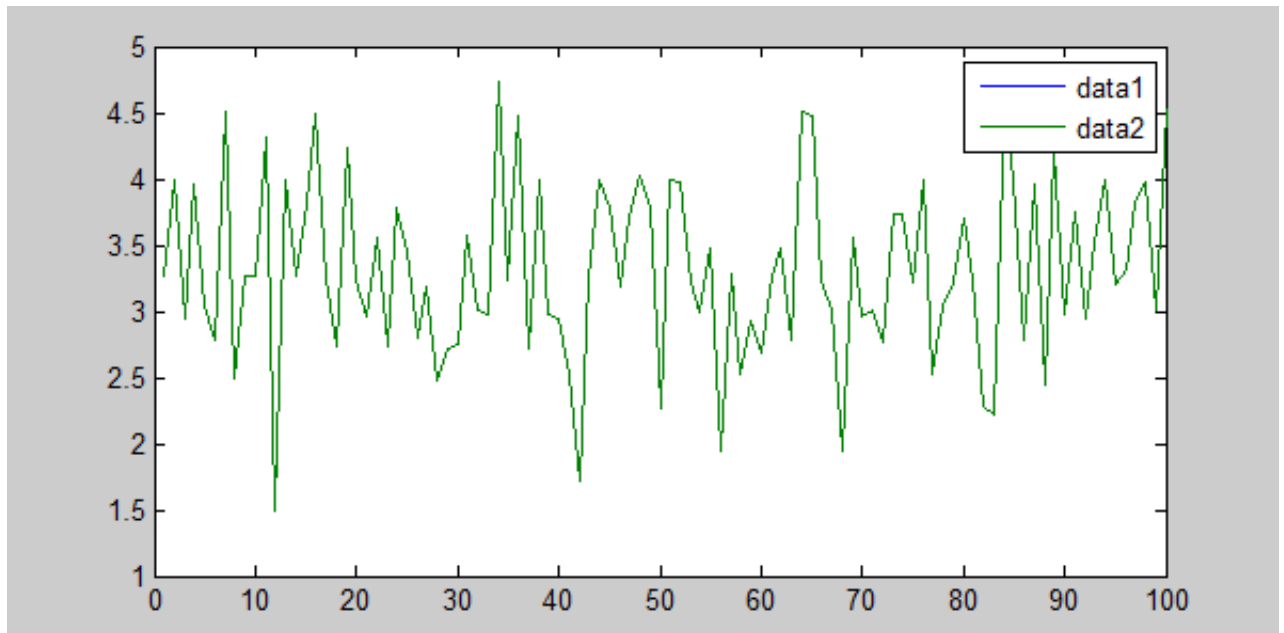


Рис. 4.23. Порівняння результатів роботи системи визначення ступеня задоволеності користувачів з використанням ієрархічної нейронечіткої системи і значень, отриманих за результатами опитувань користувачів

4.5. Моделювання методу формування загальної оцінки якості сервісів в мережі з розподіленим принципом управління

В рекомендації МСЕ-Т У.2012 [55] перераховані основні принципи функціональної архітектури NGN, серед яких:

- розподілене управління – в пакетних мережах повинен використовуватися принцип розподіленої обробки;
- незалежність надання сервісів – процес надання сервісів повинен бути розділений між функціями транспортної мережі, що працює з використанням механізму розподіленого відкритого управління.

З використанням розробленого методу формування загальної оцінки якості сервісів в мережах з розподіленим принципом управління розроблено додаток для мережі з чотирьох сегментів.

Для кожного сегмента мережі реалізована власна система забезпечення якості сервісів.

Додаток визначає загальну оцінку ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів, враховуючи при цьому особливості сегментів мережі, такі як кількість наданих в кожному сегменті сервісів і їх складність. Розрахунок проводиться відповідно до виразів (3.9) і (3.10).

На рис. 4.24 наведено приклад визначення загального ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів для мережі з 4 сегментів, для кожного з яких реалізована власна система забезпечення якості сервісів.

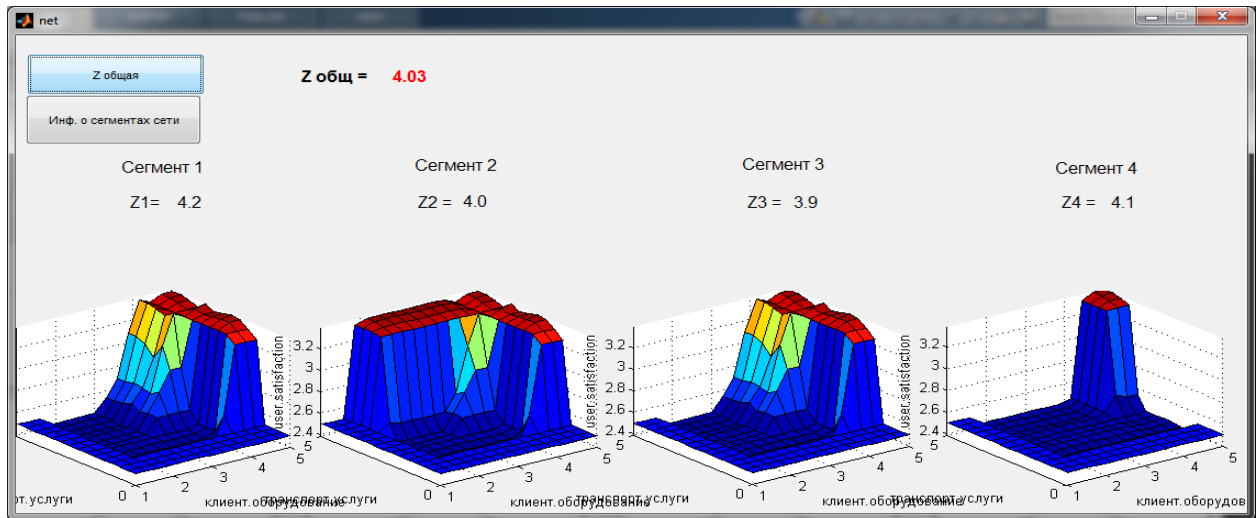


Рис. 4.24. Приклад визначення загального ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів для мережі з чотирьох сегментів

Перевагою мережі з розподіленою системою управління з точки зору врахування думки користувачів є можливість налаштувати вагові коефіцієнти для кожного сегмента мережі і таким чином врахувати переваги певної групи користувачів.

Висновки до четвертого розділу

1. Результати моделювання показали, що вдосконалена система забезпечення якості сервісів в телекомунікаційних мережах наступного покоління дозволяє враховувати думку користувачів при управлінні якістю сервісів. На відміну від існуючих систем подібного роду, в яких управління якістю здійснюється в основному на базі технічних характеристик, запропонована система дає можливість врахувати як технічні аспекти роботи мережі, так і призначені для користувача оцінки якості

надаваних сервісів. Крім того, система дозволяє реалізувати додаткові можливості – провести моделювання користувальницького відгуку на зміни значень показників якості без проведення додаткових опитувань, а також розрахувати вартість корекції показників якості.

2. Розроблено імітаційну модель методу оцінки якості сервісів в мережах з розподіленим принципом управління, що реалізує розрахунок загального ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів з урахуванням вагових коефіцієнтів сегментів мережі.

3. Програмне забезпечення системи забезпечення якості сервісів в ТКМ реалізовано наступними засобами: Fuzzy Logic Toolbox – пакет розширення MATLAB, що містить інструменти для проектування систем нечіткої логіки; і ANFIS-редактор MATLAB, що дозволяє синтезувати з експериментальних даних нейронечіткі мережі. Було розроблено GUI-додаток для реалізації удосконалених методів оцінки та управління якістю сервісів.

4. На основі аналізу отриманих результатів роботи програми визначено, що більш точні результати забезпечує використання нейронечіткої ієрархічної мережі. Величина помилки для результатів роботи нечіткої мережі склала 5,19%, для нейронечіткої – 0,536%. Це пояснюється здатністю нейронних мереж навчатися, завдяки чому система здатна самостійно уточнювати ФН на основі отриманих даних.

5. Результати моделювання повністю збігаються з результатами розрахунків, проведених в розділі 3, що свідчить про працездатність розроблених методів оцінки і управління якістю сервісів в ТКМ.

ВИСНОВКИ

Науковий результат дисертаційної роботи знайшов свою конструктивну реалізацію в наступному комплексі положень, методів і практичних рекомендацій щодо оцінки та управління якістю сервісів в ТКМ:

1. На підставі проведених досліджень в області управління якістю сервісів в ТКМ визначено, що існуючі на сьогоднішній день методи орієнтовані переважно на оцінку технічних характеристик роботи мережі, в той час як з розширенням спектра надаваних сервісів переважаючим стає підхід до визначення рівня якості сервісів в залежності від ступеня задоволеності користувачів. Визначено, що для отримання всесторонньої оцінки якості сервісів необхідно враховувати як технічні показники роботи мережі, так і користувальницьку оцінку якості надаваних сервісів, що потребує удосконалення існуючих та розробки нових методів та підходів щодо управління якістю сервісів в ТКМ.

2. Уперше розроблено метод оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів, який дозволяє враховувати думку користувачів при управлінні якістю сервісів завдяки використанню апарату нечіткої логіки. Метод реалізовано в ієрархічній нейронечіткій системі, яка дозволяє отримати комплексну оцінку якості сервісів, а також моделювати реакцію користувачів на зміну стану мережі.

3. Удосконалено метод управління якістю сервісів в ТКМ, який, за рахунок введення відносної величини, що характеризує приріст показника якості на одиницю вартості, дозволяє визначити найважливіші для користувача показники якості сервісів та забезпечити рівень якості, за якого користувачі задоволені якістю сервісів, за умови обмеженості витрат на корекцію показників якості. Застосування ІНС дозволяє моделювати ступінь задоволеності користувачів якістю сервісів та запам'ятовувати кращий стан мережі для підтримки потрібного рівня задоволеності користувачів якістю сервісів.

4. Удосконалено метод формування загальної оцінки якості сервісів в мережах з розподіленим принципом управління. За рахунок введення вагових коефіцієнтів для сегментів мережі реалізована можливість формування загальної оцінки ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів з урахуванням

особливостей сегментів мережі, зокрема, кількості сервісів, що надаються в кожному сегменті, та їх складності.

5. Удосконалено метод управління QoS в MPLS, який на базі врахування побажань та потреб користувачів здатен проводити налаштування значень показників якості шляхом зміни політики обробки пакетів заданого типу, а також змінювати клас обслуговування сервісу, переписуючи код DSCP у заголовку пакету у межах допустимих класів обслуговування. Крім того, розроблений метод дозволяє прогнозувати необхідність розвитку мережі. Розрахунок ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів Z до та після корекції показав підвищення Z більш ніж на 3%, при тому що вплив здійснювався лише на 2 показники якості із 22.

6. Розроблено імітаційні моделі методів управління якістю сервісів. Розроблено імітаційну модель методу оцінки якості сервісів в мережах з розподіленим принципом управління, що реалізує розрахунок загального ступеня задоволеності користувачів якістю сервісів з урахуванням вагових коефіцієнтів сегментів мережі. Програмне забезпечення реалізовано наступними засобами: Fuzzy Logic Toolbox – пакет розширення MATLAB, що містить інструменти для проектування систем нечіткої логіки; і ANFIS-редактор MATLAB, що дозволяє синтезувати нейронечіткої мережі з експериментальних даних. Розроблено GUI-додаток для реалізації роботи вдосконалених методів управління. На основі аналізу отриманих результатів роботи визначено, що більш точні результати забезпечує використання нейронечіткої ієрархічної мережі, величина помилки для результатів роботи якої склала 0,536%. Величина помилки для результатів роботи нечіткої мережі склала 5,19%. Це пояснюється здатністю нейронних мереж до навчання, завдяки чому мережа здатна самостійно уточнювати функції приналежності на підставі отриманих даних.

7. Подальший розвиток розроблених імітаційних моделей передбачає ітеративне нарощування функціональності програмного забезпечення, розширення спектра оцінюваних сервісів та ефективного використання програмного забезпечення з метою підвищення якості сервісів в ТКМ.

8. Обґрунтованість отриманих результатів засновується на коректному застосуванні основних положень і принципів системного аналізу, теорій нечітких множин та нейронних мереж і математичного апарату методів дослідження операцій.

9. Достовірність отриманих результатів підтверджується: заданими реальними вихідними даними, використанням апробованого математичного апарату, несуперечливістю отриманих даних відомим підходам до управління якістю сервісів, збіжністю теоретичних результатів з експериментальними даними, отриманими шляхом імітаційного моделювання процесу управління якістю сервісів в ТКМ з урахуванням думки користувача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кальченко А.С. Управление качеством услуг в телекоммуникационных сетях [Текст] / А.С. Кальченко // Information Models and Analyses. – Varna: 2013. – P. 349-360.
2. Князева Н.А. Оценка качества услуг связи с позиций удовлетворенности потребителей [Текст] / Н.А. Князева, А.С. Кальченко // Science and Education a New Dimension. – Budapest: 2013. – Vol. 8. – P. 156-161.
3. Kniazieva N.A. Approach to evaluating the quality of telecommunication services in next generation networks [Текст] / N.A. Kniazieva, A.S. Kalchenko // Science and Education a New Dimension: Natural and Technical Science. – Budapest: 2014. – Vol. II(4), Issue: 32. – P. 68-70.
4. Кальченко А.С. Повышение качества мультимедийных услуг в сетях следующего поколения с использованием методов нечеткой логики [Текст] / А.С. Кальченко // Холодильна техніка та технологія. – 2015. – Том 51, №1. – С.76-83.
5. Кальченко А.С. Интеллектуальная система управления качеством услуг в сетях следующего поколения [Текст] / А.С. Кальченко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2015. – Випуск 6(115). – С. 55-60.
6. Князева Н.А. Управление качеством услуг в сетях следующего поколения с использованием методов нечеткой логики [Текст] / Н.А. Князева, А.С. Кальченко // Холодильна техніка та технологія. – 2015. – Том 51, №4. – С.102-107.
7. Kalchenko A.S. Accounting users' opinion about quality of services in NGN with distributed control system [Text] / A.S. Kalchenko // Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science. – Slavske, Ukraine:2016. – P. 926-929.
8. Kalchenko A.S. Intelligent control system in NGN [Text] / A.S. Kalchenko // Actual problems in professional sphere. – Odessa: 2012. – P. 65-66.
9. Кальченко А.С. Управление интеллектуальными услугами в NGN [Текст] / А.С. Кальченко // Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій. – Одеса: 2012. – С. 89-90.

10. Кальченко А.С. Управление качеством услуг в сетях NGN [Текст] / А.С. Кальченко // Математичне моделювання та інформаційні технології. – Одеса: 2012. – С. 115-116.
11. Кальченко А.С. Использование искусственного интеллекта в управлении качеством услуг в сетях NGN [Текст] / А.С. Кальченко // Перспективы развития телекоммуникационных и информационно-измерительных технологий. – Харьков: 2013. – С. 91-92.
12. Князева Н.А. Повышение качества мультимедийных услуг в сетях следующего поколения [Текст] / Н.А. Князева, А.С. Кальченко // Теорія прийняття рішень. – Ужгород: 2014. – С. 124-125.
13. Кальченко А.С. Иерархическая система оценки качества услуг в NGN [Текст] / А.С. Кальченко // Математичне моделювання та інформаційні технології. – Одеса: 2014. – С.77-78.
14. Кальченко А.С. Повышение эффективности управления качеством услуг в сетях следующего поколения [Текст] / А.С. Кальченко // Сучасні інформаційні технології. – Одеса, ВМВ: 2015. – С. 57-58.
15. Кальченко А.С. Алгоритм управления качеством услуг в телекоммуникационных сетях [Текст] / А.С. Кальченко // Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій. – Одеса: 2015. – С.82-84.
16. Кальченко А.С. Применение методов нечеткой логики в управлении качеством услуг в сетях следующего поколения [Текст] / А.С. Кальченко // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи). – Черкаси: 2015. – С.204-205.
17. Кальченко А.С. Применение ANFIS в управлении качеством услуг в сетях следующего поколения [Текст] / А.С. Кальченко // Інформаційні технології і автоматизація. – Одеса: 2015. – С.32-33.
18. Варакин Л.Е. Интеллектуальная сеть: эволюция сетей и услуг связи [Текст] / Л. Е. Варакин // Электросвязь. – 1992. – №1. – С. 22-24.

19. Лихтциндер Б.Я. Интеллектуальные сети связи [Текст]: учеб. пособие для вузов / Б.Я. Лихтциндер, М.А. Кузякин, А.В. Росляков, С.М. Фомичев. – Эко-Трендз, 2002. – 206 с.
20. Y.2001. Сети последующих поколений [Текст]: [Международный стандарт электросвязи]/ Структура и функциональные модели архитектуры: МСЭ-Т. — Действителен от 2004-17-12. – Женева, 2005. – 12 с.
21. Гольдштейн А. Б. Еще раз о Softswitch или сравнение реализаций трехгранной пирамиды [Текст] / А. Б. Гольдштейн // Вестник связи.– 2003. – №9. – С. 40-53.
22. Гольдштейн А.Б. Построение NGN: IPCC vs. TISPAN [Текст] / А.Б. Гольдштейн, А. Атцик // Connect! Мир связи. – 2006. – № 4. – С. 90-95.
23. Гольдштейн Б.С. Интеллектуальные сети [Текст]: учеб. пособие для вузов / Б.С. Гольдштейн, И.М. Ехриель, Р.Д. Рерле. – М.: Радио и связь, 2000. – 504 с.
24. Росляков, А.В. Сети следующего поколения NGN [Текст] / А.В. Росляков, С.В. Ваняшин, М.Ю. Самсонов, И.В. Шibaева, Н.А. Чечнёва; под ред. А.В. Рослякова. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 424 с.
25. Principles of intelligent network architecture: ITU-T [Text]. – I.312 / Q.1201. – Женева, 1992. – 33 с.
26. Intelligent Network – Service plane architecture: ITU-T [Text]. – I.328/Q.1202. – Женева, 1999. – 19 с.
27. Ефимушкин В.А. Модели взаимодействия узлов платформы интеллектуальной сети связи при обслуживании вызовов [Текст] / В.А. Ефимушкин, Ю.И. Филюшин // Труды Международной Академии Связи, 1998. – №3. – С. 12-16.
28. Гольдштейн Б.С. Конвергенция мобильных и интеллектуальных сетей [Текст] / Б.С. Гольдштейн, И.М. Ехриель, Р.Д. Рерле. //Вестник связи. – 2000. – №5. – С. 70-74.
29. Нейман В.И. О концепции Интеллектуальной сети [Текст]/ В.И. Нейман // Электросвязь. – 1993. – №4. – С. 24-25.
30. Сушков А. Предоставление голосовых услуг в сетях связи следующего поколения [Электронный ресурс] / А. Сушков. – Режим доступа:

http://sushkov.ru/articles/Article_vsp_in_ngn.htm. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 11.10.2015).

31. Олифер В. Новые технологии и оборудование IP-сетей [Текст] / В. Олифер, Н. Олифер. – СПб.: БХВ-Петербург, 2000. – 512 с.
32. Материалы интернет-сайта "УКРИНФОРМСВЯЗЬ" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.informsviaz.co.ua/>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 18.03.2013).
33. “Международный союз электросвязи (ITU)”, официальное Интернет-представительство [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.itu.int> . – Загл. с экрана. (Дата обращения: 11.10.2015).
34. Гольдштейн Б.С. Основные положения по модернизации телефонной сети общего пользования с целью создания NGN [Текст] / Б. С. Гольдштейн, В. Е. Никифоров. – СПб.: БХВ, 2006. – 35 с.
35. Соколов Н.А. Задачи перехода к сети связи следующего поколения [Текст]: автореф. дис. на соиск. учён. степ. докт. техн. наук: специальность 05.12.13 “Системы, сети и устройства телекоммуникаций” / Н.А. Соколов. – СПб.: 2005. – 37 с.
36. Recommendation MCE–T Y.3001 (05/2011), ITU–T Study Group. Серия Y. Глобальная информационная инфраструктура, аспекты протокола интернет и сети последующих поколений [Текст]. утв. 2011. – 26 с.
37. Отрох С. І. Архітектура мережі нового покоління NGN [Текст] / С. І. Отрох, О. С. Єфремов // Вісник ДУІКТ. Спецвипуск. – 2007. – С. 65-71.
38. Гольдштейн Б.С. Softswitch [Текст] / А.Б. Гольдштейн, Б.С. Гольдштейн. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 368 с.
39. Гольдштейн А.Б. Подводная часть айсберга по имени NGN. Часть 1. [Текст] // Технологии и средства связи / А.Б. Гольдштейн, Н.А. Соколов. – 2006. – №2. – С.12-21.
40. Гольдштейн А.Б. Подводная часть айсберга по имени NGN. Часть 2. [Текст] // Технологии и средства связи / А.Б. Гольдштейн, Н.А. Соколов. – 2006. – №3. – С.22-29

41. Кучерявый А.Е. Сети связи следующего поколения [Текст] / А.Е. Кучерявый, А.Л. Цуприков. – М.: ФГУП ЦНИИС, 2006. – 278 с.
42. Гулевич Д.С. Сети связи следующего поколения [Текст] / Д.С. Гулевич. – М.: Бином-Пресс, 2007. – 183 с.
43. Семёнов Ю.В. Проектирование сетей связи следующего поколения [Текст] / Ю.В. Семёнов. – М.: ОАО Гипросвязь, 2005. – 240 с.
44. Телекоммуникационные системы и сети [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.В. Величко, Е.А. Субботин, В.В. Шувалов, А.Ф. Прославцев – Москва: Горячая линия – Телеком, 2005. – Т. 3. – 592 с.
45. Крук Б.И. Телекоммуникационные системы и сети [Текст]: учеб. пособие в 3 Т. / Б.И.Крук, В.Н. Попантонопуло, В.П. Шувалов // Современные технологии. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 647 с. – 1.т.
46. Recommendation MCE–T Y.3001 Future Networks: Objectives and Design Goals, ITU–T Study Group. Глобальная информационная инфраструктура, аспекты протокола интернет и сети будущего [Текст]. утв. 2011. – 26 с.
47. Тихвинский В.О. Управление и качество услуг в сетях GPRS/UMTS: учеб. Пособие [Текст] / В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев – М.: Эко-Трендз, 2007. – 395 с.
48. Андреев Д.В. Методология тестирования параметров функционирования сети в целях обеспечения качества услуг [Текст] // Семинар ФГУП ЦНИИС «Подходы по тестированию параметров функционирования сети в целях обеспечения качества услуг связи». – Москва: 2011. – 45 с.
49. Стеклов В.К. Проектування телекомунікаційних мереж [Текст]: підруч. для студ. вищ. навч. закл. за напрямком «Телекомунікації» / В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман; за ред. В.К. Стеклова. – К.: Техніка, 2002. – 792с .
50. Иткин А. Стандартизация QoS и понятие качества услуг [Текст] // Семинар ФГУП ЦНИИС «Подходы по тестированию параметров функционирования сети в целях обеспечения качества услуг связи». – Москва. – 2011. – 20 с.
51. Стеклов В.К. Основи управління мережами та послугами телекомунікацій [Текст] / В.К.Стеклов, Є.В. Кільчицький. – К.: Техніка, 2002.– 348с.

52. Шестоपालов С.В. Принципи побудови системи управління в NGN [Текст] / С.В. Шестоपालов // Конференція професорсько-викладацького складу. Тези доповідей, Одеса. ОДАХ. – 2008. – С.11-13.
53. ITU-T Recommendation Y.2011 General principles and general reference model for Next Generation Networks. [Text]. Approved in 2004. – 34 p.
54. Требования к сетевым показателям качества для служб, основанных на протоколе IP: МСЭ-Т [Текст]. – Y.1541. – [Переизд. Фев. 2007 с изм.]. – Женева, 2007. – 43 с.
55. Князева Н.О. Теорія проектування комп'ютерних систем і мереж. [Ч. 1] Основи системного підходу до проектування [Текст]: навчальний посібник для вузів з дисципліни "Теорія проектування" для студентів спеціальності 7.091501 "Комп'ютерні системи та мережі" / Н.О. Князева, О.А. Князева – Одеса: "ВМВ", 2008. – 212 с.
56. Романов А. И. Телекоммуникационные сети и управление [Текст] / А. И. Романов. – К.: ИПЦ, «Киевский университет», 2003. – 247с.
57. Князева Н. О. Теорія проектування комп'ютерних систем і мереж. Ч.2. Методи аналізу і синтезу комп'ютерних систем і мереж [Текст]: навч. посібник / Н. О. Князева. – Одеса: СПД, 2012. – 240 с.
58. ITU-T Recommendation E.802 – Framework and methodologies for the determination and application of QoS parameters [Text], Geneva, 2007.
59. ДСТУ ISO 9001:2009 Системы менеджмента качества – основы и словарь. [Текст] . – Київ. ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ, Б. 3. №. 6. – 2009.
60. Катал М. Анализ и сравнение контроля QoS (качества услуг) в сетях следующего поколения [Текст] / М. Катал // Беспроводные технологии №4 (88). – 2008. – С. 44-48.
61. Ершов В.А. Мультисервисные телекоммуникационные сети [Текст] / В.А. Ершов, Н.А. Кузнецов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 432 с.
62. Асауленко І. О. Дослідження характеристик методу декодування кодів з малою щільністю перевірок на парність на основі стохастичної оптимізації / І. О. Асауленко, С. І. Приходько, О. С. Жученко, М. А. Штомпель // Інформаційно-

керуючі системи на залізничному транспорті. - 2016. - № 1. - С. 33-40. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ikszt_2016_1_6.

63. Самсонов М.Ю. Обеспечение качества передачи речи в конвергентных сетях с учетом неточности сетевых характеристик [Текст]/ М. Ю. Самсонов // Т-Сomm –Телекоммуникации и Транспорт. – Выпуск № 4. – 2009. – С.36-41.
64. Кутузов О.И. Моделирование телекоммуникационных сетей [Текст] / О.И. Кутузов, Т.М. Татарникова. – СПб: СПбГУТ им. Бонч-Бруевича, 1999. – 288 с.
65. Бройдо В.Л. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации [Текст] / В.Л. Бройдо, О.П. Ильина – 4-е изд. – СПб.: Питер, 2011. — 560 с.
66. ITU-T E.800-series Recommendations – Supplement 8, “Guidelines for inter-provider quality of service” [Text], Geneva, 2009.
67. ITU-T P.800, “Mean Opinion Score (MOS) terminology,”[Text]. Approved in 2003.
68. DSL Forum, "Triple play service Quality of Experience(QoE) Requirements and Mechanism" [Text]. Approved in 2006. – 129 p.
69. ETSI TS 102 250-1 [Text]: Speech processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 1: Identification of Quality of Services aspects.
70. ETSI ETR 003 [Text]: Network Aspects (NA); General aspects of Quality of Service (QoS) and Network Performance (NP) - Edition 2.
71. ETSI TS 123 107 [Text]: Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Quality of Service (QoS) concept and architecture (3GPP TS 123.107 Release5)
72. ETSI TS 102 250-3 [Text]: Speech processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 3: Typical procedures of Quality of Service measurement equipment.
73. ETSI TS 129 208 [Text]: "Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); End to end Quality of Service (QoS) signaling flows (3GPP TS 29.208 Release 5).
74. ITU-T G.109 [Text]: “Definition of categories of speech transmission quality”. – Approved in 1999.

75. ITU-T H.323 [Text]: “Packet-based Multimedia Communications Systems”. Approved in 2000.
76. ITU-R Recommendation E.800 [Text]: “Quality of telecommunication services: concepts, models, objectives and dependability planning – Terms and definitions, related to Quality of Services and network performance including dependability”. – Approved in 2008. – 30 p.
77. ITU-T Recommendation P.862 [Text]: "Perceptual evaluation of Speech Quality (PESQ), an objective method for End to end speech quality assessment of narrowband telephone networks and speech codecs" . Approved in 2001. – 30 p.
78. Деарт В.Ю. Исследование параметров качества обслуживания (QoS), определяющих качество восприятия пользователем (QoE) потокового видео при передаче через интернет [Текст] / В. Ю. Деарт, И. С. Кожухов // Т-Comm – Телекоммуникации и Транспорт. – № 8. – 2013. – С. 44-47.
79. Ibarrola E. Quality of Service Management for ISPs: A Model and Implementation Methodology based on the ITU-T Recommendation E.802 Framework [Text]/ E. Ibarrola et al // IEEE Commun. Mag., vol. 48. – 2010. – Pp. 146–153.
80. Ibarrola E. A user-centric approach to QoS regulation in future networks [Text] / E. Ibarrola, J. Xiao, F. Liberal, A. Ferro // ITU-T Kaleidoscope 2010 «Beyond the Internet? Innovations for future networks and services». – Pune, India: 2010. – 19 p.
81. Ibarrola E. Internet QoS Regulation in Future Networks: A User-Centric Approach [Text] / E. Ibarrola, J. Xiao, F. Liberal, A. Ferro // IEEE Communications Magazine, October 2011. – P. 148-155.
82. Dogman A. Quality of Service Evaluation using a Combination of Fuzzy C-Means and Regression Model [Text]/ A. Dogman, R. Saatchi, S.Al-Khayatt // International journal of electronics and electrical engineering. – Vol.6, No.1 – 2012. – P. 58-65.
83. Dogman A. Evaluation of computer network Quality of Service using neural networks [Text]/ A. Dogman, R. Saatchi, S.Al-Khayatt // //Business, Engineering and Industrial Applications (ISBEIA), 2012 IEEE Symposium. – 2012. – P.217-222.

84. Radhakrishnan K. Evaluating perceived voice quality on packet networks using different random neural network architectures [Text] / K. Radhakrishnan, H. Larijani // Performance Evaluation. Vol. 68, Issue 4. – 2011. – P. 347–360.
85. Jaber M. Using neural networks for quality management [Text]/ M. Jaber, J. Combaz, L.Strus, J.-C. Fernandez // Emerging Technologies and Factory Automation, 2008. ETFA 2008. IEEE International Conference. – 2008. – P.1441-1448.
86. Golmohammadi A. Prioritizing Service Quality Dimensions: A Neural Network Approach [Text]/ A. Golmohammadi, B. Jahandideh// World Academy of Science, Engineering & Technology. – Issue 42. – 2010. – P.602-605.
87. Han M. Evaluation of VoIP Quality over WiBro [Text] / M. Han et al.// Passive and Active Network Measurement, vol. 4979, LNCS, Springer, 2008, pp. 51–60.
88. Taesang Choi Quality of Service in Quality of Service in NGN [Text]/ Choi Taesang // ITU-T Workshop on Next Generation Networks.– 2006, Hanoi. – 12 p.
89. Hyun Jong Kim A Study on a QoS/QoE Correlation Model for QoE Evaluation on IPTV Service [Text] / Hyun Jong Kim, Ki Seong Cho, Hwa Suk Kim, Seong Gon Choi // Advanced Communication Technology (ICACT), 2010 The 12th International Conference on (Volume:2). – P.1377 – 1382
90. Телекомунікаційні системи та мережі. Структура й основні функції. Том 1 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.znanius.com/3534.html> – Загл. з екрану. (дата звернення 25.05.2015).
91. Росляков А.В. IP-телефония [Текст] / А.В. Росляков, В.Ю. Самсонов, И.В. Шибаетова. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 250 с.
92. Бакланов И.Г. NGN: Принципы построения и организации [Текст] / И.Г. Бакланов. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 400 с.
93. Дансмор Б. Справочник по телекоммуникационным технологиям. [Текст] : пер. с англ. / Б. Дансмор, Т. Скандьер. – М.: "Вильямс", 2004. – 640 с.
94. ITU-T G.1000, "Communications Quality of Service: A Framework and Definitions," [Text]. Approved in 2001. – 16 p.
95. РД 45.254-2002 Нормы на показатели качества услуг связи и методики проведения их оценочных испытаний. – 2002. – 48 с.

96. Засецкий, А.В. Контроль качества в телекоммуникациях и связи. Часть II. [Текст] / А.В. Засецкий, А.В. Иванов. – М.: Компания Sygus Systems, 2003. — 335 с.
97. Иткин А. Методология оценки качества услуг IPTV [Электронный ресурс] / А. Иткин. — Режим доступа: https://www.itu.int/ITU-D/tech/events/2011/Moscow_ZNIIS_April11/Presentations/12-Itkin-iptv_pics.pdf – Загл. з экрана. (дата звернення 18.05.2014).
98. Recommendation Y.1545 (05/13): Roadmap for the quality of service of interconnected networks that use the Internet Protocol [Text]. Approved in 2013. – 18 p.
99. Симонина О.А. Модели расчёта показателей QoS в сетях следующего поколения [Текст]: дис. на соиск. учён. степ. канд. техн. наук / О.А. Симонина. – СПб.: 2005. – 129 с.
100. Князева Н.О. Проблеми оцінки та управління якістю послуг в поштовому зв'язку [Текст]: [монографія] / Н. О. Князева, О. А. Князева// ОДАХ . – О. : Фенікс, 2011. – 243 с.
101. Князева Н.А. Теоретические и прикладные вопросы маркетинговой деятельности в сфере услуг [Текст] : [монография] / Н. А. Князева, Е. А. Князева; ОНАПТ. – Одесса : ВМВ, 2014. – 215 с.
102. Аристов О.В. Управление качеством [Текст]: учеб. пособие для вузов / О.В. Аристов – М: ИНФРА-М, 2006. – 240 с.
103. Тихвинский В. Качество услуг в сетях GERAN/UMTS / В.Тихвинский, С. Терентьев // Телекоммуникации, телевидение и интернет. – 2008.– С. 5-14.
104. Свиридов Е. Градации качества [Электронный ресурс] / Е.Свиридов // СЕТИ и Телекоммуникации. — Режим доступа: – <http://www.seti-ua.com/> Загл. с экрана. (Дата обращения: 15.07.2013).
105. ETSI EG 202 057-4 “Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User Related QoS Parameter Definitions and Measurements; Part 4: Internet Access,” 2008.

106. Рекомендация МСЕ–Т У.3001: “Глобальная информационная инфраструктура, аспекты протокола интернет и сети последующих поколений [Текст]. утв. 2011. – 26 с.
107. Стеклов В.К. Сучасні системи управління в телекомунікація [Текст] / В.К. Стеклов, Б.Я. Костік, Л.Н. Беркман ; за заг. ред. В.К. Стеклова. – Київ : Техніка, 2005. – 395 с.
108. Резникова Н.П. Менеджмент в телекоммуникациях [Текст] / Е.В. Демина, В.Б. Булгак, А.В. Голышко, В.В.Макаров, В.О. Тихвинский, Е.Б. Алексеев; под ред. Н.П. Резниковой, Е.В. Деминой. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 392 с.
109. Шестопапов С.В. Якість управління в NGN [Текст] / С.В. Шестопапов, І. В. Грищенко // ЗВ’ЯЗОК, № 1. – 2014. – С. 24-30
110. Negnevitsky M. Artificial intelligence: a guide to intelligent systems [Text] / M. Negnevitsky // Addison-Wesley. – 2005. – 435 p.
111. Jang J.-S.R. ANFIS: Adaptive Network-based Fuzzy Inference Systems [Text]/ J.-S.R. Jang // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 23(3). – 1993. – P. 665-685.
112. Golmohammadi A. Prioritizing Service Quality Dimensions: A Neural Network Approach. [Text]/ A.Golmohammadi, B. Jahandideh // World Academy of Science, Engineering & Technology. – Issue 42. – 2010. – P.602-605.
113. Ланцберг А.В. Особенности оценки качества медицинской электронной услуги [Текст]/ А.В. Ланцберг, Тройч Клаус, Т.И. Булдакова // Информационное общество, 2011. – вып. 4. – С. 28-37.
114. Radonjic V. Quality of Experience and Users Elasticity Considerations for Modelling Competition between Service Providers in NGN [Text]/ V. Radonjic, A. Kostic Ljubisavljevic, M. Stojanovic// Elektronika Ir Elektrotehnika. – Vol. 18, No. 8. – 2012. – P. 113-116.
115. Гольдштейн Ф.Б. Технология и протоколы MPLS [Текст]/ Ф.Б. Гольдштейн, Б.С. Гольдштейн. – СПб.: БХВ-Петербург. – 2005. –304с.

116. Украинцев Ю.Д. История связи и перспективы развития телекоммуникаций [Текст]: учебное пособие / Ю.Д. Украинцев, М.А. Цветов. – Ульяновск: УлГТУ, 2009. – 128 с.
117. Оливейн В. Структура и реализация современной технологии MPLS [Текст] / В. Оливейн. – М.: Вильямс, 2004. – 480 с.
118. Реализация политик QoS с кодами DSCP [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.cisco.com/cisco/web/support/RU/9/92/92093_dscpvalues.html#packetclassification . – Загл. с экрана. (Дата обращения: 15.04.2016).
119. Столлингс В. Компьютерные сети, протоколы и технологии Интернета [Текст] / В. Столлингс. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 832 с.
120. Janevski T. QoS/QoE frameworks for converged services and applications [Text] / T. Janevski // New Issues in Quality of Service Measuring and Monitoring. – Bologna, 2015. – 54 P.
121. Janevski T. Internet Technologies for Fixed and Mobile Networks [Text] / T. Janevski. – Artech House, USA. – 2015. – 400 p.
122. Janevski T. NGN Architectures, Protocols and Services [Text] / T. Janevski. – Wiley, UK. – 2014 – 366 p.
123. ITU-T Recommendation Y.1566 (07/2012): “Quality of service mapping and interconnection between Ethernet, Internet protocol and multiprotocol label switching networks”. Approved in 2012. – 22 p.
124. Law R. DiffServ and MPLS – Concepts and Simulation [Электронный ресурс] / R. Law, S.Raghavan – 2003. – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1.1608&rep=rep1&type=pdf> . – Загл. с экрана. (Дата обращения: 16.04.2016).
125. Мурадова А.А. Анализ влияния использования протоколов MPLS и RSVP на надежность сети NGN [Текст] / А.А. Мурадова // Молодой ученый. – 2013. – №11. – С. 146-151.
126. Семенов Ю.А. Telecommunication technologies – телекоммуникационные технологии [Электронный ресурс] / Ю.А. Семенов. – 2014. – Режим доступа: <http://book.itер.ru/1/intro1.htm> . – Загл. с экрана. (Дата обращения: 20.04.2016).

127. RFC 791 – Internet Protocol Protocol Specification [Электронный ресурс] . – Режим доступа: <http://www.ietf.org/rfc/rfc791>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 15.04.2016).
128. RFC 2474 – Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2474>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 15.04.2016).
129. RFC 2597 Assured Forwarding PHB Group [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2597>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 15.04.2016).
130. RFC 3270 Multi-Protocol Label Switching (MPLS) Support of Differentiated Services [Электронный ресурс]. – 2002 .– Режим доступа: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3270> . – Загл. з экрану. (Дата звернення: 15.04.2016).
131. ITU-T Recommendation E.803: “Quality of service parameters for supporting service aspects”. Approved in 2011. – 52 p.
132. ITU-T Recommendation E.804 [Text]: “QoS aspects for popular services in mobile networks”. Approved in 2014. – 446 p.
133. ITU-T Recommendation E.810 [Text]: “Quality of service network management and traffic engineering”. Approved in 1992. – 4 p.
134. МСЭ-Т G.820/I.351/Y.1501: “Взаимоотношения между рекомендациями по показателям качества сетей ЦСИС, сетей, основанных на протоколе IP, и физического уровня”. Утв. в 2004. – 32 с.
135. ITU-T Recommendation G.1011 [Text]: “Reference guide to quality of experience assessment methodologies”. Approved in 2013. – 24 p.
136. МСЭ-Т M.3060/Y.2401: “Принципы управления сетями последующих поколений”. Утв. в 2006. – 64 с.
137. МСЭ-Т P.862.3: “Методы для объективной и субъективной оценки качества. Руководство по применению объективных измерений качества, основанных на рекомендациях P.862, P.862.1 и P.862.2”. Утв. в 2005. – 34 с.
138. ITU-T P.10/G.100 [Text]: “Vocabulary for performance and quality of service” Approved in 2006. – 42 p.

139. Configuring MPLS and MPLS traffic engineering (Cisco IOS Release 12.2) [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/software/ios122/122cgcr/fswtch_c/swprt3/xcftagc.htm. – Загл.з экрану. (Дата звернення: 15.04.2016).
140. MPLS VPN QoS Design [Электронный ресурс]// Enterprise QoS Solution Reference Network Design Guide. – Режим доступа: http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/WAN_and_MAN/QoS_SRND/QoS-SRND-Book/VPNQoS.pdf – Загл. з экрану. (Дата звернення 20.09.2015).
141. Koucheryavy A. The QoS Estimation for Physiological Monitoring Service in the M2M network [Text] / A. Koucheryavy, Y. Al-Naggar // Proceedings Conference, State University of Telecommunication. – St. Petersburg, Russia, 2013. – P.133-139.
142. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH [Текст] / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург. – 2005. – 736 с.
143. Штовба С.Д. Идентификация нелинейных зависимостей с помощью нечеткого логического вывода в системе MATLAB [Текст] / С.Д. Штовба // Exponenta Pro. Математика в приложениях, №2, 2003. – с. 9-15
144. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Текст] / С.Д. Штовба. – Винница: Конти-нент-Прим. – 2003. – 198 с.
145. Штовба С.Д. Обеспечение точности и прозрачности нечеткой модели мамдани при обучении по экспериментальным данным [Текст] / С.Д. Штовба // Проблемы управления и информатики. – 2007, № 4. – С.102-114.
146. Борисов А.Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений [Текст] / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьева и др. – М: Радио и связь, 1989. – 304 с.
147. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта [Текст] // А.Н. Аверкин, И.З. Батыршин, А.Ф. Блишун, В.Б. Силов, В.Б. Тарасов; под ред. Д. А. Поспелова. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. – 1986. – 312 с.

148. Babuska R. Construction of fuzzy systems – interplay between precision and transparency [Text]/ R.Babuska // Proc. of Europ. Sympos. on Intell. Techn. – Aachen (Germany). – 2000. – P. 445–452.
149. Roubos H. Learning fuzzy classification rules from data [Text] / H. Roubos, M. Setnes, J. Abonyi. Eds.: R. John, R. Birkenhead // Developments in Soft Computing. – Berlin : Springer-Verlag. – 2001. – P.108–115.
150. Paiva R.P. Merging and constrained learning for interpretability in neuro-fuzzy systems [Text] / R.P. Paiva, A. Dourado // Proc. of Europ. Sympos. on Intell. Techn., Hybrid Systems and Their Implementation on Smart Adaptive Systems «EUNITE». – Tenerife (Spain). – 2001. – P. 17–21.
151. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети [Текст]/ А.П. Ротштейн. – Винница : УНІВЕРСУМ. –1999. – 320 с.
152. Rotshtein A. Design and tuning of fuzzy rule-based system for medical diagnosis. [Text] / A. Rotshtein, N.H. Teodorescu, A. Kandel, L.C. Jain.// Fuzzy and Neuro-Fuzzy Systems in Medicine. – USA, Boca-Raton : CRC-Press, 1998. – P. 243–289.
153. Miller G.A. The magic number seven plus or minus two: some limits on our capacity for processing information [Text] / G.A. Miller // Psychological Review. – 1956. – N 63. – P. 81-97.
154. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств [Текст]/ А.Кофман. – М.: Радио в связь, 1982. – 432 с.
155. Dubois D. A class of fuzzy measures based on triangular norms [Text] / D. Dubois, H. Prade // Int. G. General Systems. – 1982, v.8. – P. 43-61.
156. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский ; пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М. : Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с
157. MATLAB Fuzzy Logic Toolbox User's Guide. The MathWorks, Inc [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://cn.mathworks.com/help/pdf_doc/fuzzy/fuzzy.pdf – Загл. з экрана. (дата звернення 20.09.2015).

158. Дьяконов В.П. MATLAB. Полный самоучитель [Текст] / В. П. Дьяконов. – М: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.
159. MATLAB. Центр компетенций MathWorks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://matlab.ru/products/matlab> – Загл. з экрана. (Дата звернення 25.05.2015).
160. Лазарев В.Г. Распределенная система управления услугами [Текст] / В.Г. Лазарев, Е.И. Пийль // Электросвязь. – 1997. – №10. – С. 22-23.
161. Вишневский В.М. Теоритические основы проектирования компьютерных сетей / В.М. Вишневский. – Москва: Техносфера, 2003. – 512 с.
162. Вегешна Ш. Качество обслуживания в сетях IP [Текст] / Ш. Вегешна // Cisco Press.– 2003. – 368 с.
163. Рассомахін С.Г. Компоненти бібліотеки еталонних моделей сигналів в телекомунікаційних протоколах фізичного рівня [Текст] / С. Г. Рассомахін, С. Г. Веклич // Системи обробки інформації – 2016. – №7. – С. 148-151.

ДОДАТОК А

Анкета

опитування користувачів сервісу «онлайн-відтворення і скачування музики»

1. Вік респондента:

- а) 16-25 років;
- б) 25-40 років;
- в) 40-60 років;
- г) більше 60 років.

2. Форма занять:

- а) учень, студент;
- б) працюючий;
- в) непрацюючий;
- г) пенсіонер.

3. Місце проживання:

- а) велике місто (обласний центр);
- б) невелике місто (районний центр);
- в) невелике селище, село.

4. Рівень середнього доходу на одного члена сім'ї (у порівнянні із середнім прожитковим мінімумом 1147 грн.):

- а) менше;
- б) на рівні;
- в) більше;
- г) істотно більше.

5. Як давно ви користуєтеся цим сервісом?

- а) менше одного місяця;
- б) від 1 до 6 місяців;
- в) від 6 місяців до 1 року;
- г) від 1 до 3 років;
- д) більше 3-х років.

6. Як часто ви користуєтеся цим сервісом?

- а) рідше, ніж раз на місяць
- б) раз на місяць;
- в) раз на тиждень;
- г) раз на день ;
- д) декілька разів в день;

7. Наскільки важливі для вас такі аспекти якості сервісу:

	дуже важливо	важливо	не дуже важливо	неважливо
створення контенту				
забезпечення сервісу				
транспорт сервісу				
клієнтське обладнання				

8. Наскільки важливі для вас такі аспекти якості сервісу – «створення контенту»:

	дуже важливо	важливо	не дуже важливо	неважливо
актуальність контенту;				
технічну якість вихідного контенту;				
популярність контенту і виконавців;				
можливість перетворення вихідного контенту в інші формати з мінімальними спотвореннями;				
аспекти протидії піратству і дотримання прав інтелектуальної власності				

9. Наскільки важливі для вас такі аспекти якості сервісу – «забезпечення сервісу»:

	дуже важливо	важливо	не надто важливо	неважливо
простота навігації при пошуку музики;				
безпеку;				
коректність умов контрактів;				
цінова політика, види тарифікації;				
підтримка клієнтів.				

10. Наскільки важливі для вас такі аспекти якості сервісу – «клієнтське обладнання»:

	дуже важливо	важливо	не надто важливо	неважливо
простота вибору і відтворення;				
простота навігації та завантаження;				
ємність накопичувача;				
якість відтворення;				
ергономіка пристроїв.				

11. Що саме ви хотіли б змінити в процесі отримання сервісу?

- а) знизити ціну за абонентську плату;
- б) поліпшити якість надання сервісу;
- в) поліпшити якість обслуговування абонентів;
- г) інше (вказіть, що саме).

12. Оцініть якість сервісів

ДОДАТОК Б

Результати опитування користувачів

На малюнках Б.1 – Б.6 наведені діаграми результатів відповідей на питання: «Наскільки важливі для вас такі аспекти якості сервісу – Для компонента якості «Забезпечення сервісу»».

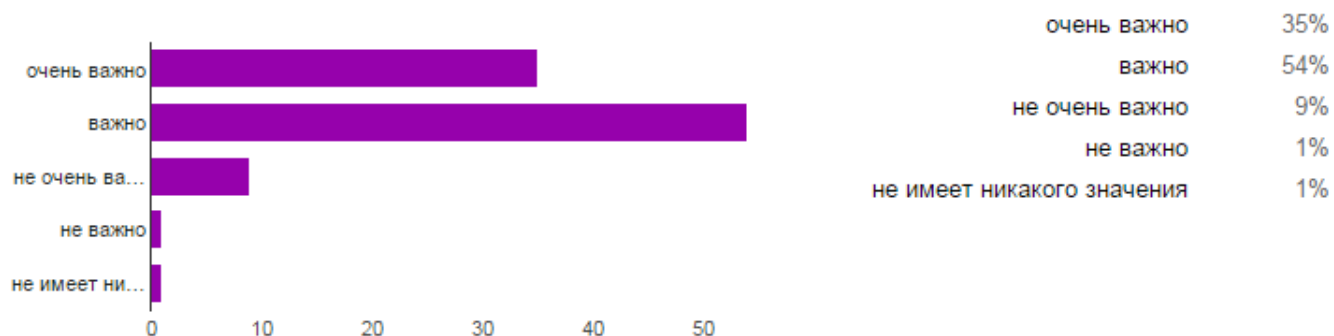


Рис. Б.1. Результати опитування користувачів щодо показника «простота навігації при пошуку музики» компонента якості «забезпечення сервісу»

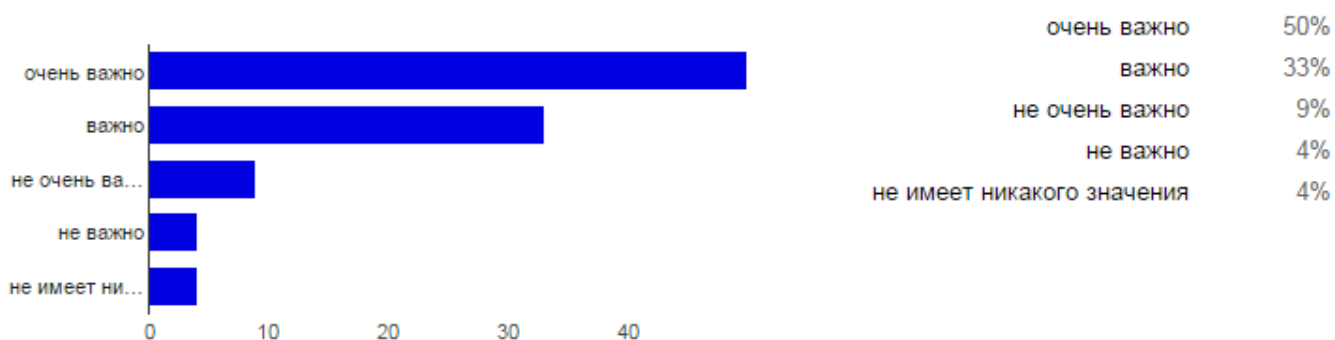


Рис. Б.2. Результати опитування користувачів щодо показника «безпека» компонента якості «забезпечення сервісу»

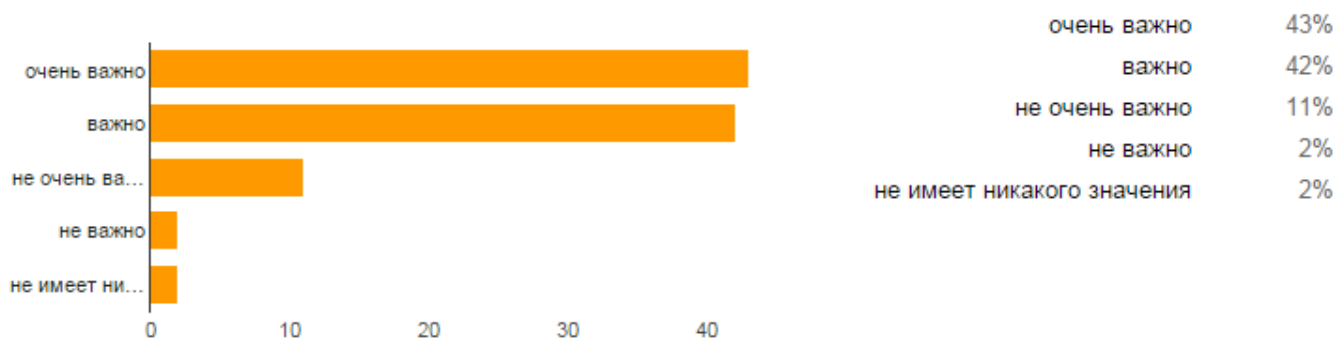


Рис. Б.3. Результати опитування пользов ательє щодо показника «коректність умов контрактів» компонента якості «забезпечення сервісу»

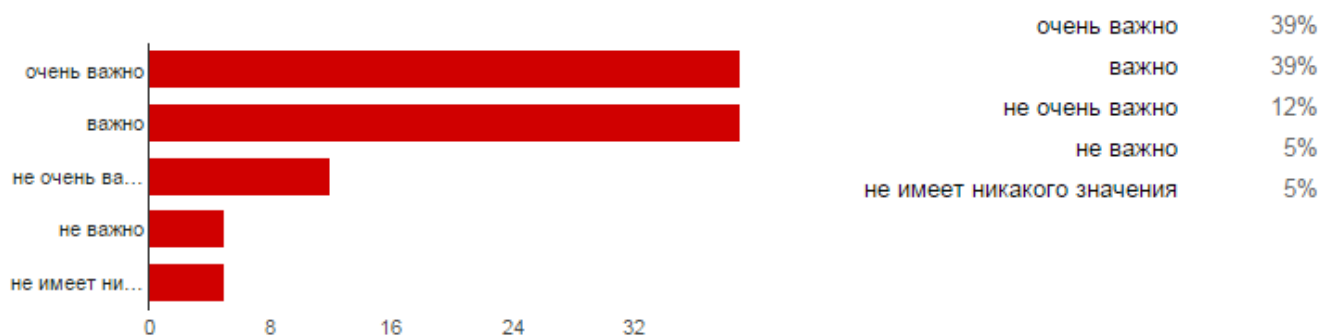


Рис. Б.4. Результати опитування користувачів щодо показника «цінова політика, види тарифікації» компонента якості «забезпечення сервісу»

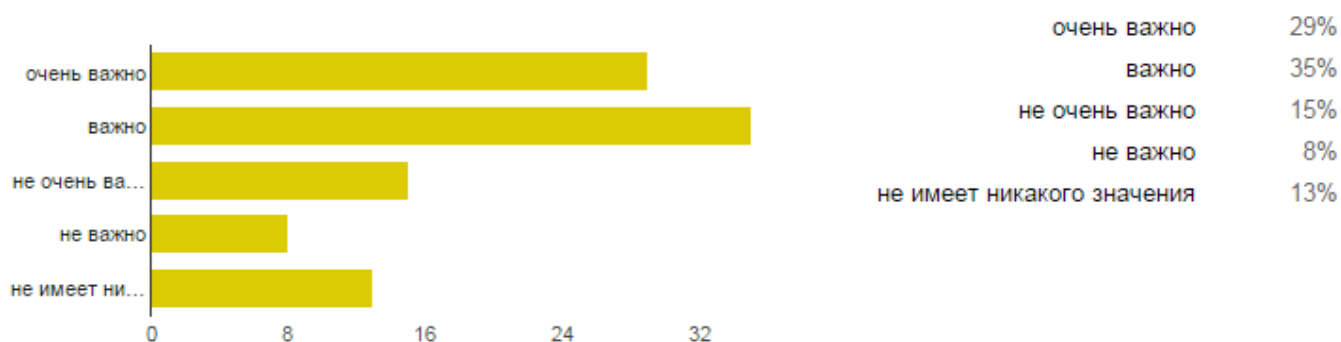


Рис. Б.5. Результати опитування користувачів щодо показника «підтримка клієнтів» компонента якості «забезпечення сервісу»

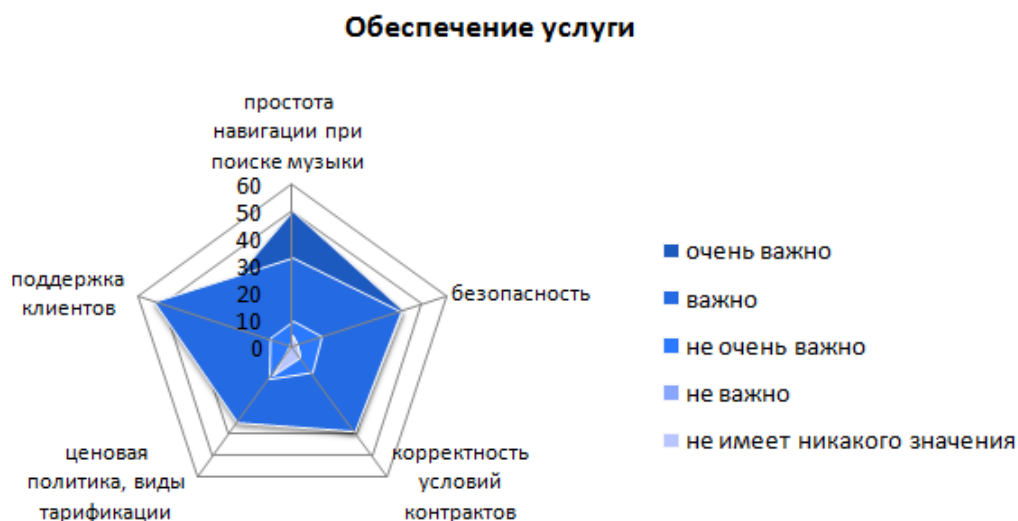


Рис. Б.6. Діаграма результатів відповідей на питання: «Наскільки важливі для вас такі аспекти якості сервісу – « Забезпечення сервісу »?»

На рисунках Б.7 – Б.12 наведені діаграми результатів відповідей на питання: «Наскільки важливі для вас такі аспекти якості сервісу – Для компонента якості «клієнтське обладнання»».

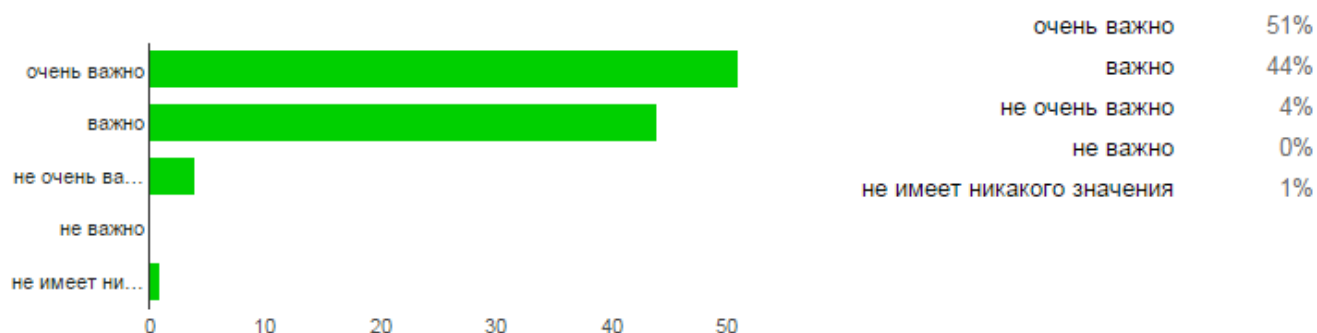


Рис. Б.7. Результати опитування користувачів щодо показника «простота вибору і відтворення» компонента якості «клієнтське обладнання»

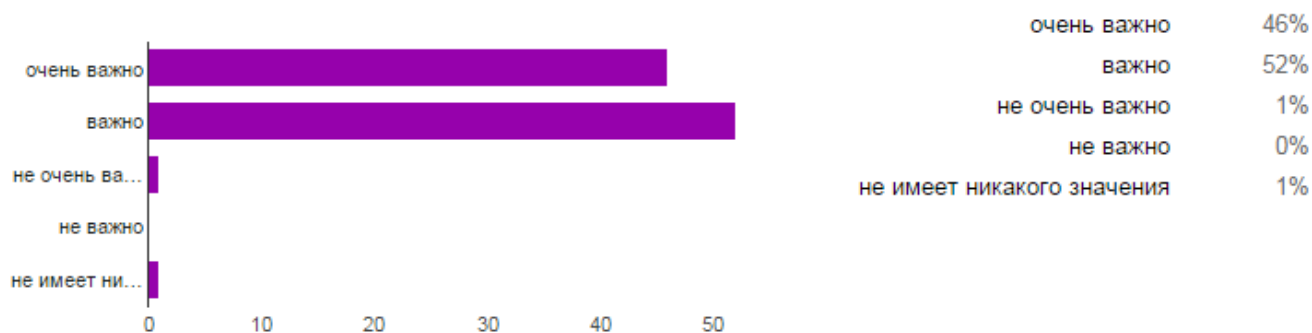


Рис. Б.8. Результати опитування користувачів щодо показника «простота навігації та завантаження» компонента якості «клієнтське обладнання»

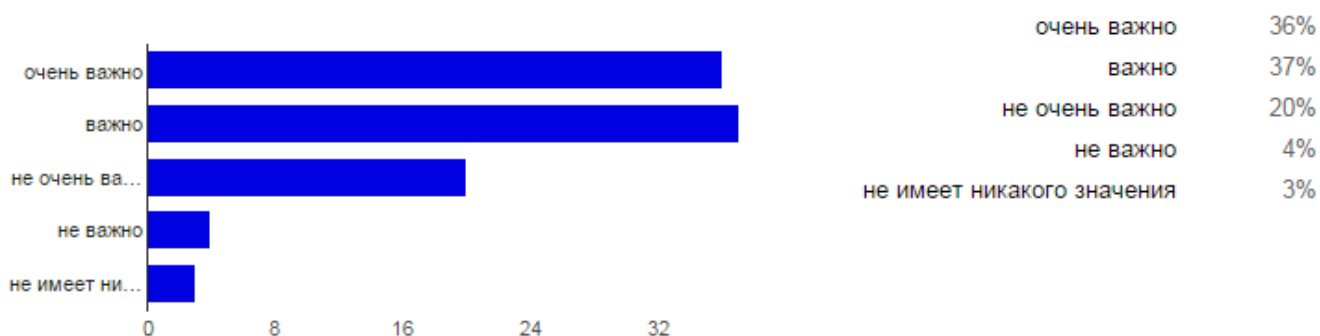


Рис. Б.9. Результати опитування користувачів щодо показника «сміність накопичувача» компонента якості «клієнтське обладнання»

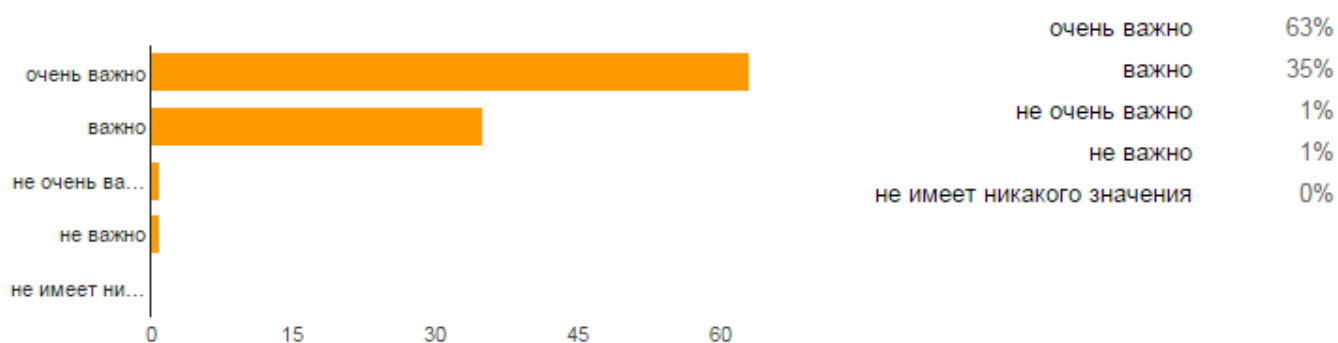


Рис. Б.10. Результаты опитування користувачів щодо показника «якість відтворення» компонента якості «клієнтське обладнання»

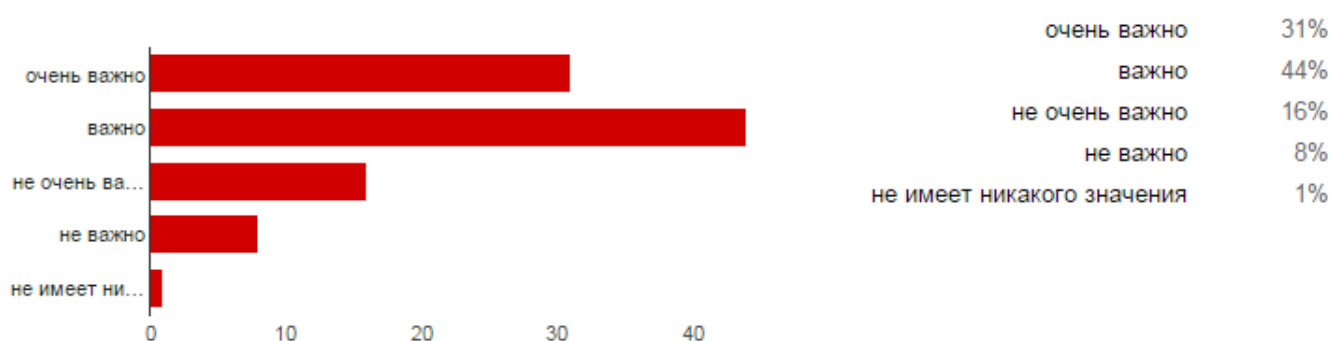


Рис. Б.11. Результаты опитування користувачів щодо показника «ергономіка пристроїв» компонента якості «клієнтське обладнання»

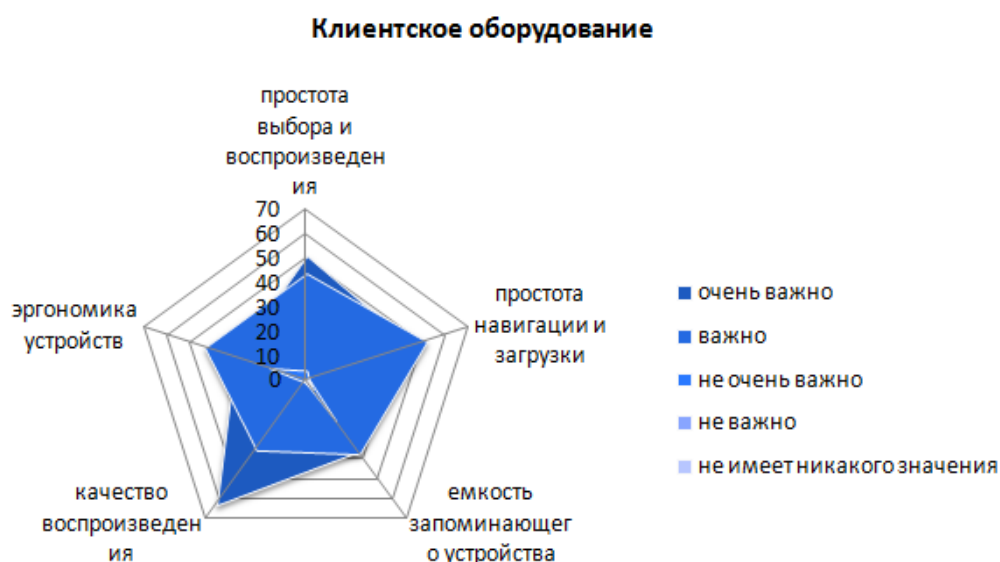


Рис. Б.12. Діаграма результатів відповідей на питання: «Наскільки важливі для вас такі аспекти якості сервісу -« клієнтське обладнання »?»

На рисунках Б.13 – Б.16 наведені діаграми результатів опитування користувачів щодо важливості компонентів якості сервісу. На рис. Б.17 наведені результати опитування користувачів щодо бажаних змін в процесі отримання сервісу.



Рис. Б.13. Результати відповідей на питання: «Наскільки важливі для вас такі аспекти якості сервісу -« створення контенту »?»

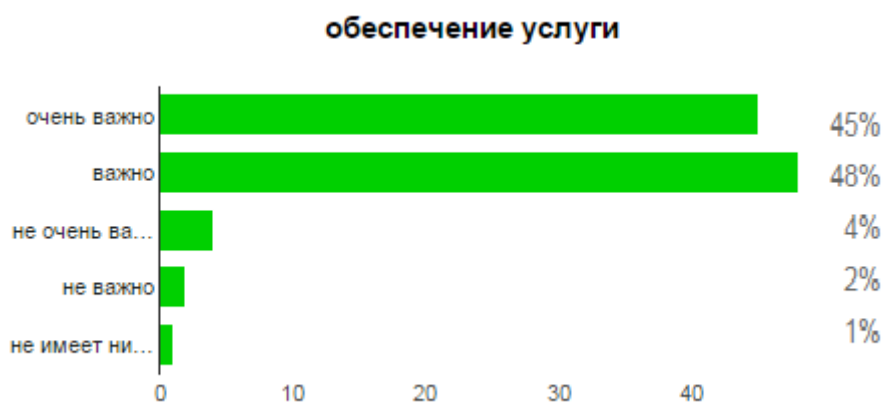


Рис. Б.14. Результати відповідей на питання: «Наскільки важливі для вас такі аспекти якості сервісу -« забезпечення сервісу »?»

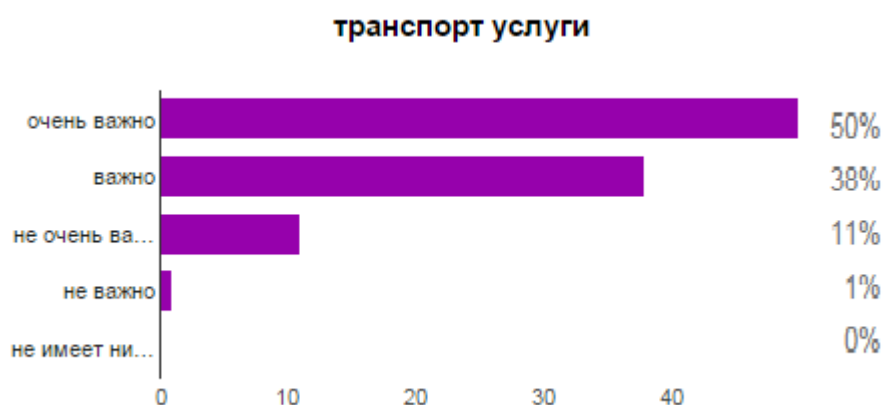


Рис. Б.15. Результаты ответов на питання: «Наскільки важливі для вас такі аспекти якості сервісу -« транспорт сервісу »?»

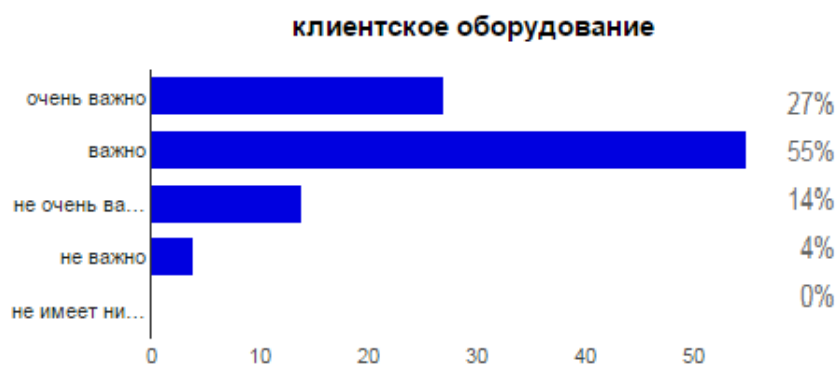


Рис. Б.16. Результаты ответов на питання: «Наскільки важливі для вас такі аспекти якості сервісу -« клієнтське обладнання »?»

Что именно вы хотели бы изменить в процессе получения услуги?



Рис. Б.17. Результаты ответов на питання: «Що саме ви хотіли б змінити в процесі отримання сервісу?»

ДОДАТОК В

Листок оцінки якості управління та надання інтелектуальних сервісів інтелектуальною надбудовою NGN з позиції різних учасників процесу

Фактор аналізу	Вага фактора	Інтелектуальна надбудова, що становить предмет аналізу				Максимально допустиме значення	Знайдене значення	Бал(Б)
		ІНЗПУ		ІНДПУ				
		Максимально допустиме значення	Знайдене значення	Бал(Б)	Максимально допустиме значення			
1	2	3	4	5	6	7	8	
І. Позиція користувача								
Час $\overline{T}_{\text{вд}}$ надання послуги	K_1	$T_{\text{вд, максЗПУ}}$	$\overline{T}_{\text{вд}}^{\text{ЗПУ}}$	$\frac{K_1 \cdot \overline{T}_{\text{вд}}^{\text{ЗПУ}}}{T_{\text{вд, максЗПУ}}}$	$T_{\text{вд, максДПУ}}$	$\overline{T}_{\text{вд}}^{\text{ДПУ}}$	$\frac{K_1 \cdot \overline{T}_{\text{вд}}^{\text{ДПУ}}}{T_{\text{вд, максДПУ}}}$	
Довжина \overline{L} черги заявок при сервері	K_2	$L_{\text{максЗПУ}}$	$\overline{L}^{\text{ЗПУ}}$	$\frac{K_2 \cdot \overline{L}^{\text{ЗПУ}}}{L_{\text{максЗПУ}}}$	$L_{\text{максДПУ}}$	$\overline{L}^{\text{ДПУ}}$	$\frac{K_2 \cdot \overline{L}^{\text{ДПУ}}}{L_{\text{максДПУ}}}$	
Імовірність \overline{P}_g відмови в наданні послуги	K_3	$P_{g, \text{максЗПУ}}$	$\overline{P}_g^{\text{ЗПУ}}$	$\frac{K_3 \cdot \overline{P}_g^{\text{ЗПУ}}}{P_{g, \text{максЗПУ}}}$	$P_{g, \text{максДПУ}}$	$\overline{P}_g^{\text{ДПУ}}$	$\frac{K_3 \cdot \overline{P}_g^{\text{ДПУ}}}{P_{g, \text{максДПУ}}}$	
УСЬОГО	$\sum K_i = 1$	—	—	$\sum_{i=1}^3 \frac{K_i \cdot \Pi_i}{\Pi_{\text{максЗПУ}}}$	—	—	$\sum_{i=1}^3 \frac{K_i \cdot \Pi_i}{\Pi_{\text{максДПУ}}}$	
ІІ. Позиція постачальника послуг								
Складність \overline{St} управління логіки обслуговування та адміністрування	K_1	$St_{\text{максЗПУ}}$	$\overline{St}^{\text{ЗПУ}}$	$\frac{K_1 \cdot \overline{St}^{\text{ЗПУ}}}{St_{\text{максЗПУ}}}$	$St_{\text{максДПУ}}$	$\overline{St}^{\text{ДПУ}}$	$\frac{K_1 \cdot \overline{St}^{\text{ДПУ}}}{St_{\text{максДПУ}}}$	
Кількість \overline{S} вдало наданих інтелектуальних послуг	K_2	$S_{\text{максЗПУ}}$	$\overline{S}^{\text{ЗПУ}}$	$\frac{K_2 \cdot \overline{S}^{\text{ЗПУ}}}{S_{\text{максЗПУ}}}$	$S_{\text{максДПУ}}$	$\overline{S}^{\text{ДПУ}}$	$\frac{K_2 \cdot \overline{S}^{\text{ДПУ}}}{S_{\text{максДПУ}}}$	
УСЬОГО	$\sum K_i = 1$	—	—	$\sum_{i=1}^2 \frac{K_i \cdot \Pi_i}{\Pi_{\text{максЗПУ}}}$	—	—	$\sum_{i=1}^2 \frac{K_i \cdot \Pi_i}{\Pi_{\text{максДПУ}}}$	
ІІІ. Позиція постачальника обладнання								
Структурна живучість \overline{G}	K_1	$G_{\text{максЗПУ}}$	$\overline{G}^{\text{ЗПУ}}$	$\frac{K_1 \cdot \overline{G}^{\text{ЗПУ}}}{G_{\text{максЗПУ}}}$	$G_{\text{максДПУ}}$	$\overline{G}^{\text{ДПУ}}$	$\frac{K_1 \cdot \overline{G}^{\text{ДПУ}}}{G_{\text{максДПУ}}}$	
Вергість \overline{C} інтелектуальної надбудови	K_2	$C_{\text{максЗПУ}}$	$\overline{C}^{\text{ЗПУ}}$	$\frac{K_2 \cdot \overline{C}^{\text{ЗПУ}}}{C_{\text{максЗПУ}}}$	$C_{\text{максДПУ}}$	$\overline{C}^{\text{ДПУ}}$	$\frac{K_2 \cdot \overline{C}^{\text{ДПУ}}}{C_{\text{максДПУ}}}$	
УСЬОГО	$\sum K_i = 1$	—	—	$\sum_{i=1}^2 \frac{K_i \cdot \Pi_i}{\Pi_{\text{максЗПУ}}}$	—	—	$\sum_{i=1}^2 \frac{K_i \cdot \Pi_i}{\Pi_{\text{максДПУ}}}$	

Листок оцінювання якості управління та надання інтелектуальних послуг інтелектуальною надбудовою NGN з позиції різних учасників процесу

ДОДАТОК Г

Порівняння результатів моделювання з використанням нечіткої та
нейронечіткої систем

Таблиця Г.1

Результати моделювання з використанням нечіткої та нейронечіткої систем

Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Z	Z_{nf}	Z_f
3	3	5	5	4	4.0000	3.3430
3	3	4	3	3	4.0000	3.3403
3	3	5	3	4	4.0000	3.3453
4	5	5	5	5	4.0000	4.2998
3	4	4	4	4	4.0000	3.2974
3	4	4	3	4	4.0000	3.3403
4	3	5	5	4	4.0000	3.3430
3	5	3	4	4	4.0000	3.2974
4	4	4	4	4	4.0000	4.2075
5	5	5	4	5	5.0000	4.2075
3	4	4	5	4	4.0000	3.3403
5	4	4	5	5	5.0001	4.2939
3	5	5	4	4	4.0000	3.2974
4	5	5	3	4	4.0000	3.8484
3	4	4	5	4	4.0000	3.3403
3	5	3	3	3	3.9996	2.6639
3	5	3	5	4	4.0000	3.3430
3	4	4	4	4	4.0000	3.2974
3	4	4	5	4	4.0000	3.3403
3	4	5	3	4	4.0000	3.3403
3	5	5	3	4	4.0000	3.3611
3	5	4	5	4	4.0000	3.3403
4	4	4	3	4	4.0000	3.8829
5	5	3	5	4	4.0000	3.8675
5	5	5	5	5	4.9999	4.2998
3	4	4	4	4	4.0000	3.2974
4	4	3	4	4	3.9662	3.2974
4	3	5	5	4	4.0000	3.3430
4	3	4	4	4	4.0000	3.2974
3	3	3	4	3	3.8737	2.6734
3	3	5	3	4	4.0000	3.3453
4	4	3	3	4	3.7326	3.3403
3	3	3	3	3	3.0000	2.6562
3	5	3	5	4	4.0000	3.3430
5	4	3	3	4	2.9316	3.8729
4	3	3	3	3	3.0000	2.6639
5	3	4	4	4	5.0000	4.2075
5	3	3	5	4	4.0000	3.8675
3	4	3	3	3	3.7326	2.6723

Продовження таблиці Г.1

Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Z	Z_{inf}	Z_f
5	3	3	5	4	4.0000	3.8675
5	3	5	3	4	4.9974	3.8727
4	5	4	4	4	4.0000	4.2075
4	4	5	3	4	4.0000	3.8829
3	5	4	5	4	4.0000	3.3403
5	4	5	5	5	5.0001	4.2939
3	4	3	3	3	3.7326	2.6723
4	3	5	5	4	4.0000	3.3430
5	3	5	4	5	5.0000	4.2075
5	3	3	5	4	4.0000	3.8675
4	4	4	4	4	4.0000	4.2075
3	3	3	5	3	4.0000	2.6599
4	5	4	4	4	4.0000	4.2075
5	5	3	4	4	0.5051	3.8833
5	5	4	4	5	5.0000	4.2075
4	4	4	3	4	4.0000	3.8829
3	3	4	5	4	4.0000	3.3403
5	3	4	4	4	5.0000	4.2075
4	4	3	3	4	3.7326	3.3403
5	5	4	4	5	5.0000	4.2075
3	4	4	5	4	4.0000	3.3403
4	4	3	4	4	3.9662	3.2974
5	4	4	3	4	4.9995	4.2939
3	5	4	5	4	4.0000	3.3403
4	3	4	4	4	4.0000	3.2974
3	5	5	4	4	4.0000	3.2974
3	4	5	3	4	4.0000	3.3403
4	4	5	3	4	4.0000	3.8829
4	5	3	4	4	4.0000	3.2974
3	4	3	4	3	3.9662	3.2974
4	3	4	5	4	4.0000	3.3403
3	4	5	3	4	4.0000	3.3403
3	4	5	5	4	4.0000	3.3403
3	3	4	5	4	4.0000	3.3403
3	5	4	3	4	4.0000	3.3403
5	5	3	5	4	4.0000	3.8675
5	5	5	3	5	5.0002	4.3376
5	3	4	4	4	5.0000	4.2075
5	3	3	4	4	3.4949	3.8833
3	3	4	3	3	4.0000	3.3403
4	4	3	3	4	3.7326	3.3403
3	3	5	5	4	4.0000	3.3430
3	4	4	5	4	4.0000	3.3403
3	5	5	4	4	4.0000	3.2974
5	4	3	3	4	2.9316	3.8729
4	4	5	4	4	4.0000	4.2075
4	3	4	3	4	4.0000	3.3403

Продовження таблиці Г.1

Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Z	Z_{nf}	Z_f
3	5	4	4	4	4.0000	3.2974
4	3	5	3	4	4.0000	3.3453
5	4	3	5	4	4.0000	3.8729
5	5	5	5	5	4.9999	4.2998
4	3	3	5	4	4.0000	3.3430
5	5	3	3	4	4.0000	3.8628
4	5	3	3	4	3.9996	3.3453
3	3	5	5	4	4.0000	3.3430
4	3	3	5	4	4.0000	3.3430
4	5	4	5	4	4.0000	4.2939
3	5	4	4	4	4.0000	3.2974
3	4	4	4	4	4.0000	3.2974
3	5	5	4	4	4.0000	3.2974

ДОДАТОК Д

Функції реалізації зв'язків між рівнями ієрархічної нечіткої системи

treemf

призначення	Функція приналежності для проміжних вхідних змінних в ієрархічних системах нечіткого виведення.
синтаксис	$\mu = \text{treemf}(x, \text{params})$
опис	Повертає ступінь приналежності, що дорівнює першій координаті вхідного аргументу params .

prepare_tree

призначення Перетворює дерево нечіткого виведення для функції **hier_evalfis**.

синтаксис **FIS_list, input_list] = prepare_tree (fis_file_names, tree_list)**
опис Перетворює дерево нечіткого виведення до формату, необхідному функцією **hier_evalfis**. Функцію слід 1 раз запустити для кожної ієрархічної бази знань до виклику функції **hier_evalfis**. Функція встановлює для всіх термів нетермінальних вхідних змінних тип функції приналежності 'treemf'. Функція **prepare_tree** викликається з двома вхідними аргументами:

1) **fis_file_names** {список fis-файлів}, складових ієрархічну нечітку базу знань. Спочатку нечіткий висновок здійснюється по першій нечіткій системі, потім – по другій і т.д. ; 2) **tree_list** – матриця зв'язків між базами знань. Розмір матриці (N-1) x2, де N – кількість баз знань. Перший рядок матриці вказує куди входить вихідна змінна першої бази знань, другий рядок вказує точку входу вихідної змінної другий бази знань і т.д. Формат: перший елемент рядка – порядковий номер "приймаючої" бази знань з **fis_file_names**; другий елемент рядка – порядковий номер вхідної змінної в "приймаючої" базі знань. У базах знань номери термінальних вхідних змінних повинні слідувати до нетермінальних (тобто що виходять з інших баз знань).

Функція повертає два аргументи:

1) **FIS_list** – масив нечітких систем. Останній елемент масиву – нечітка система верхнього рівня ієрархії. Перша система не містить нетермінальних вхідних змінних; 2) **input_list** –

матриця розміром $N \times 3$. Показує розподіл термінальних вхідних змінних за нечіткими системам. Кожен рядок описує одну нечітку систему. Перший стовпець – загальна кількість входів системи; другий стовпець – кількість термінальних входів; третій стовпець – порядковий номер першої термінальної змінної.

hier_evalfis

призначення	Нечіткий висновок по ієрархічній базі знань.
синтаксис	$[A, b, c, d] = \text{hier_evalfis}(x, \text{FIS_list}, \text{input_list}, \text{tree_list}, \text{system_type})$
опис	<p>Здійснює нечіткий висновок по ієрархічній базі знань. Перед викликом функції hier_evalfis слід 1 раз запустити для кожної ієрархічної бази знань функцію prepare_tree. Функція hier_evalfis має 5 вхідних аргументів:</p> <p>1) x – вектор значень входів (термінальних змінних); 2) FIS_list – масив нечітких систем. Останній елемент масиву – нечітка система верхнього рівня ієрархії. Перша система не містить нетермінальних змінних. Готується функцією prepare_tree; 3) input_list – матриця розміром $N \times 3$. Показує розподіл термінальних вхідних змінних за нечіткими системам. Кожен рядок описує одну нечітку систему. Перший стовпець – кількість входів; другий стовпець – кількість термінальних входів; третій стовпець – порядковий номер першої термінальної змінної, представленої вектором x. Готується функцією prepare_tree; 4) tree_list – матриця зв'язків між базами знань. Розмір матриці $(N-1) \times 2$, де N – кількість баз знань. Перший рядок матриці вказує куди входить вихідна змінна першої бази знань, другий рядок вказує точку входу вихідної змінної другої бази знань і т.д. Формат: перший елемент рядка – номер "приймаючої" бази знань; другий елемент рядка – порядковий номер вхідної змінної в "приймаючої" базі знань. У базах знань порядкові номери термінальних вхідних змінних повинні бути менше номерів нетермінальних (що виходять з інших баз знань); 5) system_type- тип нечіткої системи верхнього рівня ієрархії: 1 – безперервний вихід, 2 – дискретний вихід. Системи з безперервним виходом повинні бути системами Сугено нульового порядку або системами Мамдані.</p>

При **system_type == 1** функція **hier_evalfis** може повертати до чотирьох аргументів: **a** – результат нечіткого виведення по

ієрархічній базі знань; **b**, **c** і **d** – проміжні результати висновку Мамдані по базі знань верхнього рівня ієрархії. Всі аргументи аналогічні вихідним змінним функції **evalfis**.

При **system_type == 2** функція **hier_evalfis** може повертати до трьох аргументом: **a** – результат нечіткого виведення по ієрархічній базі знань у вигляді номера класу; **b** – результат нечіткого виведення по ієрархічній базі знань у вигляді найменування класу; **c** – вектор ступенів належності кожного класу.

ДОДАТОК Е

Акти впровадження

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Державного підприємства
«Український науково-дослідний
інститут радіо і телебачення»,
Голова НТР ДП «УНДІРТ»
канд. техн. наук, доцент



М. К. Михайлов
2015 р.

Акт

впровадження результатів дисертаційної роботи

Кальченко Анастасії Сергіївни

за темою «Удосконалення методів управління якістю сервісів в телекомунікаційних мережах», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю: 05.12.02 - телекомунікаційні системи та мережі

Фахівцями Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут радіо і телебачення» Бедрієм Д. І., заступником директора з наукової роботи ДП «УНДІРТ», канд. техн. наук, Гуцалюком А. К., ученим секретарем НТР ДП «УНДІРТ», канд. техн. наук, доцентом, Кожухарем І. Ф., старшим науковим співробітником відділу систем радіозв'язку, канд. техн. наук, доцентом, Маковеєнко Д. О., начальником відділу радіочастот ДП «УНДІРТ», канд. техн. наук, розглянуто результати дисертаційної роботи Кальченко А. С. за темою «Удосконалення методів управління якістю сервісів в телекомунікаційних мережах», яка подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, встановила наступне.

Матеріали дисертаційної роботи свідчать про те, що основними науковими здобутками дисертаційної роботи можна вважати таке:

1. Запропоновано метод визначення ступеню задоволеності користувача якістю послуг шляхом використання ієрархічної нейронічної мережі, що забезпечує отримання усторонньої оцінки якості послуг користувачем та дозволяє визначити найбільш важливі для користувача показники якості послуг.

2. Запропоновано метод корекції показників якості послуг, що забезпечує визначення найбільш значущих показників якості, поліпшення яких дозволить досягнути максимального ефекту в рамках допустимих витрат за рахунок введення вагових коефіцієнтів для показників якості послуг та відносної величини, яка характеризує співвідношення ефекту щодо покращення якості послуг до необхідних для цього витрат.

3. Запропоновано метод управління якістю послуг з урахуванням думки користувача, що забезпечує підтримку показників якості послуг мережі зв'язку на необхідному рівні, за якого користувач задоволений якістю отриманих послуг.

Перелічені наукові здобутки мають усі підстави для широкого впровадження при виконанні науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт у сфері телекомунікацій.

Зокрема, у науково-технічній діяльності ДП "УНДІРТ" були використані такі наукові положення аспіранта:


1) ряд положень дисертаційної роботи використані при проведенні НДР «Проведення досліджень, спрямованих на забезпечення застосування Технічного регламенту щодо радіообладнання і телекомунікаційного кінцевого (термінального) обладнання» (№ДР 0113U005476);

2) при проведенні випробувань враховані рекомендації стосовно оцінки ступеню задоволеності користувача послугами телекомунікаційних мереж.

Заступник директора з наукової роботи
ДП "УНДІРТ", канд. техн. наук

 Д. І. Бедрій

Старший науковий співробітник
відділу систем радіозв'язку ДП "УНДІРТ",
канд. техн. наук

 І. Ф. Кожухар

Начальник відділу радіочастот ДП "УНДІРТ",
канд. техн. наук

 Д. О. Маковецько

Акт обговорено та затверджено на засіданні НТР ДП "УНДІРТ",
протокол №7 від 21.09.2015

Учений секретар НТР ДП "УНДІРТ",
канд. техн. наук, доцент

 А. К. Гуцалюк

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Науково-навчального
інституту холоду, кріотехнологій
та екоенергетики

Одеської національної академії
харчових технологій, професор

Косой Б.В.

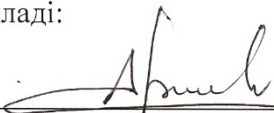
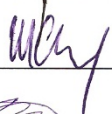

2015р.



АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи Кальченко Анастасії Сергіївни на тему: «Удосконалення методів управління якістю сервісів в телекомунікаційних мережах», представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – «Телекомунікаційні системи та мережі», в науково-дослідній діяльності Науково-навчального інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики Одеської національної академії харчових технологій, пов'язаної з держбюджетним планом.

Комісія в складі:

_____  професор Артеменко С.В.
_____  доцент Шестопапов С.В.
_____  ст. викладач к.т.н. Ненов О.Л.

розглянула наступні матеріали:

1 Дисертаційну роботу здобувача Кальченко А.С. «Удосконалення методів управління якістю сервісів в телекомунікаційних мережах».

2 Статті здобувача Кальченко А.С., приведені в списку використаних джерел до дисертаційної роботи.

Комісія установила, що окремі положення наукових розробок, сформульованих і обґрунтованих у дисертаційній роботі здобувача Кальченко А.С., використані при розробці системних рішень щодо управління якістю послуг в мережах зв'язку в науково-дослідних роботах на теми МК15-05, 2015 р. «Принципи створення інтелектуальної надбудови в мережах наступного покоління» (ОНАХТ, ДР № 0115 U 000286) та теми МК 15-07, 2015 р. «Підвищення ефективності функціонування телекомунікаційних мереж» (ОНАХТ, ДР № 0115 U 004197).

Зокрема використано:

1. Метод визначення ступеню задоволеності користувача якістю послуг шляхом використання ієрархічної нейронечіткої мережі, що забезпечує отримання усесторонньої оцінки якості послуг користувачем, враховує та дозволяє визначити найбільш важливі для користувача критерії якості послуг. Запропонований метод може використовуватись для екстраполяції та прогнозування ступеня задоволеності користувачів якістю послуг в умовах обмеженого статистичного матеріалу.

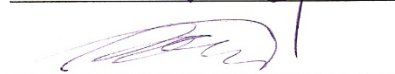
2. Метод корекції показників якості послуг, що забезпечує визначення саме тих показників якості, поліпшення яких дозволить досягнути максимального ефекту в рамках допустимих витрат.

3. Метод управління якістю послуг, який враховує думку користувача, що забезпечує такий рівень якості, за якого користувач задоволений якістю отриманих послуг.

Комісія в складі:

 професор Артеменко С.В.

 доцент Шестопапов С.В.

 ст. викладач к.т.н. Ненов О.Л.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Науково-навчального
інституту холоду, кріотехнологій
та екоенергетики

Одеської національної академії
харчових технологій, професор
Косой Б.В.




_____ 2015р.



АКТ

з використання результатів дисертаційної роботи Кальченко Анастасії Сергіївни на тему: «Удосконалення методів управління якістю сервісів в телекомунікаційних мережах», представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – «Телекомунікаційні системи та мережі», у навчальному процесі Науково-навчального інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики Одеської національної академії харчових технологій.

Комісія в складі:

	_____	професор Артеменко С.В.
	_____	доцент Шестопапов С.В.
	_____	ст. викладач к.т.н. Ненов О.Л.

у період з 20 по 26 вересня 2015р. провела роботу з встановлення фактичного використання в навчальному процесі Одеської національної академії харчових технологій положень наукових розробок дисертаційної роботи Кальченко Анастасії Сергіївни.

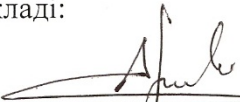
Комісія розглянула наступні матеріали:

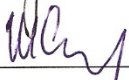
1. Дисертаційну роботу здобувача Кальченко А.С. «Удосконалення методів управління якістю сервісів в телекомунікаційних мережах».
2. Статті здобувача Кальченко А.С., приведені в списку використаних джерел до дисертаційної роботи.


На підставі аналізу представлених матеріалів комісія установила:

Результати дисертаційної роботи та опублікованих наукових праць здобувача Кальченко А.С. використовуються в навчальному процесі Науково-навчального інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики Одеської національної академії харчових технологій при дипломному і курсовому проектуванні, при викладанні розділів курсів лекцій, а також при проведенні лабораторних занять, що пов'язані з управлінням якістю послуг в мережах зв'язку, з дисциплін: «Дослідження і проектування інтелектуальних систем» та «Інтелектуальний аналіз даних».

Комісія в складі:


_____ професор Артеменко С.В.


_____ доцент Шестопапов С.В.


_____ ст. викладач к.т.н. Ненов О.Л.