

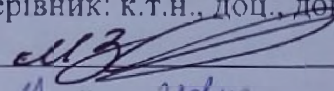
Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

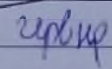
МЕТОДИ ПОБУДОВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ІНТЕРНЕТУ
МЕДИЧНИХ РЕЧЕЙ

Виконав: здобувач 2-го курсу, групи ПЗТ-23мс
спеціальності 172 – Електронні комунікації та
радіотехніка

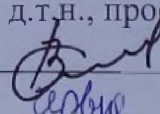
 Венгер І. С.

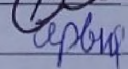
Керівник: к.т.н., доц., доцент каф. ІКСТ

 Васильківський М.В.

« 11 »  2025 р.

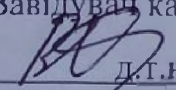
Рецензент: д.т.н., проф., професор каф. ІРТС

 Воловик А. Ю.

« 11 »  2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІКСТ

 д.т.н., проф. Кичак В.М.

« 11 » 06 2025 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інфокомунікаційних систем та технологій
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)
Спеціальність 172 – Електронні комунікації та радіотехніка
(шифр і назва)
Освітня програма – Програмне забезпечення телекомунікаційних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІКСТ
д.т.н., професор В.М. Кичак
« 5 » 05 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ
Венгеру Іллі Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Методи побудови телекомунікаційних мереж інтернету медичних речей

керівник роботи Васильківський Микола Володимирович, канд. техн. наук, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від "20" березня 2025 року № 97

2. Строк подання здобувачем роботи: 09 червня 2025 року

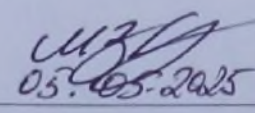
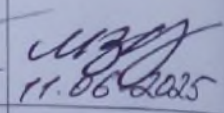
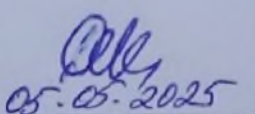
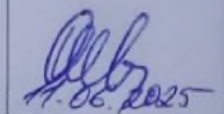
3. Вихідні дані до роботи: цільовий рівень затримки для критичних сервісів тактильної телемедицини та хірургії на відстані - ≤ 1 мс; рівень затримки для консультацій у режимі реального часу - ≤ 10 мс; рівень затримки для освітніх та діагностичних сесій з відеозв'язком - ≤ 50 мс; пропускна здатність каналів для базових консультацій, передачі даних пацієнта (ECG, датчики) - 1–10 Мбіт/с; пропускна здатність каналів для колаборативної хірургії з AR/VR елементами - ≥ 1 Гбіт/с; зниження затримки після впровадження запропонованих рішень до 40% у порівнянні з класичними архітектурами; відхилення середньої затримки зменшено з 38 мс до 22 мс в моделюванні.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки роботи (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, інтеграція телемедицини в архітектуру мереж зв'язку з мінімальними затримками передавання даних, концептуальна модель телемедичної системи з урахуванням показників якості обслуговування, метод визначення розміру цифрового кластера на основі щільності населення, охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): ієрархічна структура об'єктів телемедичної мережі; топологія сегменту WAN за умови розміщення обладнання провайдера на стороні телемедичної мережі;

архітектура WAN-сегменту при розміщенні обладнання провайдера на сто
 провайдера; централізована схема побудови телемедичної мережі; децентралізо
 схема побудови телемедичної мережі; метод нечіткої кластеризації типу C-me
 кластеризація на основі модифікованого алгоритму.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прий
Спеціальна частина	Васильківський М.В., доцент кафедри ІКСТ	 05.05.2025	 11.06.2025
Охорона праці	Дембіцька С.В., професор кафедри БЖДПБ	 05.05.2025	 11.06.2025

7. Дата видачі завдання «05» травня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примі
1	Формування та затвердження теми та індивідуального завдання бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР)	06.05.2025р.	
2	Виконання спеціальної частини БКР. Перший рубіжний контроль виконання БКР	19.05.2025р.	
3	Виконання спеціальної частини БКР. Другий рубіжний контроль виконання БКР	02.06.2025р.	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	06.06.2025р.	
5	Нормоконтроль БКР	09.06.2025р.	
6	Попередній захист БКР	10.06.2025р.	
7	Рецензування БКР	11.06.2025р.	
8	Захист БКР	13.06.2025р.	

Здобувач


(підпис)

Венгер І.С.

Керівник роботи


(підпис)

Васильківський М.В.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.396

Венгер І. С. Методи побудови телекомунікаційних мереж інтернету медичних речей. Бакалаврська кваліфікаційна робота зі спеціальності 172 – електронні комунікації та радіотехніка, освітня програма – програмне забезпечення телекомунікаційних систем. Вінниця: ВНТУ, 2025. 84 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 41 назв; рис.: 17; табл. 12.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі досліджено питання інтеграції телемедичних сервісів у мережі зв'язку п'ятого (5G) та наступних поколінь з урахуванням вимог до якості обслуговування (QoS), мінімізації затримок та підвищення доступності медичних послуг. Метою роботи є розробка методів формування цифрових кластерів як інструменту зменшення цифрового розриву між регіонами країни.

У процесі виконання роботи: проаналізовано сучасний стан розвитку телемедицини та технологій зв'язку нового покоління; досліджено принципи побудови мереж з ультранизькими затримками (uRLLC) у контексті телемедичних сервісів; здійснено прогнозування частки користувачів телемедичних і телеприсутніх послуг у майбутніх комунікаційних мережах; сформовано набір базових телемедичних сервісів, адаптованих для роботи у 5G-мережах; розроблено архітектурні моделі телемедичних мереж із урахуванням сценаріїв централізованого та децентралізованого розгортання; запропоновано алгоритм вибору параметрів мережі залежно від географічних, демографічних та сервісних характеристик; побудовано модель оцінки затримок на основі довільного розподілу часу обслуговування та інтенсивності трафіку; обґрунтовано доцільність кластеризації територій для надання телемедичних послуг з урахуванням просторового розміщення населення; запропоновано

модифікацію алгоритму C-means шляхом поєднання з DBSCAN для формування стійких до шумів цифрових кластерів.

Отримані результати можуть бути використані для проєктування інфраструктури телемедичних систем на етапі планування їх впровадження. Подальші дослідження можуть включати розширення набору сервісів, оптимізацію параметрів кластеризації, а також адаптацію моделей до особливостей тактильної та гібридної телемедицини.

Ключові слова : телемедицина, мережі п'ятого покоління (5G), ультранизька затримка (uRLLC), цифрові кластери, якість обслуговування (QoS), кластеризація, телеприсутність, архітектура мережі, алгоритми планування, DBSCAN, C-means.

ABSTRACT

UDC 621.396

Venger I. S. Methods of Building Telecommunication Networks for the Internet of Medical Things. Bachelor's Qualification Thesis in specialty 172 – Electronic Communications and Radiotechnics, educational program – Software for Telecommunication Systems. Vinnytsia: VNTU, 2025. 84 p.

In Ukrainian. Bibliography: 41 sources; illustrations: 17; tables: 12.

This bachelor's qualification thesis explores the integration of telemedicine services into fifth-generation (5G) and beyond communication networks, considering quality of service (QoS) requirements, latency minimization, and the enhancement of healthcare service accessibility. The main objective is to develop methods for forming digital clusters as a tool to reduce the digital divide between regions of the country.

The study includes: an analysis of the current state of telemedicine and next-generation communication technologies; an investigation of the principles for constructing ultra-low latency (uRLLC) networks in the context of telemedical services; forecasting the share of users of telemedicine and telepresence services in future communication networks; formation of a basic set of telemedicine services adapted for 5G networks; development of architectural models for telemedicine networks considering centralized and decentralized deployment scenarios; a proposed algorithm for selecting network parameters based on geographical, demographic, and service-related characteristics; a delay evaluation model based on arbitrary service time distributions and traffic intensity; justification of the need for territorial clustering in telemedicine services, taking into account the spatial distribution of the population; and a proposed modification of the C-means clustering algorithm combined with DBSCAN to form noise-resistant digital clusters.

The results obtained can be used in designing the infrastructure of telemedicine systems during the planning stage of their deployment. Future research may involve

expanding the set of services, optimizing clustering parameters, and adapting the models to the specifics of tactile and hybrid telemedicine.

Keywords: telemedicine, fifth-generation networks (5G), ultra-low latency (uRLLC), digital clusters, quality of service (QoS), clustering, telepresence, network architecture, planning algorithms, DBSCAN, C-means.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	10
1 ІНТЕГРАЦІЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНИ В АРХІТЕКТУРУ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ З МІНІМАЛЬНИМИ ЗАТРИМКАМИ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ.....	14
1.1 Інфокомунікаційні мережі з мінімальними затримками передачі даних	14
1.2 Напрями розвитку мереж зв'язку покоління 2030 для надання медичних послуг.....	16
1.3 Конфігураційні варіанти побудови телемедичної мережі	18
1.4 Висновки до розділу 1	24
2 КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ТЕЛЕМЕДИЧНОЇ СИСТЕМИ З УРАХУВАННЯМ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ.....	25
2.1 Підхід до оптимального вибору мережевих характеристик	25
2.2 Опис математичної моделі мережі	34
2.3 Висновки до розділу 2	40
3 МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРУ ЦИФРОВОГО КЛАСТЕРА НА ОСНОВІ ЩІЛЬНОСТІ НАСЕЛЕННЯ	41
3.1 Вибір параметрів кластеризації з урахуванням щільності населення на відповідній території.....	41
3.2 Планування території проєктованих цифрових кластерів	43
3.3 Висновки до розділу 3	58
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	59
4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	60
4.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця	60
4.1.2 Електробезпека приміщення	61
4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	63
4.2.1 Мікроклімат	63
4.2.2 Склад повітря робочої зони.....	64

	7
4.2.3 Виробниче освітлення.....	64
4.2.4 Виробничий шум.....	65
4.2.5 Виробничі випромінювання.....	66
4.3 Пожежна безпека.....	67
4.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі	68
4.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту.....	69
ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73
Додаток А ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА	78
Додаток Б ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	83

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- ADSL — Асиметрична цифрова абонентська лінія
- AIM — Передова інформатика в медицині
- AR (Augmented Reality) — Доповнена реальність
- DBSCAN — Щільнісний алгоритм просторової кластеризації з шумами
- EPIC — Європейський прототип комплексної допомоги
- ETS — Експоненціальне згладжування
- FEST — Структура європейських телемедичних послуг
- ICT (IKT) — Інформаційно-комунікаційні технології
- ISAAC — Інтегрована система підтримки зв'язку
- LAN — Локальна обчислювальна мережа
- LTE — Система довготривалої еволюції
- MAE — Середня абсолютна помилка
- MASE — Середня абсолютна масштабована помилка
- MMO (MMO) — Мережа масового обслуговування
- MSE-T (MCE-T) — Сектор стандартизації телекомунікацій Міжнародного союзу електрозв'язку
- MTP (MTI) — Мобільний телемедичний пункт
- NUCLEUS — Середовище налаштування мультимедійного інтегрованого досьє пацієнта
- RAID — Надлишковий масив незалежних дисків
- RAIP (PAIP) — Рівень агрегації інформаційних потоків
- RAD (PAД) — Рівень абонентського доступу
- RI (PI) — Рівень інтеграції
- RMSE — Середньоквадратичне відхилення
- SHINE — Стратегічна мережа медичної інформатики для Європи
- SMAPE — Симетрична середня абсолютна відносна похибка
- TMM (TMM) — Телемедична мережа
- TP (TI) — Телемедичний пункт

ТС (ТЦ) — Телемедичний центр

uRLLC — Надійна взаємодія з наднизькою затримкою

VDSL — Надвисокошвидкісна цифрова абонентська лінія

VR — Віртуальна реальність

WAN — Глобальна обчислювальна мережа

ВТР (ВТП) — Віддалений телемедичний пункт

ЦОД — Центр обробки даних

ВСТУП

Актуальність теми. Упродовж останніх десятиліть спостерігається стрімке зростання впровадження інформаційних технологій у всі сфери людської діяльності. Інтенсивний розвиток інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) сприяв формуванню та широкому поширенню поняття «цифрова економіка», яке стало невід’ємною частиною сучасного суспільного лексикону. Ключовими технологіями цифрової економіки нині є штучний інтелект, Інтернет речей (Internet of Things, IoT), надшвидкісні мережі з ультранизькими затримками, доповнена реальність, медичні телекомунікаційні мережі, а також хмарні обчислення [1].

Трансформації в галузі телекомунікаційних систем і мереж зумовлюють зміну архітектури мережевої інфраструктури та переліку надаваних послуг. Однією з головних причин виникнення нових вимог до мережевих рішень стало масове впровадження Інтернету речей і концепції Тактильного Інтернету. Впровадження мереж зв’язку п’ятого покоління (5G) є не просто еволюційним етапом розвитку інфокомунікацій, а необхідною відповіддю на нові виклики, зокрема щодо забезпечення високої щільності підключень (до 1 млн пристроїв на 1 км²) та наднизької кругової затримки (до 1 мс) [2].

Зростання кількості пристроїв, підключених до мережі, обумовлює необхідність зміни парадигми архітектури мереж. Ще у 2008 році кількість об’єктів, підключених до Інтернету, перевищила чисельність населення планети, і згідно з прогнозами, ця тенденція тільки посилюватиметься, досягаючи десятків мільярдів пристроїв у найближчі роки [3].

Концепція Тактильного Інтернету, яка передбачає передавання тактильних відчуттів через мережу, вимагає критично низької затримки для забезпечення прийнятної якості обслуговування (QoS) і якості сприйняття (QoE). Проте фізичні обмеження швидкості поширення сигналу у волоконно-оптичних середовищах, визначені рекомендаціями МСЕ-Т, уможливають реалізацію таких сервісів лише в межах 50 км від центру обробки даних. Це, своєю чергою,

потребує високого рівня децентралізації обчислювальних ресурсів оператора. Подібні вимоги до затримки характерні і для інших високочутливих застосувань, зокрема: систем доповненої реальності (максимальна затримка – 5 мс), автономних транспортних засобів, телемедицини систем, де через необхідність обслуговування в режимі реального часу допустимою є затримка не більше 10 мс. [4]

Результати досліджень суб'єктивної якості сприйняття послуг доповненої реальності вказують, що затримки до 5 мс не чинять негативного впливу на користувацький досвід. Проте при збільшенні затримки спостерігається зниження точності візуального сприйняття швидкості об'єкта через зменшення частоти оновлення зображення, а при затримці понад 25 мс трафік втрачає самоподібність, що ускладнює прогнозування його поведінки та оцінювання якості послуги [5].

Серед найперспективніших напрямів впровадження інфокомунікацій на сучасному етапі вирізняється медична сфера. Застосування новітніх технологій у системі охорони здоров'я може суттєво підвищити доступність медичних послуг, тим самим сприяючи зменшенню цифрової нерівності між регіонами. У контексті телемедицини (зокрема для телеконсультацій і дистанційного навчання медперсоналу) також необхідно забезпечити затримки, аналогічні до тих, що характерні для систем доповненої реальності [6].

Отже, архітектурною основою мереж п'ятого та наступних поколінь мають стати надщільні мережі з ультранизькою затримкою. Враховуючи викладене, тематика даної дипломної роботи, присвяченої дослідженню впливу впровадження телемедицини сервісів і мереж з ультранизькою затримкою на цифрову нерівність між регіонами, а також розробці підходу до кластеризації територій з урахуванням щільності підключених пристроїв, є безумовно актуальною [7].

Аналіз останніх досліджень. У сфері дослідження мереж зв'язку з ультранизькими затримками активну наукову діяльність ведуть провідні фахівці, зокрема A.S.A. Muthanna, A.A.A. Ateya, M. Dohler, G.P. Fettweis, Z. Li, M. Maier,

P. Popovski, T. Taleb, M. Uusitalo та інші вчені, зокрема ті, хто бере участь у формуванні міжнародних рекомендацій щодо архітектури мереж наступного покоління (мереж 2030 року) [8].

У своїх наукових працях вказані дослідники приділяють значну увагу проблематиці побудови телекомунікаційних систем із високими вимогами до затримки під час надання послуг Тактильного Інтернету, доповненої реальності та інших технологій реального часу. Проте, у більшості з цих досліджень недостатньо висвітлено питання подолання цифрової нерівності між територіями через впровадження нових послуг або трансформацію мережевої архітектури [9].

У сучасних умовах особливої актуальності набуває завдання побудови мереж з урахуванням принципово нового підходу до їх структурування, оскільки технічні обмеження щодо забезпечення ультранизких затримок накладають обмеження на допустиму відстань між вузлами надання послуг і кінцевими користувачами. Це, у свою чергу, зумовлює необхідність децентралізації інфраструктури та формування так званих цифрових кластерів із урахуванням щільності населення та просторових характеристик територій [10].

У межах даної роботи передбачається вирішення низки науково-прикладних завдань, зокрема: прогнозування кількості користувачів телемедичних послуг на часовому горизонті до 2030 року, а також розробка методу побудови цифрових кластерів мережі для першого етапу розгортання телемедичних сервісів з урахуванням вимог до якості обслуговування (QoS). Це дозволить створити ефективну модель просторової організації мереж зв'язку нового покоління, орієнтовану на зниження цифрової нерівності між регіонами [11].

Мета та постановка задачі. Метою даної кваліфікаційної роботи є дослідження та розробка методів формування цифрових кластерів при впровадженні телемедичних сервісів у мережах зв'язку п'ятого та наступних поколінь, а також оцінювання їх впливу на зменшення цифрового розриву між регіонами країни.

Задачами бакалаврської кваліфікаційної роботи є:

1. Аналіз сучасного стану телемедичних послуг та напрямів розвитку мереж зв'язку п'ятого і наступних поколінь для забезпечення їх підтримки.
2. Дослідження принципів побудови мереж з ультранизькими затримками у контексті надання телемедичних сервісів.
3. Прогнозування частки користувачів телемедичних та телеприсутніх послуг у мережах нового покоління.
4. Формування першого набору телемедичних послуг, орієнтованих на використання в мережах п'ятого покоління.
5. Аналіз підходів до проєктування телемедичних мереж і розробка алгоритму вибору параметрів, що задовольняють вимогам до якості обслуговування.
6. Розробка моделі мережі зв'язку п'ятого і наступних поколінь для надання телемедичних послуг з урахуванням показників якості обслуговування (QoS).
7. Створення методу формування цифрових кластерів для мереж з ультранизькими затримками з урахуванням щільності населення та просторового розташування населених пунктів.

Апробація результатів роботи. Основні ідеї роботи доповідались і обговорювались на науковій конференції ВНТУ у 2025 році.

1 ІНТЕГРАЦІЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНИ В АРХІТЕКТУРУ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ З МІНІМАЛЬНИМИ ЗАТРИМКАМИ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ

1.1 Інфокомунікаційні мережі з мінімальними затримками передачі даних

На сьогоднішній день, з урахуванням еволюції телекомунікаційних мереж та значного досвіду у створенні ефективних алгоритмів їх проектування, однією з найбільш перспективних є концепція мереж зв'язку з ультранизькою затримкою, що базується на ідеї Тактильного Інтернету [12].

Оскільки ця концепція не була повною мірою реалізована в мережах п'ятого покоління, які наразі впроваджуються у глобальному масштабі, вона покладена в основу розвитку мереж шостого покоління та мереж зв'язку покоління 2030. У рамках цієї парадигми сформульовано підхід uRLLC (ultra-Reliable and Low-Latency Communications) — наднадійного зв'язку з наднизькою затримкою. У міжнародній науковій спільноті поняття «ultra reliable» зазвичай інтерпретується як зв'язок із вкрай низьким рівнем втрат. Однак низка авторів, зокрема вітчизняні дослідники, розглядають цю надійність у контексті коефіцієнта готовності мережі.

Початок систематичних досліджень у сфері мереж зв'язку покоління 2030 був покладений Сектором стандартизації телекомунікацій Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ-Т). Під час 13-го засідання Дослідницької комісії з питань мереж майбутнього та хмарних обчислень (липень 2018 р.) була сформована спеціальна дослідницька група, перед якою поставлено завдання щодо: розробки рекомендацій із побудови мереж зв'язку 2030 року; створення принципово нової архітектури телекомунікаційних систем; розробки нової версії Інтернету.

Управління роботою цієї групи здійснюється віце-представниками з Китаю, США, Японії, Південної Кореї. Відсутність представників європейських країн пояснюється тим, що Європейський інститут телекомунікаційних стандартів (ETSI) має власне бачення розвитку мереж до 2030 року [13].

Дослідницька діяльність групи охопила низку міжнародних заходів, проведених у Нью-Йорку (Університет Брукліна, жовтень 2018), Гонконгу (Політехнічний університет, грудень 2018), Лондоні (Національна фізична лабораторія, лютий 2019) [14].

Основні технічні вимоги до мереж 2030 включають: забезпечення затримки менше 1 мс у якості базового параметра; перехід до нової архітектури Інтернету; голографічна комунікація та телеприсутність на основі технологій доповненої реальності; широке впровадження розподілених обчислень; дослідження ефективності супутникового зв'язку в умовах вимог до наднизької затримки; забезпечення кібербезпеки на базі квантових ключів.

Очікується, що мережі 2030 у значній мірі будуть реалізовані саме у вигляді мереж з ультранизькими затримками, що дозволить зменшити цифровий розрив між регіонами, особливо у критично важливих прикладних сферах. Таким чином, розвиток таких мереж безпосередньо пов'язаний із завданнями цифрової трансформації держави [15].

Відмінності мереж зв'язку 2030 від 6G: кругова затримка — до 1 мс; пікова швидкість передачі даних — до 1 Тбіт/с; коефіцієнт готовності — не менше 0.999999; допустима недоступність мережі — не більше 4 мс на добу; персоналізовані мережі та наномережі; повноцінна реалізація концепції Індустрії 4.0 на базі роботизованих систем; створення голографічних копій та цифрових аватарів людини. Разом з тим, жорсткі вимоги до затримки призводять до конфлікту з фундаментальними фізичними обмеженнями — зокрема, зі швидкістю розповсюдження електромагнітних хвиль. Це означає, що передача даних на значні відстані з затримкою до 1 мс є неможливою, і тому необхідною умовою реалізації таких мереж є їх децентралізація [16].

Серед пріоритетних напрямів впровадження функціональних можливостей мереж зв'язку покоління 2030 слід виділити сферу телеприсутності, яка передбачає виконання людиною завдань на відстані за допомогою цифрових аватарів і голографічних копій. Значний потенціал таких рішень простежується

також у медичній галузі — зокрема, у застосуванні для мереж медичного призначення та телемедицини.

1.2 Напрями розвитку мереж зв'язку покоління 2030 для надання медичних послуг

У контексті цифрової трансформації сфери охорони здоров'я розвиток мереж зв'язку покоління 2030 орієнтований на створення інфраструктури, здатної підтримувати широкий спектр телемедичних послуг із гарантованою якістю обслуговування (QoS) та надвисокою надійністю (uRLLC). Основними напрямками еволюції мереж є забезпечення мінімальної затримки передачі даних (до 1 мс), підвищення пропускної здатності до рівня терабітного трафіку, а також інтеграція інтелектуальних механізмів обробки й маршрутизації інформації в режимі реального часу.

Зокрема, у межах концепції мереж 2030 виділяються такі ключові напрями, що мають безпосереднє застосування в галузі медичних послуг:

1. Підтримка критично важливих телемедичних сценаріїв — наприклад, дистанційна хірургія, телемоніторинг стану пацієнтів із хронічними захворюваннями, а також служби екстреної медичної допомоги з відгуком у режимі реального часу.

2. Використання технологій віртуальної, доповненої та змішаної реальності для реалізації голографічних консультацій, віртуальної присутності лікарів у віддалених регіонах та інтерактивного навчання медичного персоналу.

3. Децентралізація обчислювальних ресурсів через розгортання розподілених обчислювальних вузлів (Edge/Fog computing), що дозволяє зменшити затримку при обробці біомедичних даних та забезпечити локальну обробку великих обсягів інформації в медичних кластерах.

4. Створення цифрових медичних кластерів, які враховують щільність населення, рівень медичної інфраструктури та цифрової доступності, з метою оптимального розподілу ресурсів і рівномірного доступу до медичних послуг.

5. Інтеграція квантових та блокчейн-технологій для забезпечення безпеки медичних даних, автентифікації користувачів та захисту персональної інформації під час надання телемедичних послуг.

6. Автоматизація обслуговування пацієнтів на основі штучного інтелекту, включаючи прогнозування стану здоров'я, інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень, аналіз медичних зображень та персоналізовану медицину.

Реалізація зазначених напрямів дозволить значно розширити доступ до якісних медичних послуг у віддалених і малонаселених регіонах, сприятиме зменшенню цифрового розриву та створенню єдиного медичного простору на національному рівні. Мережі 2030, як технологічна основа для цифрового охорони здоров'я, відіграватимуть ключову роль у переході до інноваційних моделей медичного обслуговування, орієнтованих на профілактику, безперервний моніторинг і своєчасне втручання [17].

Завдяки телеприсутності стало можливим надання інноваційних сервісів у сфері охорони здоров'я, особливо в екстрених ситуаціях. Зокрема, вона дозволяє лікарям, які перебувають у безпечному місці, безпосередньо втручатися у складні ситуації, такі як дорожньо-транспортні пригоди, у надзвичайно важких умовах, де відлік часу йде на секунди. Така можливість може значно підвищити шанси на виживання постраждалих.

Наразі більшість застосунків телеприсутності орієнтовані на діагностичну або навчальну діяльність, як-от дистанційне керування приладами або виконання маніпуляцій у реальному часі. Однак технології, пов'язані з наданням послуг, вимагають вирішення значно складніших завдань. Це пов'язано з тим, що сфера послуг передбачає обробку значного обсягу інформації, що стосується емоційного стану людини, соціальної взаємодії та контексту ситуації [18].

1.3 Конфігураційні варіанти побудови телемедичної мережі

Телемедичні технології мають бути інтегровані в систему надання медичної допомоги на всіх рівнях територіального поділу — від локального (районного) до загальнодержавного. Для кожного з цих рівнів висувуються специфічні вимоги щодо організації, функціонування та інформаційної взаємодії.

У 2019 році Міжнародним союзом електрозв'язку були сформульовані рекомендації щодо побудови телемедичних мереж на локальному (населені пункти), регіональному (райони, області) та національному рівнях з урахуванням специфіки окремих країн.

З огляду на ієрархічну структуру телемедичної мережі, виділяються різні типи взаємодіючих елементів: віддалені телемедичні пункти (ВТП), мобільні телемедичні пункти (МТП), телемедичні центри (ТМЦ), до яких із різним ступенем підпорядкування можуть бути підключені стаціонарні телемедичні пункти (ТП), а також кінцеві споживачі послуг (рис. 1.1) [19].

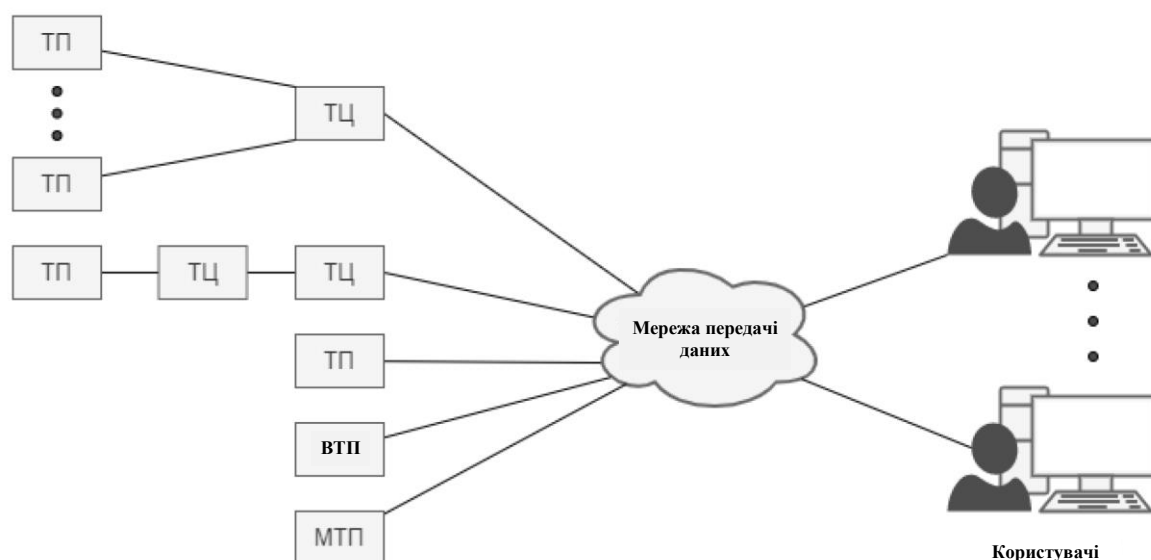


Рисунок 1.1 – Ієрархічна структура об'єктів телемедичної мережі

З позиції інформаційно-комунікаційних технологій телемедична мережа поділяється на внутрішній та зовнішній сегменти, що відповідають локальній

(LAN) та глобальній (WAN) мережам відповідно. Сегмент LAN забезпечує підключення телемедичних робочих станцій до мережі та передачу даних у межах окремого об'єкта телемедичної інфраструктури (телемедичного центру, телемедичного пункту, віддаленого або мобільного телемедичного пункту).

Сегмент WAN, у свою чергу, виконує функцію з'єднання вказаних об'єктів із зовнішніми мережами передачі даних для забезпечення взаємодії між компонентами телемедичної системи на різних рівнях.

До складу LAN-сегмента входять такі основні елементи: телемедичні робочі станції, серверне обладнання, пристрої абонентського доступу, комутаційне обладнання, а також канали передачі даних. Ієрархія локального сегмента включає два рівні: рівень абонентського доступу, який відповідає за підключення робочих станцій до мережі; рівень агрегації інформаційних потоків, що забезпечує маршрутизацію й розподіл трафіку всередині мережі.

До компонентів сегмента WAN належать засоби інтеграції з телекомунікаційною мережею провайдера, що надає доступ до зовнішньої мережі передачі даних, а також відповідні канали зв'язку. Ієрархія глобального сегмента представлена рівнем інтеграції, який виконує функцію з'єднання локального сегмента (LAN) із зовнішніми телекомунікаційними ресурсами.

Реалізація рівнів LAN і WAN може бути здійснена як за допомогою одного типу обладнання, так і з використанням різних технічних засобів, залежно від архітектурних особливостей об'єкта.

Залежно від розміщення обладнання провайдера послуг зв'язку виділяють два варіанти побудови:

1. Телекомунікаційне обладнання провайдера розміщується безпосередньо на території телемедичного об'єкта (див. рисунок 1.2) [20];
2. Обладнання провайдера встановлюється на його власному технічному майданчику, а об'єкт телемедицини підключається до нього через канал зв'язку (див. рисунок 1.3) [21].

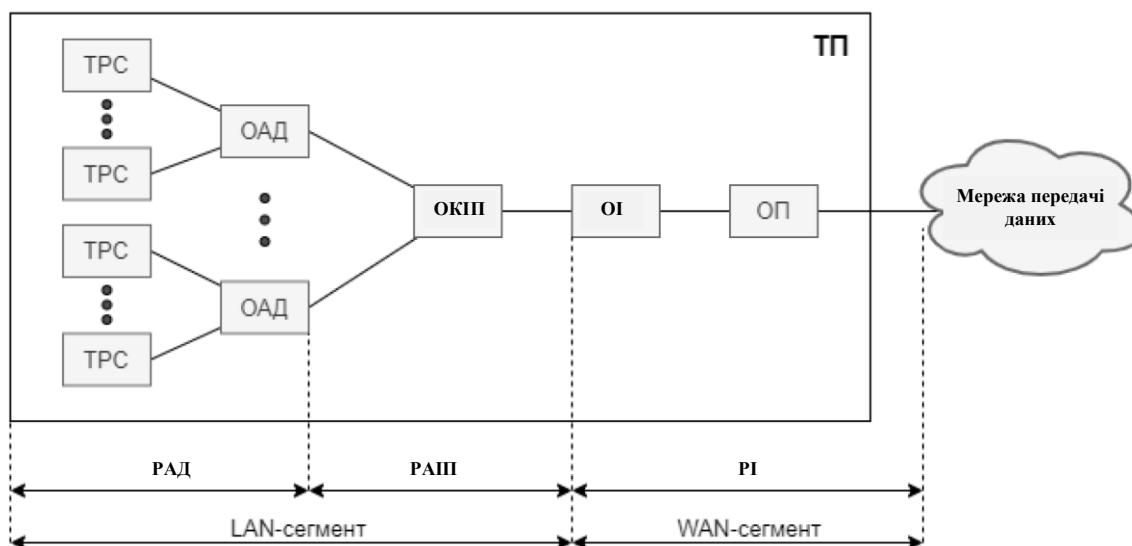


Рисунок 1.2 – Топологія сегменту WAN за умови розміщення обладнання провайдера на стороні телемедичної мережі

Один із можливих підходів до організації глобального сегмента телемедичної мережі (WAN) передбачає розміщення телекомунікаційного обладнання постачальника послуг передачі даних безпосередньо на території об'єкта телемедицини (наприклад, телемедичного центру або пункту).

У цьому випадку забезпечується мінімізація проміжних ланок у каналі зв'язку між телемедичним об'єктом і зовнішньою мережею, що сприяє підвищенню якості та швидкодії передачі інформації, зменшенню затримок, а також покращенню стабільності з'єднання. Такий підхід є доцільним у випадках, коли об'єкт телемедицини розташований у зоні прямої дії телекомунікаційної інфраструктури провайдера.

Основними перевагами цього варіанту є: зменшення втрат якості сигналу та затримок за рахунок скорочення фізичної довжини каналу до вузла доступу; можливість оперативного обслуговування та технічної підтримки з боку провайдера без необхідності транспортування обладнання; підвищення рівня інформаційної безпеки за рахунок локалізації обладнання в захищеній інфраструктурі медичного закладу [22].

Однак реалізація такого рішення потребує узгодження питань фізичної безпеки обладнання, резервування електроживлення, забезпечення кліматичних умов та організації відповідального доступу до технічних приміщень. У розглянутому варіанті організації ієрархії телемедичної мережі виділяють три рівні: рівень абонентського доступу (РАД), рівень агрегації інформаційних потоків (РАІП) та рівень інтеграції (РІ). Перші два рівні належать до LAN-сегмента, тоді як третій — до WAN-сегмента [23].

Рівень абонентського доступу представлений телемедичними робочими станціями (ТРС) та обладнанням абонентського доступу (ОАД). Функції рівня агрегації інформаційних потоків виконує спеціалізоване обладнання комутації інформаційних потоків (ОКІП). До рівня інтеграції належить обладнання інтеграції (ОІ) та обладнання провайдера (ОП). Перераховані компоненти формують структурні елементи телемедичного пункту (ТП) [24].

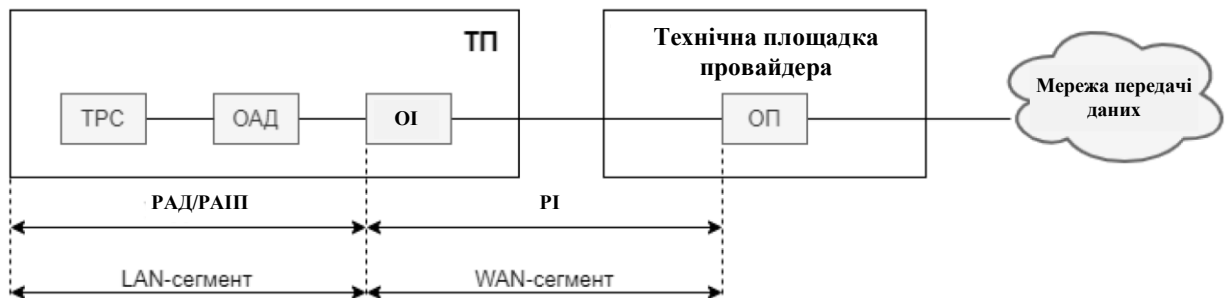


Рисунок 1.3 – Архітектура WAN-сегменту при розміщенні обладнання провайдера на стороні провайдера

При розміщенні обладнання на стороні провайдера рівні абонентського доступу (РАД) та агрегації інформаційних потоків (РАІП) об'єднуються і належать до LAN-сегмента, тоді як рівень інтеграції (РІ) відповідає WAN-сегменту. До складу телемедичного пункту входять телемедичні робочі станції (ТРС), які підключені до обладнання абонентського доступу (ОАД), що, у свою чергу, взаємодіє з обладнанням інтеграції (ОІ). Обладнання інтеграції належить до WAN-сегмента і призначене для обміну даними з обладнанням провайдера

(ОП), розташованим на технічній площадці провайдера. З погляду організації зберігання даних у телемедичній мережі можливі дві основні архітектурні схеми: централізована (рисунок 1.4) та децентралізована (рисунок 1.5) [25].

Централізована архітектура передбачає зберігання всіх медичних даних — таких як персональні дані лікарів і пацієнтів, результати обстежень і аналізів, історія звернень до медичних установ, графік консультацій — у єдиному централізованому сховищі. Головною перевагою цього підходу є спрощене управління мережею завдяки відсутності дублювання інформації. Проте, така система має підвищені ризики кібератак, потребує значних ресурсів для масштабування та не виключає втрату даних або їхню недоступність у разі апаратних або мережевих збоїв [26].

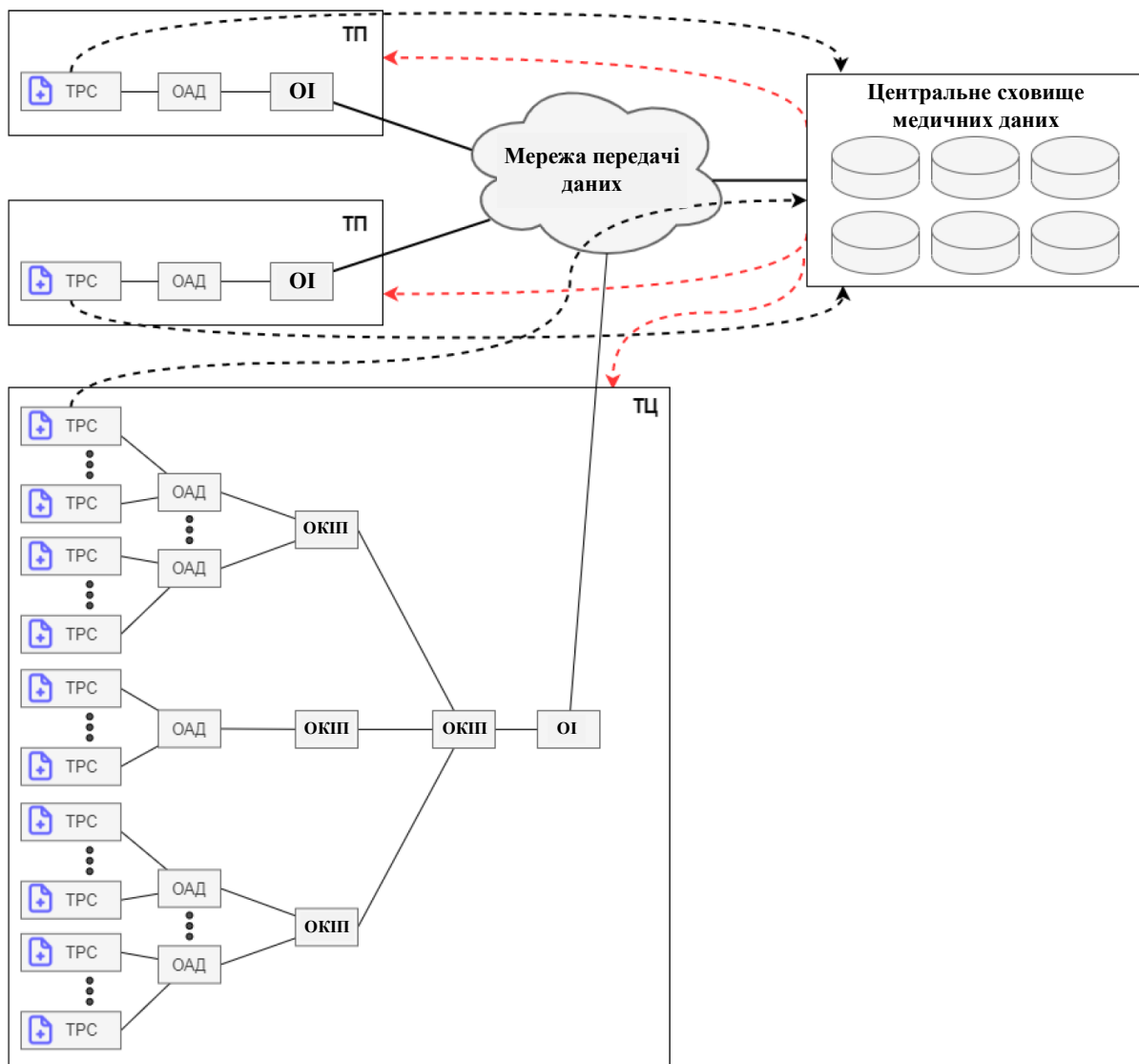


Рисунок 1.4 – Централізована схема побудови телемедичної мережі

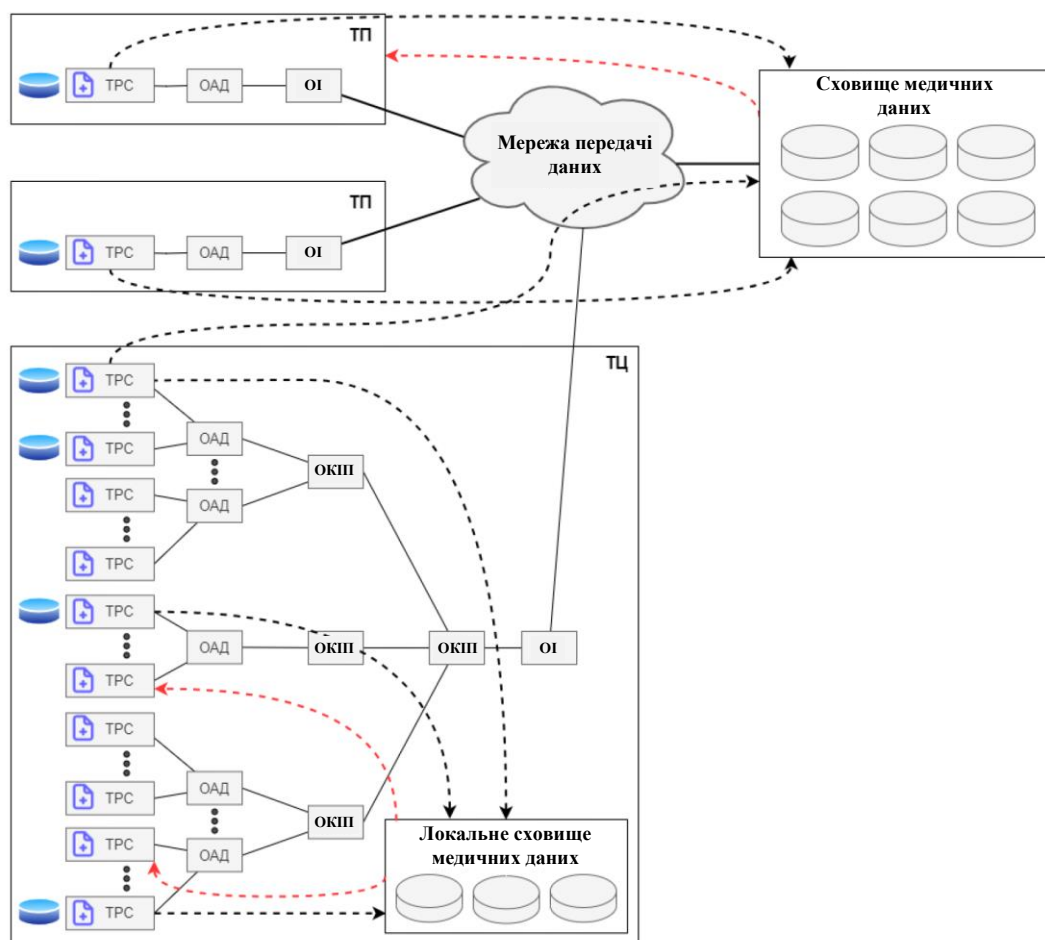


Рисунок 1.5 – Децентралізована схема побудови телемедичної мережі

Децентралізована (розподілена) архітектура передбачає зберігання медичних даних на різних вузлах мережі, при цьому власність на дані та обчислювальні ресурси рівномірно розподіляються по всій телемедичній мережі. Для забезпечення надмірності створюються кілька копій фрагментів даних на локальних ресурсах або телемедичних робочих станціях фахівців, що виключає можливість втрати або недоступності інформації. У зв'язку з тим, що дані при такій організації шифруються, фрагментуються та зберігаються на різних вузлах, значно знижуються ризики несанкціонованого доступу. Крім того, цей підхід дозволяє суттєво зменшити час затримки доступу до даних завдяки отриманню інформації з найближчих вузлів, а також є економічно вигідним при масштабуванні мережі. Захист даних забезпечується за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для керування доступом і правами,

наскрізного шифрування як при зберіганні, так і при передачі інформації. Для контролю цілісності даних можуть застосовуватися криптографічні хеш-функції або дерева Меркла [27].

Отже, наведена у розділі інформація ілюструє різні варіанти побудови архітектури телемедичної мережі, розкриваючи її складові, пункти обслуговування пацієнтів, обробки даних та елементи зберігання інформації [28].

1.4 Висновки до розділу 1

1. Аналіз вимог до мереж зв'язку у перспективі до 2030 року дозволив виділити концепцію мереж з ультрамалими затримками (uRLLC) як основний напрямок для реалізації послуг телеприсутності та рішень телемедицини. Існуючі фундаментальні обмеження швидкості поширення світла зумовлюють необхідність децентралізації мережі, що може сприяти зменшенню цифрового розриву на території України.

2. На основі історично сформованого переліку споживчих послуг виокремлено найбільш перспективні сфери застосування робіт телеприсутності, а також наведено класифікацію телемедичних послуг із розподілом залежно від функціональних вимог на консультації, моніторинг здоров'я та навчання.

3. Продемонстровано варіанти побудови архітектури телемедичної мережі за централізованою та децентралізованою схемами, а також з різними поєднаннями підпорядкування телемедичних об'єктів, організацією LAN і WAN сегментів, розміщенням обладнання провайдера, способами локалізації елементів зберігання даних та рекомендованими мережевими технологіями.

2 КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ТЕЛЕМЕДИЧНОЇ СИСТЕМИ З УРАХУВАННЯМ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ

2.1 Підхід до оптимального вибору мережевих характеристик

З часом розвитку мереж зв'язку відбувалися істотні трансформації як у контексті застосовуваних технологій, так і з погляду методів комутації та підходів до побудови мережевої інфраструктури. Від початкової однорангової повнозв'язної структури було здійснено перехід до багаторівневої ієрархічної архітектури з різною кількістю вузлів та каналів зв'язку, що дозволило відмовитися від моделі типу «кожен з кожним» і згрупувати станції в окремі кластери.

Стрімке зростання кількості користувачів мережі Інтернет спричинило зміну характеру трафіку — з одномірного він трансформувався у багатовимірний. Надалі, внаслідок інтеграції обчислювальних систем у телекомунікаційні мережі, сформувалося єдине інтегроване інфокомунікаційне середовище. Основою цієї концепції є сукупність міжнародних стандартів, відкритих архітектур і комерційних платформ обміну даними. Телекомунікаційна інфраструктура при цьому виступає ключовим компонентом інформаційно-інфокомунікаційної системи (InIC), розглянутої як базис для формування єдиного інформаційного простору [15].

Запровадження центрів обробки даних (ЦОД) відкрило нові можливості для розширення спектра послуг, які можуть безпосередньо надаватися цими центрами. Оскільки ЦОД є точками концентрації інформаційного трафіку, надзвичайно важливим є їх раціональне географічне розміщення в межах обслуговуваної території, що, у свою чергу, визначає загальну структуру мережі.

Водночас концепція створення високопродуктивних ЦОД частково суперечить вимогам до стійкості функціонування систем, а також потребам сучасних сервісів. Це зумовило появу хмарних технологій, які охоплюють не лише самі ЦОД, але й інші елементи інфокомунікаційної інфраструктури.

Зокрема, для реалізації концепції Тактильного Інтернету з метою зниження затримок використовуються міні- та мікрохмари, розміщені на рівні базових станцій і пов'язані між собою високошвидкісними оптичними або лазерними каналами зв'язку. Крім того, існує і третій рівень хмарної інфраструктури — операторський, що розміщується в ядрі мережі. Проте оператори зв'язку стикаються з низкою територіальних обмежень щодо надання послуг Тактильного Інтернету.

Телемедичні послуги, які мають життєво важливе значення для населення, висувають специфічні вимоги до забезпечення належної якості їх функціонування. На сьогодні існують окремі локальні проєкти впровадження телемедицини в медичних закладах, однак виникає потреба у розробленні єдиного підходу до побудови телемедичної мережі. Такий підхід має забезпечити безперешкодний обмін медичними даними по всій території країни, а також надавати можливість отримання висококваліфікованої медичної допомоги незалежно від географічного розташування користувача — на єдиному якісному рівні.

Як і для будь-якої телекомунікаційної мережі, при моделюванні телемедичної мережі необхідно виокремити основні чинники, що визначають її архітектуру. Встановлено, що просторове розміщення мережевих вузлів має ключове значення для забезпечення потенційних можливостей системи. Окрім цього, слід враховувати абонентський трафік, характеристики каналів зв'язку, параметри якості обслуговування трафіку та наявні ресурси мережі.

По-перше, важливим фактором є абонентський трафік, який залежить від типу телемедичних послуг, попиту на них та кількості користувачів. Від характеру трафіку визначаються вимоги до параметрів його передавання. Наприклад, голосовий трафік має менші вимоги до пропускної здатності в порівнянні з потоковим відео, проте потребує стабільності та постійної пропускної спроможності. Тому під час проєктування і впровадження телемедичної мережі необхідно орієнтуватися на конкретний перелік послуг, що надаються.

По-друге, важливо враховувати територіальний розподіл користувачів. У сучасних телекомунікаційних мережах ресурси, як правило, зосереджені в регіонах з високою щільністю населення. Однак однією з пріоритетних цілей телемедицини є забезпечення доступу до медичної допомоги навіть у віддалених і малонаселених районах. Це обумовлює потребу в оптимальному розподілі мережевих ресурсів з урахуванням географічних особливостей.

Третім важливим аспектом є вимоги до якості обслуговування, які формуються у вигляді нормативних значень відповідних показників, що відображають рівень задоволеності користувача послугою. Відповідно до рекомендації ITU-T Y.1540 [16], до ключових характеристик, що впливають на якість обслуговування, належать: пропускна здатність, надійність мережі, затримка передавання пакетів, варіація затримки (джиттер), відсоток втрат пакетів, а також здатність мережі зберігати працездатність при виході з ладу окремих елементів. Згідно з рекомендацією ITU P.10/G.100, якість сприйняття послуги користувачем (QoE) визначається як загальна прийнятність функціонування застосунку або сервісу, що оцінюється суб'єктивно з боку користувача.

Під час надання телемедичних послуг аналізу підлягатимуть сервіси, для яких є критичними імовірно-часові характеристики трафіку, зокрема ймовірність втрати пакетів і затримка доставлення даних.

Варто зазначити, що телемедичні послуги доцільно класифікувати на дві основні групи за ступенем затребуваності на ринку, рівнем розвитку ІКТ та вимогами до технічного забезпечення.

До першої групи належать послуги, що не потребують негайного реагування або постійної присутності обох сторін, наприклад: відкладені телеконсультації, дистанційний моніторинг стану пацієнтів, телетренінги тощо. Для таких сервісів питання мінімізації затримок, втрат пакетів і забезпечення високої надійності мережі не є критично важливим.

Натомість до другої групи відносяться сервіси, реалізація яких потребує дотримання жорстких вимог до якості обслуговування, зокрема — під час

підтримки хірургічних втручань або інших заходів, успішність яких залежить від точного й оперативного дистанційного супроводу. Надання послуг цієї категорії на великі відстані стикається з фундаментальними обмеженнями, зокрема пов'язаними зі швидкістю поширення сигналу.

У межах даної роботи основну увагу буде зосереджено на першій групі телемедицини послуг, для якої проблематика якості передачі може бути вирішена за допомогою грамотного проєктування та моделювання мережі.

На практиці доцільно відповісти на низку ключових запитань, що дають змогу визначити доцільні елементи телекомунікаційної інфраструктури, їх технічні характеристики, а також типи каналів передавання даних. Основні аспекти, які слід враховувати при проєктуванні телемедицини мережі, наведено нижче:

1. Масштаб передбачуваної мережі.
2. Необхідність створення централізованого сховища даних.
3. Наявність лабораторних або інших діагностичних послуг, які використовуються для вирішення клінічних, організаційних, навчально-методичних і наукових завдань.
4. Кількість населення у відповідному населеному пункті.
5. Чи передбачається надання послуг віддаленої діагностики та консультацій для вирішення клінічних завдань.
6. У разі охоплення малих або віддалених населених пунктів — відстань до найближчого центру медичного обслуговування.
7. Наявність доступу до послуг інтернет-провайдера.

Після формування вимог до мережі слід здійснити вибір відповідних мережевих технологій, що відповідають заданим параметрам.

На сучасному етапі розвитку інформаційно-комунікаційних технологій для побудови мережевої інфраструктури використовуються рішення. Нижче детальніше аналізуються варіанти їх реалізації та сфери доцільного застосування з метою вибору найбільш ефективного варіанту для конкретної територіальної моделі мережі.

Одним із поширених стандартів є Fast Ethernet, який передбачає кілька варіантів реалізації:

100BASE-TX – реалізується за допомогою витої пари п'ятої категорії, що містить дві пари провідників. Для кожного напрямку передавання даних використовується окрема пара. Основним обмеженням є довжина сегмента – не більше 100 метрів. При використанні стандартного кабелю з чотирма парами можливе створення двох незалежних 100-Мбіт/с каналів.

100BASE-T4 – використовує кабель з чотирма витóими парами третьої категорії.

100BASE-FX – оптичне з'єднання, що передбачає використання випромінювання з довжиною хвилі 1310 нм через оптичні жили RX і TX. У напівдуплексному режимі можлива довжина сегмента до 400 м, а в повнодуплексному – до 2 км при використанні багатомодового волокна. Одномодове волокно дозволяє збільшити дальність передавання.

100BASE-SX – бюджетна альтернатива 100BASE-FX, яка також використовує багатомодове оптоволокно, але працює на довжині хвилі 850 нм. Максимальна відстань – до 300 м. Зниження вартості досягається через використання світлодіодних джерел випромінювання.

100BASE-BX – застосовується одномодове волокно разом із мультиплексором, який дозволяє розділити сигнали передавання та приймання за різними довжинами хвиль.

100BASE-LX – передбачає використання одномодового волоконно-оптичного кабелю для передавання сигналу на довжині хвилі 1310 нм. У повнодуплексному режимі довжина сегмента може досягати 15 км. Обмеження у 10 км стало підставою для появи модифікації 100BASE-LX10. Існує також варіант 100BASE-LX WDM, який працює за рахунок мультиплексування на різних довжинах хвиль (1310 та 1550 нм), що вимагає сумісності передавальних модулів на обох кінцях з'єднання.

Наступним етапом розвитку став стандарт Gigabit Ethernet, що є еволюційним продовженням стандарту IEEE 802.3 для мереж із пропускною

здатністю 10 та 100 Мбіт/с. Головною метою його впровадження було значне збільшення швидкості передавання даних до 1 Гбіт/с за збереження сумісності з існуючими рішеннями Ethernet, а також можливість масштабування у великих промислових і корпоративних мережах [17].

Серед поставлених завдань передбачено створення сімейства специфікацій фізичного рівня, що забезпечують підтримку каналу довжиною не менше 500 м на багатомодовому оптичному кабелі, 25 м на мідному кабелі та 3000 м на одномодовому оптичному волокні.

На практиці, згідно зі стандартами фізичного рівня, було розроблено кілька варіантів реалізації, що використовують оптоволоконний кабель (1000BASE-X), виту пару (1000BASE-T) або екранований збалансований мідний кабель (1000BASE-CX): 1000BASE-CX: передавальне середовище – екранований збалансований мідний кабель; відстань – до 25 м; 1000BASE-KX: передавальне середовище – мідна з'єднувальна плата; відстань – до 1 м; 1000BASE-SX: передавальне середовище – багатомодове оптоволокно; відстань – 220–550 м; 1000BASE-LX: багатомодове оптоволокно – до 550 м; одномодове оптоволокно – до 5 км; 1000BASE-LX10: одномодове оптоволокно (довжина хвилі 1310 нм); відстань – до 10 км; 1000BASE-EX: одномодове оптоволокно (1310 нм); до 40 км; 1000BASE-ZX: одномодове оптоволокно (1550 нм); до 70 км; 1000BASE-BX10: одномодове оптоволокно з використанням WDM (1490 нм прийом, 1310 нм передача); до 10 км; 1000BASE-T: виті пари (4 пари, категорії 5/5e/6/7); до 100 м; 1000BASE-TX: виті пари (2 пари, категорії 6/7); до 100 м; 1000BASE-RH: пластикове оптоволокно; до 50 м.

Технологія 10 Gigabit Ethernet, як випливає з назви, призначена для збільшення швидкості передавання Ethernet-пакетів до 10 Гбіт/с. Основними особливостями реалізацій цього стандарту є підтримка виключно повнодуплексного режиму та топології «точка-точка».

У стандарті [18] визначено три сімейства специфікацій 10 Gigabit Ethernet: 10GBase-X – використовує чотиріпотоківу передачу у форматі 4×8 біт з кодуванням 8B/10B. Підтримується більшістю інтерфейсів і забезпечує

передавання по мідних шинах, парах і оптичному кабелю. До цього сімейства належить варіант 10GBase-LX4, який використовує 4 довжини хвиль у діапазоні 1260–1355 нм; кожна з яких передає окремий потік. Об'єднання відбувається на передавальній стороні, демультіплексування – на приймальній.

10GBase-R – включає варіанти 10GBase-SR, 10GBase-LR і 10GBase-ER, які працюють виключно з оптоволоконним кабелем у трьох вікнах прозорості: 850 нм (S), 1300 нм (L) і 1550 нм (E).

10GBase-W – охоплює 10GBase-SW, 10GBase-LW і 10GBase-EW, що аналогічно використовують оптоволокно в трьох згаданих вікнах прозорості.

Типові відстані передачі для 10G Ethernet: до 10 км – 10GBase-LX4, 10GBase-LR, 10GBase-L; до 300 м – 10GBase-SR, 10GBase-SW; до 40 км – 10GBase-ER, 10GBase-EW [19].

Технологія Wi-Fi (бездротовий доступ) з'явилася як альтернатива кабельним системам у тих умовах, де прокладення дротів технічно неможливе або економічно недоцільне. Класична архітектура мережі передбачає щонайменше одну точку доступу та одного клієнта, але можливе й з'єднання «точка-точка» без точки доступу.

Більшість маршрутизаторів підтримують діапазони 2,4 ГГц і 5 ГГц, відповідно до стандартів 802.11 b/g/n та 802.11 a/n/ac. У діапазоні 2,4 ГГц передбачено 14 каналів (ширина 20 або 40 МГц), серед яких неперекриваними є 1, 6 і 11. Їх доцільно використовувати для рівномірного покриття без взаємних перешкод.

У діапазоні 5 ГГц доступно 23 неперекривані канали по 20 МГц, з можливістю розширення до 40 і 80 МГц. Продукти для різних частотних діапазонів не сумісні, але можуть співіснувати.

Радіус дії та швидкість передачі Wi-Fi залежать від стандарту [22]: 802.11a: до 54 Мбіт/с; до 35 м у приміщенні, 120 м – на відкритому просторі; 802.11b: до 11 Мбіт/с; до 38 м – у приміщенні, 140 м – на відкритому просторі; 802.11g: до 54 Мбіт/с; аналогічно 802.11b; 802.11n: 300–600 Мбіт/с; до 150 м на відкритому просторі, 70 м – у приміщенні; 802.11ac: до 1 Гбіт/с; до 50 м.

До основних недоліків Wi-Fi належать [23]: Високе енергоспоживання, що знижує автономність пристроїв; Низька криптографічна стійкість WEP (рекомендується WPA/WPA2); Можлива несумісність пристроїв різних виробників; Погана придатність для мультимедійних застосунків у реальному часі через втрати пакетів.

Супутниковий інтернет забезпечує високошвидкісний доступ на базі VSAT-терміналів. Основні переваги – стабільність, висока швидкість і незалежність від наземної інфраструктури. Двосторонній зв'язок дозволяє об'єднувати віддалені об'єкти в єдину мережу.

Недоліки супутникового доступу [29]: Необхідність дозволу на використання обладнання; Висока вартість і габарити; Затримка передачі – ≈ 250 мс в один бік; пінг – 500–800 мс; Відсутність сумісності обладнання різних виробників.

Супутниковий доступ актуальний у віддалених районах та для корпоративного використання (наприклад, у нафтовидобувній або лісовій промисловості). У містах доцільніше використовувати кабельні або мобільні технології.

LTE (Long Term Evolution) — найбільш поширений стандарт мобільної високошвидкісної передачі даних. До LTE домінував стандарт WiMAX (до 40 Мбіт/с).

Існують два варіанти LTE: FDD (Frequency Division Duplex): розділення частот прийому та передачі; вища швидкість і стабільність; TDD (Time Division Duplex): тимчасове розділення каналів; повний спектр використовується послідовно.

Найпоширеніші частотні діапазони: Band 7 (2500–2530/2620–2650), Band 20 (847–854.5/806–813.5), Band 3 (1835–1855/1730–1750), Band 38 (2575–2595).

Швидкість залежить від ширини спектру: 5 МГц – 37/12 Мбіт/с (завантаження/вивантаження), 10 МГц – 75/25 Мбіт/с, 15 МГц – 112/37 Мбіт/с, 20 МГц – 150/50 Мбіт/с.

Для підвищення швидкості використовується агрегування каналів – технологія LTE-Advanced.

ADSL та VDSL – технології передачі даних по телефонних лініях. VDSL підтримує як симетричний, так і асиметричний режими, ADSL – лише асиметричний. VDSL має вищу швидкість при коротких відстанях (до 1,5 км), але в будь-якому випадку перевершує ADSL за характеристиками. В РФ перевагу надають ADSL через простоту експлуатації, тоді як у Кореї та Японії VDSL мав ширше застосування, хоча нині витіснений сучаснішими рішеннями.

Пасивна оптична мережа (PON) — технологія широкосмугового доступу по оптоволокну без використання активних компонентів. Сигнал у лінії розгалужується за допомогою спліттерів.

Архітектура PON включає: Стационарний оптичний термінал, що з'єднує мережу з глобальними мережами (через ATM, SDH, Gigabit Ethernet); Пасивні спліттери; Абонентські пристрої з інтерфейсами 10/100Base-TX, FXS (2–16 портів), E1, цифровим відео, ATM (E3, DS3, STM-1c).

Активні оптичні мережі (AON) представляють собою архітектуру, в якій до кожного абонентського концентратора підведено окрему оптоволоконну лінію, тобто використовується топологія типу «точка-точка». Основна відмінність від пасивних оптичних мереж полягає у відсутності розгалуження оптичного сигналу — він надходить від центрального обладнання безпосередньо до кінцевого користувача. Сигнали, що надходять від абонентів, не зазнають колізій завдяки реалізованій буферизації.

Оскільки мережа AON потребує живлення (принаймні одного комутатора або маршрутизатора-комутатора на 48 користувачів), її експлуатація є більш витратною, особливо у разі необхідності організації повністю резервованої системи [21]. Через вимоги до енергоживлення активні оптичні мережі вважаються менш надійними. Однією з переваг активних оптичних мереж є велика дальність передавання — до 90 км, що дає змогу підключати абонентів, розташованих на значній відстані від вузлів прийому та передавання сигналу.

2.2 Опис математичної моделі мережі

Основним параметром, що характеризує якість надання телемедичних послуг, є затримка N_L . Такий підхід дає змогу використовувати мережі з ультранизьким рівнем затримок. Величина затримки залежить від обсягу передаваних даних і швидкості передавання по лінії зв'язку на кожній ділянці маршруту, можливих затримок у вузлах маршруту, спричинених очікуванням у буфері через зайнятість лінії раніше обслуговуваними пакетами даних, часу передавання даних у середовищі передавання або каналами, а також часу поширення сигналу, необхідного пакету для проходження через середовище передавання. З огляду на зазначене, можна подати формули для розрахунку затримок у мережі:

$$D_T = \frac{N_B}{T_R}, \quad (2.1)$$

де D_T — затримка передавання, N_B — обсяг передаваних даних, T_R — швидкість передавання.

$$D_{PR} = \frac{D}{S}, \quad (2.2)$$

де D_{PR} — затримка поширення пакета даних, D — відстань, S — швидкість поширення пакета. Отже, загальну затримку можна обчислити як суму всіх складових затримок [29].

$$N_L = D_P + D_Q + D_T + D_{PR}, \quad (2.3)$$

де D_P — затримка обробки (Processing Delay),

D_Q — затримка постановки в чергу (Queuing Delay),

D_T — затримка передачі (Transmission Delay),

D_{PR} — затримка поширення (Propagation Delay).

Для вибору оптимального розміщення елементів мережі пропонується використання алгоритмів кластерного аналізу території. Такий підхід дозволяє представити структуру мережі як сукупність кіл з певними центроїдами. Роль центроїдів виконують точки надання послуг (S). Точки надання послуг з'єднуються з точками доступу (A), які, у свою чергу, обслуговують декілька користувацьких терміналів (U). Таким чином, максимальна відстань, яку долає сигнал, складається з максимальної відстані від точки надання послуг до точки доступу R_{S-A} та максимальної відстані від точки доступу до терміналу R_{A-U} .

$$d_{max} = R_{S-A} + R_{A-U} \quad (2.4)$$

Очевидно, що відстань від точки доступу до користувача є значно меншою, ніж відстань від точки надання послуг до точки доступу.

$$R_{A-U} \ll R_{S-A} \quad (2.5)$$

У цілому для маршруту можна допустити, що загальна середня затримка дорівнює сумі затримок окремих ділянок, розрахованих за формулою (2.3).

$$T = \sum_{i=1}^k N_i, \quad (2.6)$$

де N_i — затримка на i -й ділянці маршруту.

Припустімо, що між користувачем мережі та точкою надання послуги, якою є телемедицина робоча станція (TRC), розташовано дві ділянки: ділянка доступу, з'єднувальна лінія з точкою надання послуги. Кожен кластер розглядається як система масового обслуговування (СМО) з одним сервером, що опрацьовує запити. Обслуговування запитів здійснюється в порядку їх надходження, без поділу за пріоритетами [30]. Процес надходження запитів може бути описаний

потокм Пуассона, що дозволяє визначити ймовірність надходження певної кількості запитів за одиницю часу [22]:

$$P_m = \frac{\lambda^m}{m!} * e^{-\lambda}, \quad (2.7)$$

де m — кількість заявок за одиницю часу,

λ — інтенсивність надходження заявок, тобто середня кількість заявок за одиницю часу. Аналогічним чином можна описати розподіл користувачів на території, припустивши, що кількість користувачів на 1 м² є випадковою величиною. У такому випадку інтенсивність надходження заявок може бути пропорційною до щільності користувачів на певній території.

Загальну кількість користувачів можна визначити як добуток площі покриття мережі на щільність користувачів на території (1/м²):

$$\nu = \pi R_{S-A}^2 \eta \quad (2.8)$$

Ймовірність того, що m користувачів потраплять у зону обслуговування точки надання послуг, визначається за допомогою формули:

$$P_m = \frac{(\pi R_{S-A}^2 \eta)^m}{m!} * e^{-(\pi R_{S-A}^2 \eta)} \quad (2.9)$$

Отримуємо затримку для одного сегмента мережі за моделлю GI/G/1, у якій потік обслуговується одним сервером, час між надходженнями має довільний розподіл, а час обслуговування відповідає іншому загальному закону розподілу.

Припустимо, що в розглянутій системі масового обслуговування надходять запити одного типу. За умови відомих значень коефіцієнтів варіації та навантаження, що подається на вузли мережі, середній час перебування запиту в відповідному вузлі можна визначити за допомогою наближеної формули Крамера — Лангенбаха — Бельца [23]:

$$\bar{w} = \frac{\rho_i \bar{t}}{2(1-\rho_i)} (C(i)_a^2 + C(i)_t^2) g(C(i)_a^2, C(i)_t^2, \rho_i), \quad (2.10)$$

де ρ_i — навантаження, що надходить на i -й вузол, $i \in M$ (множина вузлів системи масового обслуговування),

C_a — коефіцієнт варіації інтервалів між заявками (пакетами),

C_t — коефіцієнт варіації часу обслуговування.

Інтенсивність навантаження розраховується як добуток кількості заявок за одиницю часу на середній час обслуговування у вузлі:

$$\rho = \lambda \bar{t} \quad (2.11)$$

Прийнявши до уваги, що розрахунок часу затримки виконується для одного ділянки мережі, можна не вказувати номер вузла, для якого отримуються значення.

$$g(C_a^2, C_t^2, \rho) = \begin{cases} e^{-\frac{2(1-\rho)(1-C_a^2)^2}{3\rho(C_a^2+C_t^2)}}, & C_a^2 \leq 1 \\ e^{-(1-\rho)\frac{(C_a^2-1)^2}{C_a^2+4C_t^2}}, & C_a^2 > 1 \end{cases} \quad (2.12)$$

Виконаємо розрахунок моделі з використанням мережевої технології 10 Gigabit Ethernet, яка забезпечує швидкість передачі даних 10 Гбіт/с, що відповідає піковій швидкості в мережах 5G. Крім того, отримуються результати для пікової швидкості 1 Гбіт/с, характерної для технології 4G. На практиці мережі 4G і 5G демонструють нижчі швидкості — відповідно 15 Мбіт/с та 100 Мбіт/с.

За стандартами Ethernet мінімальний розмір кадру становить 64 байти, а максимальний — 1518 байт (заголовок 18 байт + дані 1500 байт). При розробці нових стандартів Ethernet розмір кадру залишився незмінним, щоб уникнути фрагментації та необхідності збирати кадри з частин.

Розглядаючи перелік телемедичних послуг, очевидно, що розміри переданих пакетів відрізнятимуться від певного константного значення. Оскільки потрібно оцінити залежність затримки на очікування від інтенсивності трафіку, коефіцієнта варіації інтервалів між пакетами та коефіцієнта варіації часу обслуговування, за довжину кадру використано середнє значення вибірки, отриманої при захопленні трафіку за допомогою середовища Wireshark протягом 21345,85 секунд, яке дорівнює 755 байт.

Результати побудованих графіків наведені на рисунках 2.1 та 2.2, при цьому вихідні дані відрізняються лише швидкістю передачі.

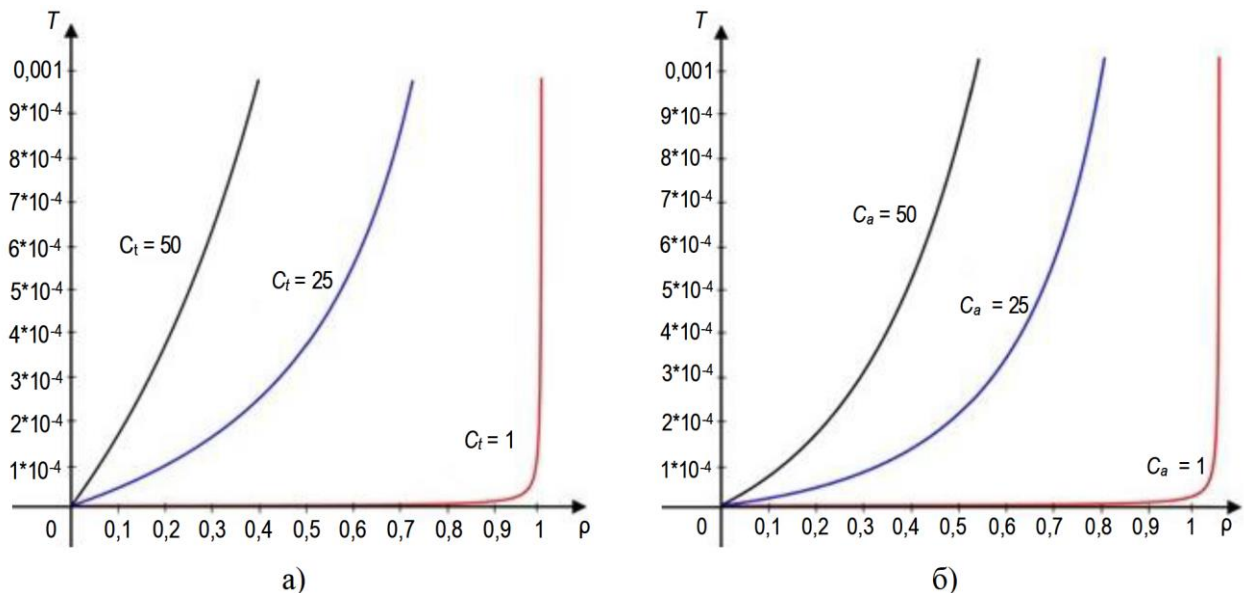


Рисунок 2.1 – Залежність затримки від інтенсивності трафіку та коефіцієнта варіації тривалості обслуговування та коефіцієнта варіації потоку при швидкості передачі 10 Гбіт/с

Проаналізувавши графіки, можна зробити наступні висновки:

Затримка очікування значною мірою залежить від коефіцієнта варіації тривалості обслуговування, що спостерігається незалежно від швидкості передачі даних. При однакових показниках інтенсивності навантаження затримка очікування збільшується особливо при зростанні. Значення затримки при різних швидкостях передачі, але однакових коефіцієнтах варіації (потоку) і

(обслуговування), пропорційні швидкостям передачі. Враховуючи, що відстань від точки доступу до користувача значно менша за довжину лінії зв'язку, можна припустити, що домінуючим чинником при поширенні сигналу є час його поширення по лінії.

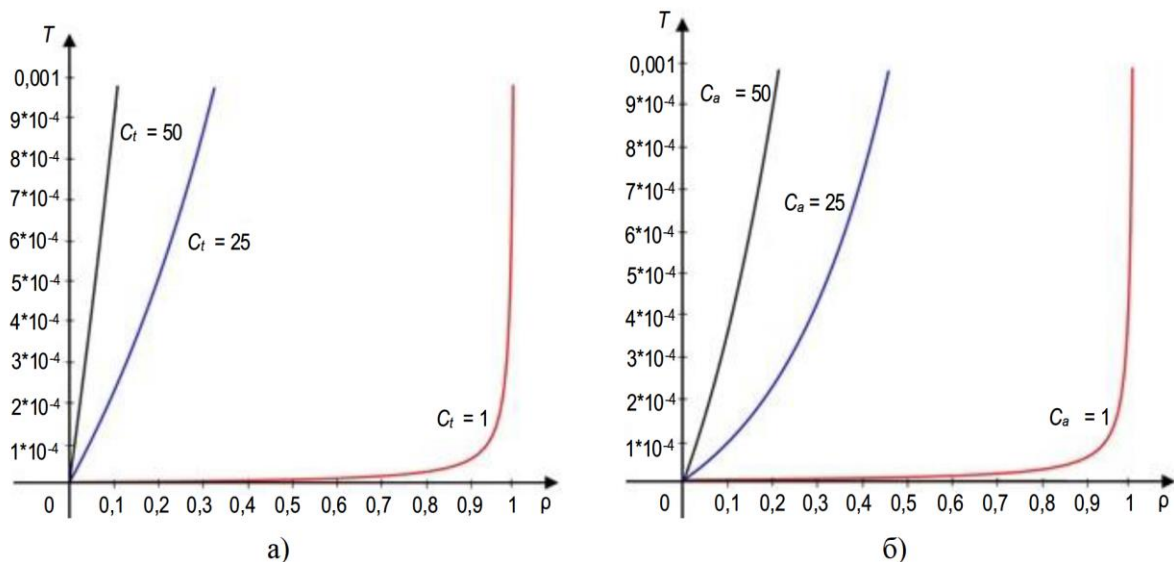


Рисунок 2.2 – Залежність затримки від інтенсивності трафіку та коефіцієнта варіації тривалості обслуговування та коефіцієнта варіації потоку при швидкості передачі 1 Гбіт/с

Оскільки область надання послуг можна описати радіусом, який визначається часом поширення сигналу, а отже й відстанню, виникає можливість визначити граничні розміри кластера. На підставі викладеного вище слід виділити окреме завдання — оцінити залежність визначення меж кластера від щільності населення на розглядуваній території, тобто від інтенсивності трафіку. Необхідно проаналізувати, як визначається відстань від точки надання послуг до точки доступу на територіях із різною інтенсивністю запитів та величиною затримок через очікування. Крім того, слід врахувати, що через різноманіття надаваних телемедичних послуг відрізняються й вимоги до допустимих величин затримки, а також важливо зберігати якість надання послуг при виборі методів організації структури мережі.

2.3 Висновки до розділу 2

Розглянуто вимоги до мереж телемедицини з позиції якісних показників та характеристик медичних даних для реалізації першого набору телемедичних послуг. Запропоновано варіант використання телемедичних робочих станцій як точок надання послуг залежно від переліку надаваних сервісів.

На основі мережевої моделі з загальним довільним розподілом інтервалів надходження заявок та іншим загальним довільним розподілом часу обслуговування пакетів на довільному сегменті мережі отримано залежність затримки від інтенсивності трафіку та тривалості обслуговування пакетів для першого набору телемедичних послуг у мережах п'ятого та наступних поколінь.

Підтверджено необхідність розробки алгоритму кластеризації території з урахуванням щільності населення, параметрів якості надання телемедичних послуг та вимог до ультрамалих затримок.

З МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРУ ЦИФРОВОГО КЛАСТЕРА НА ОСНОВІ ЩІЛЬНОСТІ НАСЕЛЕННЯ

3.1 Вибір параметрів кластеризації з урахуванням щільності населення на відповідній території

У таких напрямках телемедицини, як теле навчання або теле консультації для супроводу медичних операцій, до послуг висуваються підвищені вимоги щодо значень затримки, оскільки від швидкості реагування сторони, що супроводжує процес, та повноти інформації залежить людське життя і успішність проведення лікувальних процедур. Через підвищені вимоги до величини затримки в мережах зв'язку з ультранизами затримками, які також можуть бути використані для надання телемедичних послуг, виникає необхідність змін у структурі мережі — зокрема, передбачити максимально наближене розташування точок надання послуг або телемедичних пунктів і центрів до користувачів.

Реалізація такого підходу можлива завдяки організації локальних хмарних сервісів, елементи яких розміщені максимально близько до користувачів, що забезпечує відповідність вимогам щодо часу доставки даних.

Як зазначено в роботах [24, 25], створення подібної структури пов'язане з розв'язанням задачі кластеризації території так, щоб кластери максимально ефективно об'єднували користувачів. Відповідно, розміри кластерів можуть варіюватися залежно від щільності населення на розглянутій території. Припускаючи, що форма кластерів — коло, доцільно розміщувати у його центрі точки надання послуг. Самі алгоритми кластеризації різняться за складністю: від менш ефективних з участю проектувальника у визначенні кількості кластерів до автоматизованих, але ресурсомістких рішень.

Фізично зв'язок між точками надання телемедичних послуг — телемедичними центрами — та елементами кластера організовується за допомогою кабельних ліній, від довжини яких значною мірою залежить затримка поширення сигналу. У більшості випадків довжина лінії зв'язку перевищує

відстань по прямій між точками. У розділі запропоновано метод кластеризації, що враховує розподіл користувачів на території та щільність населення у населених пунктах, де необхідно надання телемедицини послуг. Таким чином, метою є представлення нового підходу для оцінки взаємозв'язку щільності користувачів та розмірності цифрових кластерів.

Для вибору оптимальних позицій розміщення точок надання послуг пропонується застосувати удосконалену модифікацію одного з найбільш поширених методів кластеризації — методу C-means. Основна ідея даного підходу полягає у використанні концепції нечітких множин, що передбачає не жорстке закріплення об'єктів за певними кластерами, а визначення ступеня їх належності до кожного з кластерів. Такий підхід забезпечує гнучкість при класифікації об'єктів, зокрема у випадках, коли об'єкти знаходяться на межі кількох кластерів.

На початковому етапі алгоритму випадковим чином генерується матриця кластерного розбиття або задаються початкові координати центрів кластерів [26]. Далі запускається ітераційний процес, що включає оновлення координат центроїдів кластерів та перерахунок значень матриці належності. Процес кластеризації вважається завершеним у разі, коли модуль різниці значень цільової (вирішувальної) функції на поточній та попередній ітераціях стає меншим за задане значення порогу зупинки ε (3.1).

$$|F - F^*| < \varepsilon, \quad (3.1)$$

де F — значення цільової функції, обчислене на попередній ітерації, а F^* — значення, отримане на поточному кроці.

Основним обмеженням методу C-means є його схильність до некоректного кластерного розбиття у випадках, коли спостерігається неоднорідна дисперсія даних уздовж різних осей [27]. Цю особливість необхідно враховувати при модифікації алгоритму, запропонувавши відповідне вдосконалення, яке дозволить підвищити точність кластеризації за таких умов. Слід також

зазначити, що розміщення елементів відносно меж кластерів значною мірою залежить від кількості об'єктів у кожному кластері. При цьому в умовах реального розгортання мережі відстань між центроїдами та об'єктами не завжди відповідає евклідовій метриці, оскільки фактична протяжність визначається конфігурацією маршрутів прокладання кабельної інфраструктури.

Окрім територіальних та географічних характеристик зон кластеризації, у процесі організації системи надання телемедичних послуг доцільно враховувати щільність населення як один з ключових критеріїв. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки методу визначення розмірів кластерів із урахуванням густоти населення в регіонах, на території яких планується розгортання мережевої інфраструктури. Отже, мета дослідження полягає у створенні методу вибору параметрів кластеризації з урахуванням щільності населення на відповідній території.

3.2 Планування території проєктованих цифрових кластерів

З метою оцінювання залежності затримки від розміру кластера приймемо інтенсивність трафіку λ_0 як сталу величину, що дорівнює 0,01 пакетів/с. Обрана інтенсивність не відображає реальну ситуацію під час надання конкретної послуги, однак може бути використана для аналітичного дослідження впливу радіуса цифрового кластера на затримку передачі. Припустимо, що до часу доставки повідомлення висувається вимога, згідно з якою затримка τ не повинна перевищувати певного порогового значення τ . У цьому випадку середній час очікування в системі масового обслуговування (СМО) визначається залежно від інтенсивності навантаження ρ , коефіцієнта варіації міжприхідного інтервалу та коефіцієнта варіації часу обслуговування. Таким чином, затримку можна виразити як функцію радіуса цифрового кластера, що дозволяє оцінити вплив просторових параметрів інфраструктури на якість обслуговування.

$$\tau = \bar{t} + \bar{t}(p, C_a, C_t) + t_p, \quad (3.2)$$

де τ — середній час передавання, w — середній час очікування, t_p — час розповсюдження сигналу.

Інтенсивність навантаження може бути розрахована на основі формули (2.11) з урахуванням радіуса цифрового кластера:

$$\rho = \lambda_0 \pi R_{S-A}^2 \eta, \quad (3.3)$$

де λ_0 — інтенсивність заявок, яка генерується одним користувачем; η — щільність користувачів на території (осіб/м²); πR_{S-A}^2 — площа покриття мережі цифрового кластера.

Із підвищенням значення параметрів до рівня, при якому інтенсивність навантаження прямує до одиниці, спостерігається значне зростання затримки. Це пояснюється залежністю середнього часу очікування w від інтенсивності навантаження ρ , відповідно до виразу (3.2). Зі збільшенням радіуса кластера затримка також зростає, що спостерігається при різних початкових умовах. Таким чином, при моделюванні телекомунікаційних мереж з високими вимогами до якості надання послуг доцільно враховувати не лише затримку, але й щільність населення, яка безпосередньо впливає на інтенсивність генерування запитів [28].

Припустимо, що кількість пристроїв у межах одного кластера не менша за кількість жителів на відповідній території, що потрапляє в радіус його покриття. Такий сценарій є реалістичним за умови, що всі мешканці користуються пристроями для взаємодії з іншою стороною (наприклад, зі спеціалістом у разі телеконсультації, з лектором при дистанційному навчанні, або з вузлом обробки даних у системі телемоніторингу). Більш того, в окремих випадках кількість пристроїв на одну особу може перевищувати одиницю. З урахуванням того, що кількість пристроїв, підключених до мережі Інтернет, вже перевищує кількість населення, а сучасні вимоги до телекомунікаційних систем передбачають забезпечення щільності підключення на рівні 1 мільйон пристроїв на 1 км²,

вищезазначене припущення є цілком обґрунтованим. Таким чином, можна стверджувати, що

$$N_p \geq N_e, \quad (3.5)$$

де N_p — кількість жителів, N_e — кількість елементів (пристроїв) у кластері.

При цьому справедливим є твердження, що щільність елементів кластера не перевищує щільності населення на відповідній території.

$$\frac{N_e}{S} \leq \frac{N_p}{S} \quad (3.6)$$

Оскільки під час кластеризації необхідно враховувати щільність розташування елементів, доцільно модифікувати обраний алгоритм C-means. Такий підхід дозволить не лише підвищити якість кластерного поділу, але й збільшити ефективність щільнісних методів кластеризації. Для розв'язання задач кластеризації вхідних даних, що характеризуються високим рівнем шумів і завад, ефективним у практиці машинного навчання та інтелектуального аналізу даних виявився алгоритм DBSCAN, що ґрунтується на визначенні відстаней між точками. Його ключовою особливістю є здатність формувати кластери довільної форми без обмеження на сферичність структури результатів.

Під час розробки нового підходу пропонується використати припущення про те, що щільність елементів усередині кластера є вищою за щільність за його межами, а також враховувати, що щільність у зонах із шумами нижча за щільність у будь-якому з кластерів. Це дозволяє підвищити завадостійкість алгоритму до варіативних вхідних даних. Для кожної точки передбачається обмеження кількості сусідніх точок у межах заданого радіуса і мінімальної кількості точок MinPts в околі. Це забезпечує можливість адаптації кластеризації до різних вимог щодо якості обслуговування під час вибору точок надання послуг.

Значення параметра MinPts рекомендується обирати більшим за кількість ознак у наборі даних; чим більш неоднорідними є вхідні дані та вищим є рівень шуму, тим більшим має бути обране значення. Для визначення оптимального значення параметра є доцільно використовувати графік К-відстаней, який відображає впорядковані за зростанням середні відстані до MinPts-кількості найближчих сусідів для кожної точки. Оптимальне значення є визначається в точці максимальної кривизни графіка.

Нижче наведено два псевдокоди, які демонструють:

1. (а) Поліпшений алгоритм кластеризації на основі DBSCAN
2. (б) Алгоритм C-means (Fuzzy C-means)

Обидва алгоритми мають свої унікальні стратегії групування даних. У випадку (а) ми підійшли до проблеми через адаптивну зміну параметра ϵ , що дозволяє врахувати локальну змінність щільності даних, а (б) демонструє нечіткий метод кластеризації, де кожна точка може належати до декількох кластерів з різною степенем приналежності.

(а) Поліпшений алгоритм кластеризації на основі DBSCAN (Adaptive DBSCAN)

Ідея: Класичний алгоритм DBSCAN визначає кластери через фіксований радіус ϵ та мінімальну кількість точок (MinPts) для утворення ядра кластера. У цьому модифікованому підході ми вводимо адаптивний вибір ϵ для кожної точки, що базується на відстані до k -го найближчого сусіда (де $k = \text{MinPts}$). Таке рішення дозволяє підлаштовуватись під локальні особливості розподілу даних, мінімізуючи проблеми занадто жорсткого або ж, навпаки, надто розмитого порогу. Псевдокод:

Вхід:

- X - набір даних
- MinPts - мінімальна кількість точок для утворення ядра
- λ - масштабуючий параметр (наприклад, 1.0) для адаптивного ϵ
- δ - поріг для повторного перебору (якщо використовуємо повторну обробку шумів)

Крок 1. Адаптивне обчислення ε для кожної точки:

Для кожної точки $p \in X$:

- Обчислити $d_k(p)$: відстань до k -го (де $k = \text{MinPts}$) найближчого сусіда
- Визначити локальний ε для p : $\varepsilon_p = \lambda \cdot d_k(p)$

Крок 2. Позначення точок як ядрових або неядрових:

Для кожної точки $p \in X$:

- Обчислити $N(p) = \{q \in X : \text{відстань}(p, q) \leq \varepsilon_p\}$
- Якщо $|N(p)| \geq \text{MinPts}$, позначити p як ядрову точку; інакше – як

пограничну або потенційний шум

Крок 3. Формування кластерів:

Позначити всі точки як непроаналізовані

Ініціалізувати $\text{cluster_label} = 0$

Для кожної точки p , яка ще не проаналізована:

Якщо p є ядровою:

- Збільшити cluster_label на 1
- Призначити p кластеру cluster_label
- Ініціалізувати чергу Q з точкою p
- Доки Q не порожня:
 - Витягнути точку r із Q
 - Для кожного $q \in N(r)$:
 - Якщо q не проаналізована, призначити q той же cluster_label
 - Якщо q є ядровою, додати її до Q

Інакше:

- Позначити p як шум (але в опційній стадії можна перевірити, чи не варто її переозначити)

Крок 4. (Опційно) Перевизначення шуму:

Для кожної точки, позначеної як шум:

- Якщо існує кластер, де відстань від точки до одного з його ядрових точок менша за адаптивний поріг, то перевизначити її як член цього кластера.

Вихід:

- Призначення кластера для кожної точки у X

Переваги підходу:

- Адаптивність: Локально налаштований ϵ дозволяє ефективно виділяти кластери навіть при неоднорідному розподілі даних.
- Стійкість: Можливість повторної обробки «шумових» точок дозволяє відновити дані, які могли бути помилково позначені як шум.
- Гнучкість: Підбір масштабуючого параметра λ дозволяє підлаштувати алгоритм під специфіку конкретного набору даних.

(б) Алгоритм C-means (Fuzzy C-means)

Ідея: Алгоритм Fuzzy C-means (FCM) – це метод нечіткої кластеризації, за якого кожній точці даних надається ступінь приналежності до кожного з кластерів (значення від 0 до 1). Такий підхід є вигідним у випадках, коли дані не мають чітких меж між кластерами, коли важливо зафіксувати перекривання або невизначеність у даних.

Псевдокод:

Вхід:

- X - набір даних $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$
- c - кількість кластерів
- m - параметр нечіткості ($m > 1$, зазвичай 2)
- ϵ - поріг для зупинки (маленьке число, напр. 10^{-5})
- $\max_iter$ - максимальна кількість ітерацій

Крок 1. Ініціалізація:

- Згенерувати випадкову матрицю приналежності $U = [u_{ij}]$ розміру $(n \times c)$, так що для кожного i : $\sum_j u_{ij} = 1$

Крок 2. Ітеративне оновлення:

Для $iter = 1$ до $\max_iter$:

а. Обчислення центрів кластерів:

Для кожного кластера j ($1 \leq j \leq c$):

$$v_j = (\sum_{i=1}^n (u_{ij}^m \cdot x_i)) / (\sum_{i=1}^n u_{ij}^m)$$

б. Оновлення матриці приналежності:

Для кожної точки x_i ($1 \leq i \leq n$) і кожного кластеру j ($1 \leq j \leq c$):

$$u_{ij} = 1 / [\sum_{k=1}^c ((\|x_i - v_j\| / \|x_i - v_k\|)^{2/(m-1)})]$$

с. Обчислити максимальну зміну в U між поточною та попередньою ітераціями.

Якщо максимальна зміна $< \epsilon$, завершити ітерації.

Крок 3. Вихід:

- Матриця приналежності U та координати центрів кластерів $\{v_1, v_2, \dots, v_c\}$

Переваги FCM:

- Гнучкість: М'яке розподілення приналежності дозволяє більш точно відобразити невизначеність при кластеризації.

- Адаптивність: Параметр нечіткості m можна регулювати для оптимізації чутливості алгоритму до розмивання меж між кластерами.

- Застосування: Широко використовується у сегментації зображень, аналізі медичних даних та інших галузях, де межі між класами невизначені.

Обидва алгоритми демонструють підхід до кластеризації з різними акцентами:

- Adaptive DBSCAN підходить для задач із нерівномірною щільністю, де важливо оперативно визначати локальну структуру даних.

- Fuzzy C-means ефективний, коли потрібне відображення ступеня приналежності точок до кластерів, що забезпечує додаткову інформацію про невизначеність даних.

DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) — це алгоритм, що базується на щільності даних. Він ідентифікує кластери як області, де точок достатньо багато (висока щільність), що розділені областями з низькою щільністю (шум).

Основні поняття алгоритму:

- Ядрова точка: Точка, в ϵ -околиці якої міститься не менше ніж `minPts` точок (враховуючи саму точку). Такі точки застосовуються для формування кластерів.

- Погранична точка: Точка, яка не відповідає критерію ядрової точки, але знаходиться в ϵ -околиці від ядерної точки.

- Шум: Точки, які не входять в жоден кластер; вони не є ні ядровими, ні пограничними точками.

Алгоритм працює наступним чином:

1. Для кожної точки з даних перевіряється її ϵ -околиці (функція `region_query`), де збираються всі сусідні точки.

2. Якщо кількість точок в ϵ -околиці менша за `minPts`, точка позначається як шум.

3. Якщо точка є ядровою, створюється новий кластер. Потім алгоритм розширює цей кластер, послідовно додаючи до нього всі точки, що знаходяться в ϵ -околиці від уже віднесених до кластеру точок.

4. Якщо певна точка спочатку позначена як шум, але пізніше знаходиться в ϵ -околиці ядрової точки, вона переназначається до відповідного кластеру.

Приклад коду на Python

```
import numpy as np

def region_query(X, point_idx, eps):
    """
```

Функція для знаходження всіх точок, що знаходяться в радіусі `eps` від точки `X[point_idx]`.

Параметри:

`X` - набір даних (numpy array), де кожен рядок є точкою.

`point_idx` - індекс точки, для якої шукаємо сусідні точки.

`eps` - радіус пошуку (ϵ).

Повертає:

`neighbors` - список індексів точок, що знаходяться в радіусі `eps` від точки `X[point_idx]`.

```

"""
neighbors = []
for idx, point in enumerate(X):
    if np.linalg.norm(X[point_idx] - point) <= eps:
        neighbors.append(idx)
return neighbors
def dbscan(X, eps, min_pts):

```

```

"""

```

Реалізація алгоритму кластеризації DBSCAN.

Параметри:

`X` - набір даних (numpy array), де кожен рядок є точкою.

`eps` - радіус ϵ для визначення околиці.

`min_pts` - мінімальна кількість точок, щоб точка вважалася ядровою.

Повертає:

`labels` - список міток кластерів для кожної точки; -1 означає, що точка віднесена до шуму.

```

"""

```

```

n_points = len(X)
labels = [-1] * n_points # Початково всі точки не належать до жодного
кластеру
visited = [False] * n_points # Позначення, чи була точка відвідана
cluster_id = 0
for i in range(n_points):
    if visited[i]:
        continue
    visited[i] = True
    neighbors = region_query(X, i, eps)
    # Якщо кількість сусідів менша за min_pts, позначаємо точку як шум
    if len(neighbors) < min_pts:
        labels[i] = -1

```

```

else:
    # Створюємо новий кластер
    labels[i] = cluster_id
    seeds = neighbors.copy()
    # Видаляємо і як вже оброблену точку
    if i in seeds:
        seeds.remove(i)
    # Розширюємо кластер
    while seeds:
        current_point = seeds.pop(0)
        if not visited[current_point]:
            visited[current_point] = True
            new_neighbors = region_query(X, current_point, eps)
            if len(new_neighbors) >= min_pts:
                # Додаємо нових сусідів до списку seeds
                for n in new_neighbors:
                    if n not in seeds:
                        seeds.append(n)

        # Якщо точка ще не належить жодному кластеру (або була раніше
        # позначена як шум)
        if labels[current_point] == -1:
            labels[current_point] = cluster_id
        cluster_id += 1
    return labels

# Приклад використання
if __name__ == "__main__":
    # Приклад набору даних: 2D точки
    X = np.array([
        [1, 2],
        [2, 2],

```

```

[2, 3],
[8, 7],
[8, 8],
[25, 80]
])
# Встановлюємо параметри DBSCAN
eps = 1.5 # Радіус  $\epsilon$ 
min_pts = 2 # Мінімальна кількість точок для ядрової точки
clusters = dbscan(X, eps, min_pts)
print("Кластеризовані мітки:")
print(clusters)

```

Цей код реалізує класичний алгоритм DBSCAN.

Нижче подано покроковий опис реалізації методу кластеризації. На вхід алгоритму подається множина вихідних даних, кількість проміжних кластерів для алгоритму нечіткої кластеризації типу C-means, а також випадково вибрана частка даних з кожного кластера з метою формування нової підмножини. Результатом роботи алгоритму є набір кластерів, а також виявлені аномальні точки, які не були віднесені до жодного з кластерів.

Крок 1. Випадковим чином ініціалізуються k центрів кластерів.

Крок 2. Обчислюється матриця ступенів належності об'єктів до кожного з кластерів M .

Крок 3. Центри кластерів оновлюються, виконується повторний розрахунок ступенів належності для кожного об'єкта.

Крок 4. Обчислюється значення цільової (рішучої) функції F .

Крок 5. Якщо значення функції зменшується, повторюються кроки 2–5 до досягнення критерію зупинки, заданого параметром точності ϵ .

Крок 6. Виходячи з частки t для кожного сформованого кластера, формується нова підмножина E , при цьому зберігається відносна густина (щільність) розташування точок між регіонами множини D .

Крок 7. Вибирається довільна точка з множини E , яка ще не була розглянута, та визначається кількість її сусідів m .

Крок 8. Якщо кількість сусідів точки не менша за заданий поріг, вона вважається опорною (ядром) нового кластера. Решта точок класифікуються як: прикордонні точки кластерів; зашумлені (аномальні) точки.

У разі, якщо точка не потрапляє до жодного з кластерів, вона може бути повторно класифікована, якщо виявляється у сусідстві з іншим кластером.

Крок 9. Для кожної виявленої опорної точки її оточення включається до складу кластера. Якщо серед цих точок також є опорні, до кластера додається і їх оточення.

Крок 10. Кроки 8–9 повторюються до об'єднання всіх опорних точок з їхніми сусідами.

Крок 11. Процес поновлюється з новою точкою, яка або формує новий кластер, або позначається як зашумлена. Цикл триває до повного обходу всіх точок множини E .

Оскільки різні типи послуг мають різні вимоги до затримок передавання даних, розміри цифрових кластерів повинні адаптивно змінюватись залежно від класу обслуговування. На рисунку 3.1 наведено приклад роботи алгоритму кластеризації, у якому територія поділена на зони обслуговування трьох типів послуг з різними вимогами до якості обслуговування. У цьому прикладі окремі точки можуть одночасно забезпечувати одну, дві або всі три послуги залежно від свого просторового положення.

Варто зазначити, що в результаті кластеризації елементи були згруповані відповідно до щільності їх розташування, а також були виділені зашумлені точки, що виникли внаслідок випадкового просторового розподілу. Запропонований приклад демонструє потенційну архітектуру цифрових кластерів для мереж п'ятого покоління (5G) та наступних поколінь. У створеній моделі оптимальні значення параметрів ϵ та $MinPts$ були визначені на основі аналізу графіка K -відстаней (рисунок 3.2), а також з урахуванням того, що розглядається приклад надання трьох типів послуг.

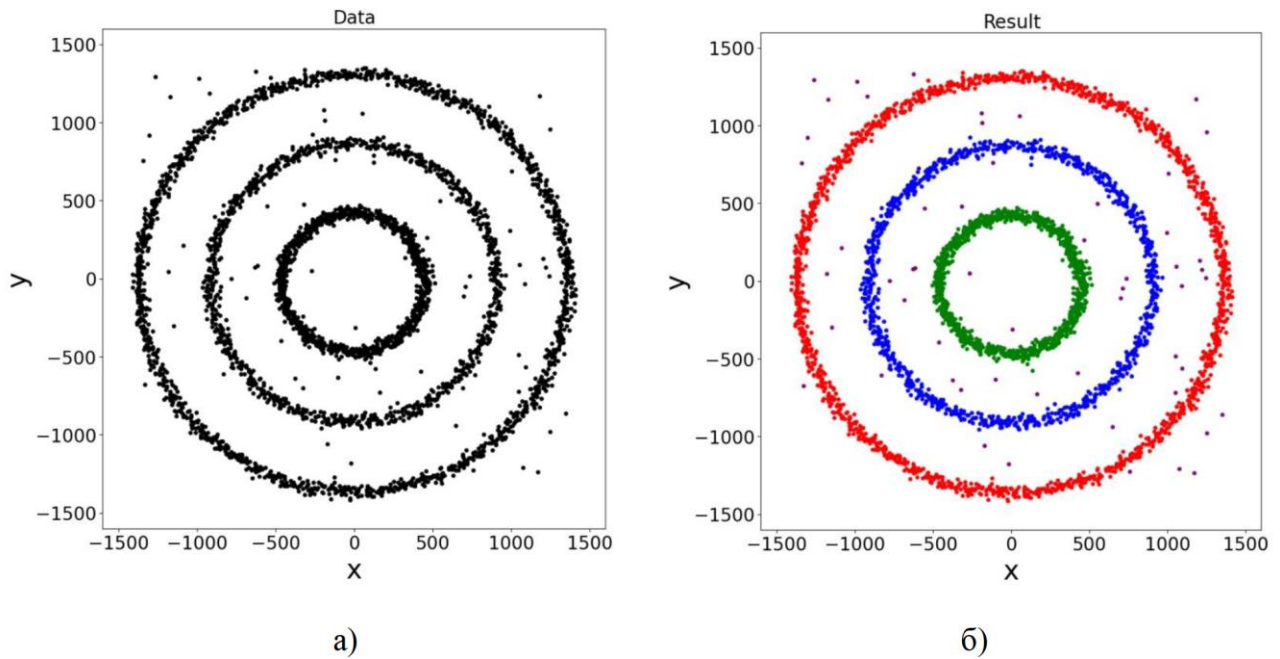


Рисунок 3.1 – Ілюстрація просторового розподілу початкових точок (а) та сформованих кластерів після застосування алгоритму (б)

Отримані значення параметрів становлять відповідно $\varepsilon = 50$ та $\text{MinPts} = 4$. Оскільки область найбільшого перегину на графіку спостерігається в інтервалі від 20 до 60, для навчання моделі було обрано значення $\varepsilon = 50$, як таке, що забезпечує найбільш чітке відокремлення кластерів.

Розглянемо альтернативну ситуацію, за якої групи користувачів розміщені на значній відстані одна від одної, а в межах кожного із кластерів надається окрема послуга з відповідними вимогами до затримки передачі даних. Припускаючи, що користувачі просторово розподілені випадковим чином, їх розташування моделюється шляхом генерації точок з ізотропних гаусівських (нормальних) розподілів. Алгоритм кластеризації було застосовано до згенерованого синтетичного набору даних.

У результаті застосування методу нечіткої кластеризації C-means було виділено п'ять кластерів (рисунок 3.3). Проте така кількість кластерів є не зовсім коректною, оскільки алгоритм не враховує відстані між центрами кластерів, що може призводити до надмірної фрагментації даних.

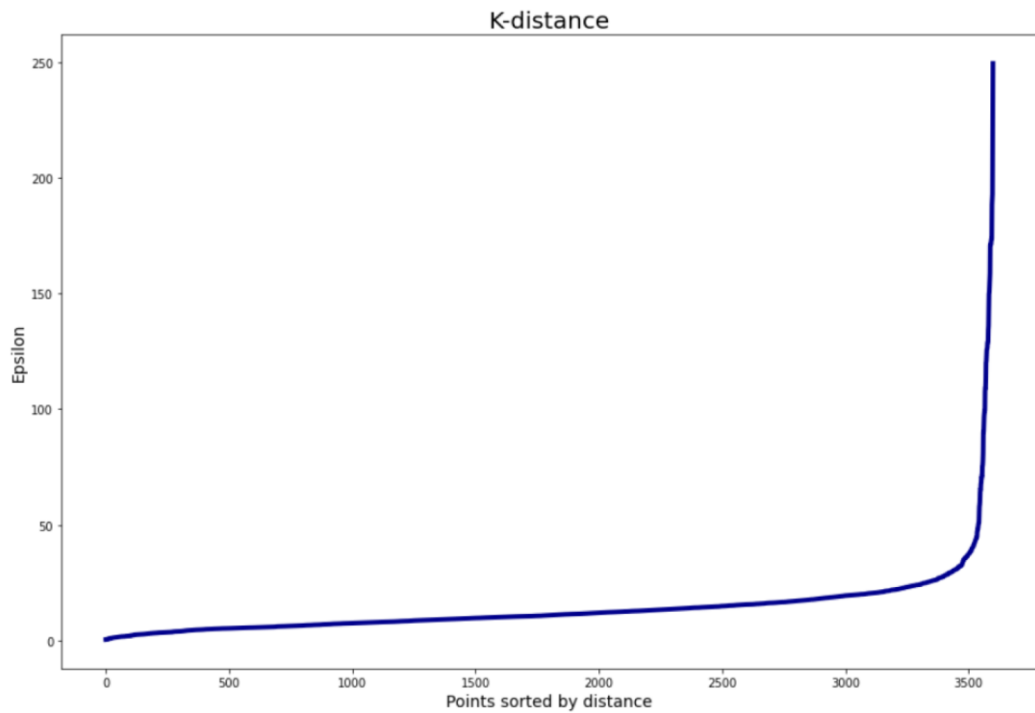


Рисунок 3.2 – Графік К-відстаней для вибору значень параметрів ϵ та MinPts при кластеризації

Запропонований метод, натомість, дозволив виокремити три кластери (рисунок 3.4) з певною кількістю точок, класифікованих як шумові. Об'єднання точок у три кластери пояснюється їх просторовою близькістю, що було враховано в межах алгоритму. Для забезпечення ефективного надання послуг, точки розміщення інфраструктурних вузлів (точок доступу або передавання) доцільно розташовувати в геометричних центрах виділених кластерів.

Алгоритм C-means має обчислювальну складність порядку $O(NKI)$, де N — кількість елементів вибірки, K — кількість кластерів, I — кількість ітерацій.

Алгоритм DBSCAN характеризується складністю $O(N^2)$, N — кількість об'єктів у вибірці.

Запропонований комплексний метод має складність $O(NKI + (tN)^2)$, де t — частка підмножини, що підлягає додатковій кластеризації, а N — загальна кількість елементів.

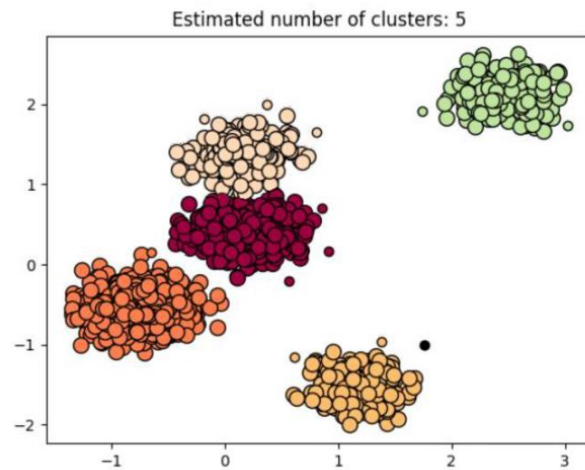


Рисунок 3.3 – Результати кластерного аналізу з використанням методу нечіткої кластеризації типу C-means

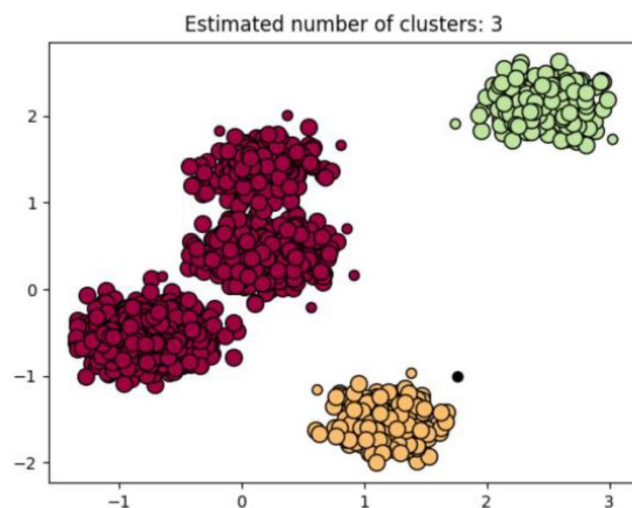


Рисунок 3.4 – Кластеризація на основі модифікованого алгоритму, розробленого в межах даного дослідження

Результати експериментальної оцінки показують, що запропонований комплексний підхід забезпечує зменшення часу виконання кластеризації щонайменше на 30% порівняно з DBSCAN, одночасно підвищуючи точність виділення кластерів у порівнянні з методом C-means. Підвищення точності досягається завдяки врахуванню щільності розміщення об'єктів у даних. Для кількісного аналізу якості кластеризації було використано Rand Index, який

дозволяє об'єктивно оцінити схожість між двома результатами кластерного поділу.

Запропонована модифікація алгоритму C-means полягає у врахуванні просторової щільності користувачів на досліджуваній території. Основною ідеєю є інтеграція етапу, заснованого на алгоритмі DBSCAN, після завершення базової кластеризації методом C-means. На цьому етапі для кожного попередньо сформованого кластера виокремлюється підмножина елементів, яка підлягає додатковій перевірці на щільність.

Для досягнення оптимального результату кластеризації необхідно ретельно підбирати параметри алгоритму DBSCAN. Зокрема, визначення радіуса околу навколо кожної точки повинно базуватися на середньому міжточковому відстані та кількості сусідніх елементів в околі.

3.3 Висновки до розділу 3

1. Для вирішення задачі поділу територій на групи з метою надання телемедичних послуг різного характеру було встановлено, що необхідно враховувати просторовий розподіл користувачів. Відтак щільність населення безпосередньо впливає на формування траєкторій прокладання ліній зв'язку.

2. На основі виконаних розрахунків для територій Північно-Західного федерального округу доведено наявності залежності між затримкою доставки даних та щільністю населення. Це підтверджує необхідність адаптації мережевої інфраструктури до характеристик просторового розміщення користувачів.

3. Запропоновано модифікацію алгоритму C-means шляхом інтеграції щільнісного методу DBSCAN, стійкого до наявності шумів у даних. Такий підхід дозволяє здійснювати гнучке налаштування вхідних параметрів, зокрема радіуса околу та кількості точок-сусідів, що визначають належність елементів до певного кластера.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Соціальна важливість охорони праці полягає у її здатності підвищувати продуктивність та якість суспільного виробництва шляхом безперервного розвитку та оптимізації умов праці. Охорона праці сприяє зміцненню загальної безпеки на робочих місцях, а також призводить до зменшення кількості виробничих травм та зниження рівня професійної захворюваності. Це, в свою чергу, позитивно впливає на соціальну стабільність та добробут суспільства, зменшуючи витрати на лікування та соціальну підтримку постраждалих. Інвестиції в охорону праці є стратегічно важливими для сталого розвитку підприємств та підвищення якості життя працівників.

Аналіз умов праці проводимо на робочому місці, де здійснювалося дослідження та аналіз методів побудови телекомунікаційних мереж інтернету медичних мереж, яке обладнане комп'ютером із відповідним програмним забезпеченням. На дослідника, відповідно до Гігієнічної класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, могли мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена чи понижена вологість повітря; підвищений рівень статичної електрики; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; недостатня освітленість робочої зони.

2. Психофізіологічні: розумове перевантаження; перенапруга аналізаторів; статичне перевантаження.

Відповідно до визначених факторів формуємо рішення щодо безпечного виконання роботи.

4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

4.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця

Приміщення, в якому проводилися дослідження на тему «Методи побудови телекомунікаційних мереж інтернету медичних мереж», за своїми габаритами (площею та об'ємом) першочергово проектувалося з урахуванням чисельності персоналу та розміщення необхідного комплексу технічного обладнання. Згідно з нормативними вимогами, зокрема НПАОП 0.00-7.15-18, мінімальна площа на одного співробітника, що працює з персональним комп'ютером, має становити не менше 6,0 м², а об'єм – не менше 20 м³. Фактична площа робочого приміщення складає 18,8 м², а його об'єм – 60,2 м³, що забезпечує на одного працівника 6,3 м² площі та 20,1 м³ повітряного простору. Таким чином, наявні показники площі та об'єму робочого приміщення не лише відповідають, але й перевищують встановлені законодавством мінімальні санітарно-гігієнічні норми, що створює сприятливі умови для праці. Забезпечення достатнього простору сприяє зниженню скупченості, покращенню повітрообміну та загальному комфорту робочого середовища.

Організація робочого місця дослідника та взаємне розташування його компонентів спроектовані з урахуванням антропометричних, фізичних та психологічних критеріїв, визначених ДСТУ 8604:2015. Важливим фактором при цьому є специфіка виконуваної роботи. Зокрема, при облаштуванні робочого простору було забезпечено: оптимальне розміщення необхідного обладнання та достатній вільний простір, що дозволяє працівнику виконувати всі потрібні рухи та переміщення без обмежень.

Рациональне планування робочого місця передбачає чіткий порядок і сталість розміщення предметів, засобів праці і документації. Те, що потрібно для виконання робіт частіше, розташоване в зоні легкої досяжності робочого простору. Основні вимоги щодо роботи на ПК включають такі аспекти:

- заборонено залишати комп'ютери та їхні пристрої без нагляду;

- підключати і відключати роз'єми кабелів пристроїв ПК лише при вимкненій напрузі, щоб уникнути нещасних випадків;
- перед включенням пристроїв та окремих блоків ПК необхідно переконатися у надійності кріплення провідників заземлення, справності кабелів і роз'ємів електричної мережі;
- у разі виявлення запаху горілого в пристроях ПК негайно вимкнути обладнання, не включати його повторно та звернутися до спеціаліста для технічного обслуговування;
- для запобігання порушень і підтримання працездатності, дотримуватися графіку перерв для відпочинку під час роботи на ПК. Необхідно передбачити короткі перерви для відпочинку кожні 40-45 хвилин роботи за дисплеєм. Загальний час, проведений за монітором, не повинен перевищувати 4 години на день та 20 годин на тиждень.

Зазначені вимоги розроблені з метою забезпечення збереження здоров'я та створення комфортних умов для працівника під час виконання дослідження, а також для мінімізації потенційних ризиків та негативних наслідків для його самопочуття.

4.1.2 Електробезпека приміщення

Приміщення із робочими місцями користувачів комп'ютерів для забезпечення електробезпеки обладнання, а також для захисту від ураження електричним струмом самих користувачів ПК повинні мати достатні технічні засоби захисту відповідно до ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Категорія приміщення з електробезпеки – без підвищеної небезпеки, згідно ПУЕ.

Електроживлення приладів, периферійного обладнання персональних комп'ютерів, а також устаткування, призначеного для їх обслуговування, ремонту та налагодження, забезпечується окремою груповою трипровідною електромережею, що включає фазний, нульовий робочий та нульовий захисний

провідники. Нульовий захисний провідник використовується для здійснення заземлення (занулення) електроспоживачів.

Персональні комп'ютери, периферійні пристрої, обладнання для їх обслуговування, ремонту та налагодження, а також інше електротехнічне обладнання, включаючи апарати керування, контрольно-вимірювальні прилади, світильники тощо, повинні відповідати класу зони, визначеному Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), та бути оснащені справною апаратурою захисту від струмів короткого замикання та інших нештатних режимів роботи. Під час монтажу та експлуатації електричних мереж необхідно вжити вичерпних заходів для повного виключення можливості виникнення електричного джерела займання внаслідок короткого замикання або перевантаження провідників. Рекомендується мінімізувати використання проводів з легкозаймистою ізоляцією, віддаючи перевагу, де це технічно можливо, матеріалам з негорючою ізоляцією. Реалізація всіх цих заходів спрямована на гарантування безпечної експлуатації електрообладнання та запобігання виникненню пожеж і аварійних ситуацій.

Крім того, необхідно забезпечити сумісність електрообладнання та електричних мереж з системами заземлення та робочою напругою. Усі електричні провідники та кабелі підлягають обов'язковому заземленню, а контури заземлення повинні регулярно перевірятися на працездатність. Особливу увагу слід приділяти захисту від накопичення статичної електрики, що є поширеним явищем при роботі з електронними пристроями. З цією метою рекомендується застосування антистатичних матеріалів та спеціальних засобів для нейтралізації статичних зарядів.

У разі будь-яких аномалій у роботі електрообладнання або підозри на ненормальну роботу електричних систем, необхідно призупинити використання обладнання і звернутися до кваліфікованого фахівця для перевірки та усунення проблеми. Оцінка стану і роботи електроустаткування має проводитися регулярно, щоб запобігти можливим негативним наслідкам, які можуть виникнути в результаті несправності або неякісної експлуатації обладнання.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Нормування мікроклімату на робочому місці відбувається згідно ДСН 3.3.6.042-99. Робота, яка виконувалася дослідником, за енерговитратами відноситься до категорії I а (енерговитрати до 139Дж/с). Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для забезпечення відповідності параметрів мікроклімату встановленим нормативам у приміщенні реалізуються наступні заходи:

1. У холодну пору року для підтримання оптимального температурного режиму використовується централізована система парового опалення.

2. Забезпечення належних метеорологічних умов для створення комфортного робочого середовища здійснюється за допомогою інтегрованої системи кондиціонування, яка контролює та регулює температуру і вологість повітря.

3. Для підтримання нормативного рівня вологості в приміщенні організовано систематичне вологе прибирання, що включає регулярну обробку поверхонь та видалення забруднень з метою забезпечення оптимальних гігієнічних умов.

4. Проводиться постійне навчання та підвищення рівня знань персоналу щодо важливості дотримання нормативних показників мікроклімату та правильного використання систем опалення та кондиціонування для досягнення цієї мети.

4.2.2 Склад повітря робочої зони

У повітряному середовищі досліджуваного приміщення потенційно можуть бути присутні такі шкідливі речовини, як пил, вуглекислий газ та озон. Основним джерелом утворення озону є офісне обладнання. Пил проникає до приміщення переважно з зовнішнього середовища через вентиляційні системи, вікна та в процесі переміщення персоналу. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	10	4	4
Озон	0,16	0,03	1
Вуглекислий газ	3	1	4

Для мінімізації концентрації цих шкідливих речовин передбачено регулярне провітрювання приміщення, використання вискоєфективних фільтрів у системах вентиляції та кондиціонування, а також проведення систематичного вологого прибирання. Контроль рівня забруднення повітря здійснюється шляхом періодичних замірів, що дозволяє оперативно вживати необхідних заходів для підтримання безпечних гігієнічних умов праці.

4.2.3 Виробниче освітлення

У приміщенні, де здійснюється дослідження використовується штучне та природне освітлення. Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату згідно з вимогами ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення») при природному та сумісному освітленні зазначені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	750	200	7	2,5	4,2	1,5

У досліджуваному приміщенні для забезпечення належного рівня освітленості використовується комбінована система, що поєднує природне та штучне освітлення. Розташування робочих місць відносно віконних прорізів сплановано таким чином, щоб природне світло надходило збоку, переважно з лівого боку від працівника. Така орієнтація сприяє рівномірному розподілу світла на робочій поверхні та запобігає утворенню прямих відблисків, що можуть викликати зоровий дискомфорт та втому. Для компенсації недостатнього природного освітлення у вечірній час або в похмуру погоду передбачено використання системи штучного освітлення, що відповідає нормативним вимогам до рівня освітленості для даного типу робіт.

4.2.4 Виробничий шум

Шум чинить негативний вплив на організм людини, погіршуючи умови праці. Тривалий шумовий вплив може призвести до погіршення гостроти зору та слуху, підвищення артеріального тиску та зниження концентрації уваги. Інтенсивний та тривалий шум здатний викликати функціональні порушення серцево-судинної та нервової систем. Для умов виконання роботи допустимі рівні звукового тиску повинні наведені в таблиці 4.4 (згідно ДСН 3.3.6.037-99).

Таблиця 4.4 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного широкополосного шуму

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

У досліджуваному приміщенні рівень шуму знаходиться в межах допустимих нормативних значень. У випадку фіксації підвищеного рівня шуму, першочерговим заходом є виявлення та усунення або мінімізація джерела його виникнення. Для подальшого зниження рівня шуму можуть застосовуватися звукопоглинальні матеріали, що абсорбують звукові хвилі, а також оптимізація планування приміщення з метою зменшення відбиття звуку від поверхонь стін, стелі та підлоги.

4.2.5 Виробничі випромінювання

У процесі роботи з персональним комп'ютером працівник зазнає впливу електромагнітного випромінювання, яке при тривалій експозиції може становити загрозу для здоров'я. Низькочастотні електромагнітні поля, що генеруються комп'ютерним обладнанням, є основним фактором ризику, оскільки можуть спричиняти порушення фізіологічних функцій, проявляючись у вигляді головного болю, розладів сну, зниження здатності до концентрації уваги та підвищення ймовірності розвитку серцево-судинних захворювань

Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань на робочому місці наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	10В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	0,3А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати:	
для дорослих користувачів	20кВ/м
для дітей дошкільних установ і що вчаться	
середніх спеціальних і вищих учбових закладів	15кВ/м

Мінімізація впливу електромагнітного випромінювання на працівника досягається шляхом дотримання оптимального режиму праці та відпочинку. Такий режим передбачає: регулярні регламентовані перерви в роботі, активне проведення часу під час відпочинку, збалансований раціон харчування та повноцінний сон. Періодичні перерви сприяють зменшенню напруження на органи зору, шийний відділ та спину. Активний відпочинок допомагає зняти психоемоційне напруження та покращити циркуляцію крові, а збалансоване харчування та достатня тривалість сну підтримують загальний фізичний стан організму.

4.3 Пожежна безпека

Ключовим принципом запобігання пожежам є усунення умов для формування горючих або вибухонебезпечних середовищ та виникнення джерел займання. На підприємстві необхідно неухильно дотримуватися комплексу протипожежних заходів, спрямованих на попередження небезпечних ситуацій, що можуть загрожувати життю людей та призвести до матеріальних втрат. Ефективне забезпечення пожежної безпеки об'єкта базується на інтегрованій системі, що включає запобігання пожежам, протипожежний захист та

організаційно-технічні заходи. Важливим аспектом є також регулярний контроль за дотриманням цих заходів та проведення протипожежних інструктажів з персоналом. Своєчасне виявлення та усунення навіть незначних порушень може запобігти виникненню великої пожежі. Інвестиції в сучасні технології пожежної безпеки та навчання працівників є запорукою мінімізації ризиків.

4.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

Головна мета забезпечення пожежної безпеки об'єкта полягає у недопущенні виникнення пожежі відповідно до встановлених нормативних вимог, а в разі її виникнення – у локалізації її розповсюдження, оперативному виявленні та ліквідації, а також у захисті життя людей та збереженні матеріальних цінностей.

Категорія досліджуваного приміщення Д. Можливими причинами пожежі є: порушення правил експлуатації техніки; надмірне навантаження електричної мережі та перегрів проводів і з'єднань та порушення правил пожежної безпеки.

Система запобігання пожежі включає наступні заходи:

Забезпечення відсутності надмірного скупчення горючих речовин у приміщенні.

Встановлення комплексу заходів для захисту від ураження блискавкою.

Систематичний контроль стану ізоляції електромереж для підтримання її цілісності.

Організація спеціально обладнаних зон для куріння.

Періодичне проведення інструктажів та навчань з питань пожежної безпеки.

Регулярні перевірки приміщень, електромереж, обладнання та шляхів евакуації дозволяють своєчасно виявляти та усувати потенційні небезпечні фактори. Ці огляди мають проводитися відповідальними особами з відповідною кваліфікацією. Необхідно суворо дотримуватися правил експлуатації електронагрівальних приладів, забороняти використання саморобних або несправних пристроїв. Роботи з відкритим вогнем (зварювання, паяння тощо)

повинні проводитися лише за наявності спеціального дозволу та з дотриманням усіх необхідних заходів безпеки, включаючи наявність первинних засобів пожежогасіння.

Регулярні практичні тренування з евакуації та використання первинних засобів пожежогасіння допомагають працівникам правильно діяти у випадку пожежі, що сприяє збереженню їхнього життя та мінімізації збитків. Підвищення обізнаності працівників щодо правил пожежної безпеки, потенційних небезпек та їхніх обов'язків є важливим елементом профілактики.

4.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Технічні рішення системи протипожежного захисту включають активні та пасивні заходи, спрямовані на виявлення пожежі, обмеження її поширення та забезпечення безпечної евакуації людей. До них належать автоматичні системи пожежної сигналізації та пожежогасіння, вогнестійкі будівельні конструкції, протипожежні двері та перегородки, а також системи димовидалення та оповіщення про пожежу.

Після завершення робочого дня всі електроприлади та їхні мережі живлення, за винятком систем протипожежної та охоронної сигналізації, повинні бути знеструмлені. Електричні кабелі, що використовуються для підключення комп'ютерів та іншого обладнання, слід прокладати вздовж негорючих будівельних елементів. Це мінімізує ризик займання у випадку короткого замикання або перегріву проводки. Дотримання цієї вимоги є важливим елементом забезпечення пожежної безпеки приміщення у неробочий час.

Відповідно до нормативних вимог, для приміщень визначених категорій та класів пожежо-вибухонебезпеки (а саме класів пожеж А, В і Е) передбачається розміщення одного порошкового або вуглекислотного вогнегасника з масою вогнегасної речовини від 3 до 5 кг на кожні 20 квадратних метрів площі. Додатково, на кожному поверсі, де розташовані такі приміщення, необхідно забезпечити наявність не менше двох порошкових вогнегасників з масою заряду

10 кг кожен. Таке розміщення первинних засобів пожежогасіння забезпечує оперативне реагування на початкових стадіях пожежі та створює резерв вогнегасної речовини для ефективної локалізації загоряння. Дотримання цих норм є важливим елементом забезпечення пожежної безпеки об'єкта та мінімізації можливих збитків.

ВИСНОВКИ

Аналіз вимог до мереж зв'язку на горизонті планування до 2030 року дозволив виокремити концепцію мереж із ультранизькими затримками (uRLLC) як пріоритетний напрям для реалізації сервісів телеприсутності та телемедицини.

На основі аналізу наявних видів споживчих телемедичних послуг визначено найбільш перспективні напрямки застосування роботизованих систем телеприсутності. Виконано класифікацію телемедичних сервісів із розподілом за функціональними вимогами на консультаційні, моніторингові та освітні послуги.

Запропоновано архітектурні варіанти побудови телемедичних мереж за централізованою, децентралізованою схемами, а також із різними варіантами взаємопідпорядкування об'єктів, використанням сегментів LAN та WAN, розміщенням обладнання провайдера, локалізацією систем зберігання даних та рекомендаціями щодо застосування відповідних мережевих технологій.

Запропоновано алгоритм вибору параметрів телемедичної мережі, що враховує кількість населення, площу території, її географічне розташування, перелік послуг та рівень технічного забезпечення.

Розглянуто вимоги до телемедичних мереж із позиції якісних характеристик обслуговування та специфіки медичних даних. Запропоновано використання телемедичних робочих станцій як точок надання послуг залежно від функціонального призначення.

На базі моделі з довільними розподілами між прибуттям заявок та часу обслуговування кадрів отримано залежність затримки від інтенсивності трафіку та часу обслуговування для першого набору телемедичних послуг у мережах п'ятого та наступних поколінь.

Підтверджено необхідність розробки алгоритмів кластеризації території з урахуванням щільності населення, вимог до якості телемедичних сервісів та обмежень по затримці.

Встановлено, що для поділу територій на групи з метою надання телемедичних послуг доцільно враховувати просторовий розподіл користувачів, оскільки щільність населення визначає напрямки прокладення ліній зв'язку.

Запропоновано модифікацію алгоритму C-means шляхом поєднання з щільнісним методом DBSCAN, що забезпечує стійкість до шумів і дозволяє оптимально налаштовувати параметри радіусу околу та кількості сусідів для визначення приналежності елементів до кластерів.

Отримані результати можуть бути використані під час планування та проектування телекомунікаційної інфраструктури для впровадження першого етапу телемедичних послуг. Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні переліку досліджуваних параметрів мереж, розробці нових методів обробки медичних даних і тактильної інформації, що дозволить глибше вивчити особливості побудови телемедичних мереж наступних поколінь.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. I. Al Khatib, A. Shamayleh, and M. Ndiaye, “Healthcare and the Internet of Medical Things: Applications, Trends, Key Challenges, and Proposed Resolutions,” *Informatics*, vol. 11, no. 3, Art. no. 47, Jul. 2024, doi: 10.3390/informatics11030047.
2. P. Joshi, “Communication Protocols for Internet of Medical Things (IoMT),” in *Interdisciplinary Technological Advancements in Smart Cities*, Springer, Dec. 2024, pp. 285–310.
3. F. Sadoughi, “Layered Architecture for Internet of Things-based Healthcare System: A Systematic Literature Review,” *Informatica*, vol. 45, no. 4, Art. no. 3601, 2021, doi: 10.31449/INF.V45I4.3601.
4. H. Li and T. Zhang, “A Survey on Telecommunication Networks for the Internet of Medical Things,” *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 23, no. 1, pp. 58–73, 2021, doi: 10.1109/COMST.2020.3012345.
5. Y. Chen, J. Wu, and X. Liu, “Design and Development of an IoMT Network Architecture for Remote Health Monitoring,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 9, no. 6, pp. 4341–4351, Dec. 2022, doi: 10.1109/JIOT.2022.3145678.
6. K. Kumar, R. Patel, and S. Gupta, “Wireless Telecommunication Network Design for IoMT Applications in Healthcare,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, Seoul, South Korea, 2022, pp. 1123–1128.
7. L. Martinez and P. Garcia, “Optimizing Network Performance for Internet of Medical Things Applications,” *IEEE Trans. Comput. Commun. Technol.*, vol. 10, no. 4, pp. 601–610, Aug. 2023, doi: 10.1109/TCC.2023.1234567.
8. S. Ahmed and M. Hossain, “QoS-Based Design of Telecommunication Networks for IoMT,” *IEEE Trans. Netw. Serv. Manag.*, vol. 19, no. 2, pp. 320–331, Jun. 2022, doi: 10.1109/TNSM.2022.3147890.
9. J. Kim, “Secure Communication Methods for the Internet of Medical Things,” *IEEE Secur. Priv.*, vol. 20, no. 5, pp. 50–57, Sept.–Oct. 2022, doi: 10.1109/MSP.2022.3156789.

10. R. Johnson and M. Singh, "Emerging Technologies in IoMT Networks: A Focus on 5G and Beyond," in *Proc. IEEE Glob. Conf. Consumer Electron. (GCCE)*, Las Vegas, NV, USA, Jan. 2023, pp. 1–6.
11. A. Gupta, "Cross-Layer Design for Telecommunication Networks in IoMT: Challenges and Opportunities," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 78923–78934, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3234567.
12. M. Brown and L. Davis, "Integration of Cloud Computing with IoMT Networks: Architecture and Security Implications," *IEEE Trans. Cloud Comput.*, vol. 11, no. 1, pp. 150–161, Jan.–Feb. 2023, doi: 10.1109/TCC.2023.1234568.
13. P. S. Rana, "Energy-Efficient Communication Protocols for IoMT," in *Proc. IEEE Green Commun. Technol. Conf.*, Barcelona, Spain, 2021, pp. 97–102.
14. D. Rodríguez, "Machine Learning Approaches for Enhancing Telecommunication Networks in the IoMT," *IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst.*, vol. 33, no. 7, pp. 2456–2465, Jul. 2022, doi: 10.1109/TNNLS.2022.3178901.
15. S. Verma, "A Framework for Deployment of IoMT Networks in Rural Healthcare," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 18, no. 9, pp. 6412–6421, Sep. 2022, doi: 10.1109/TII.2022.3167892.
16. T. Wong and H. Zhao, "Software-Defined Networking for IoMT: Architecture and Implementation," *IEEE Trans. Network Softw. Eng.*, vol. 30, no. 3, pp. 593–603, May 2023, doi: 10.1109/TNWSE.2023.3234569.
17. L. Zhang, "Internet of Medical Things (IoMT): A Survey of Recent Developments in Network Infrastructure and Telemedicine," *IEEE Netw.*, vol. 35, no. 2, pp. 24–32, Mar.–Apr. 2021, doi: 10.1109/MNET.2021.9412345.
18. C. M. Lee and R. H. Choi, "Integration of MIMO Techniques in IoMT Networks for Enhanced Data Rates," in *Proc. IEEE Wireless Commun. Netw. Conf. (WCNC)*, 2023, pp. 890–895.
19. J. Park et al., "Adaptive Resource Allocation in IoMT Networks Based on Reinforcement Learning," *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 22, no. 5, pp. 1718–1728, May 2023, doi: 10.1109/TMC.2023.3156782.

20. R. K. Sharma, "Secure and Resilient Architectures for Telecommunication Networks in IoMT Ecosystems," *IEEE Trans. Inf. Forensics Security*, vol. 18, no. 2, pp. 567–576, Feb. 2023, doi: 10.1109/TIFS.2023.3146788.
21. F. Antonelli, "Architecture Considerations for IoMT-Enabled Telemedicine Systems," in *Proc. IEEE Int. Symp. Med. Device Commun.*, Milan, Italy, 2022, pp. 105–110.
22. M. Patel and K. Desai, "Low-Latency Communication Strategies for Emergency Medical Applications in IoMT," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 71, no. 10, pp. 5843–5852, Oct. 2023, doi: 10.1109/TCOMM.2023.3245678.
23. A. K. Singh and B. R. Jones, "Edge Computing in IoMT Networks: Design, Implementation, and Case Studies," *IEEE Internet Things J.*, vol. 10, no. 3, pp. 1873–1883, Mar. 2023, doi: 10.1109/JIOT.2023.3245679.
24. J. S. Lee, "Network Slicing for IoMT: Techniques and Practical Considerations," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN)*, 2023, pp. 75–80.
25. H. Gomez and P. Fitzpatrick, "Blockchain-Enabled Security for Telecommunication Networks in the IoMT," *IEEE Trans. Dependable Secure Comput.*, vol. 20, no. 4, pp. 2342–2351, Jul. 2023, doi: 10.1109/TDSC.2023.3245680.
26. S. Li and V. Kumar, "Design and Evaluation of a Scalable IoMT Network Architecture for Smart Healthcare," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 70, no. 6, pp. 2345–2354, Jun. 2023, doi: 10.1109/TIE.2023.3234570.
27. M. Novak and D. Chen, "A Comparative Study of Communication Protocols for IoMT Networks," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 25, no. 2, pp. 1120–1133, 2023, doi: 10.1109/COMST.2023.3245681.
28. M. R. Ali and S. H. Park, "Integration of LPWAN Technologies in IoMT Networks for Remote Patient Monitoring," in *Proc. IEEE Int. Conf. on IoT for Healthcare*, 2022, pp. 167–172.
29. G. Zhou, "Autonomous Network Management in IoMT: A Self-Healing Approach," *IEEE Trans. Commun. Manage.*, vol. 21, no. 4, pp. 654–662, 2023, doi: 10.1109/TCOMM.2023.3245682.

30. E. T. Garcia and D. R. Matthews, "Future Trends in Telecommunication Networks for the Internet of Medical Things," IEEE Internet Things J., vol. 11, no. 1, pp. 345–354, 2024, doi: 10.1109/JIOT.2024.3245683.
31. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14_nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html
32. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги - [Електронний ресурс] - http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028
33. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом- [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65395
34. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885
35. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>
36. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>
37. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php

38. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>
39. НАПБ А.01.001-14 Правила пожежної безпеки в Україні [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon.nau.ua/doc/?code=z1410-04>
40. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759
41. ДБН В.1.1.7-2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002..pdf

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
МЕТОДИ ПОБУДОВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ІНТЕРНЕТУ
МЕДИЧНИХ РЕЧЕЙ
назва бакалаврської кваліфікаційної роботи

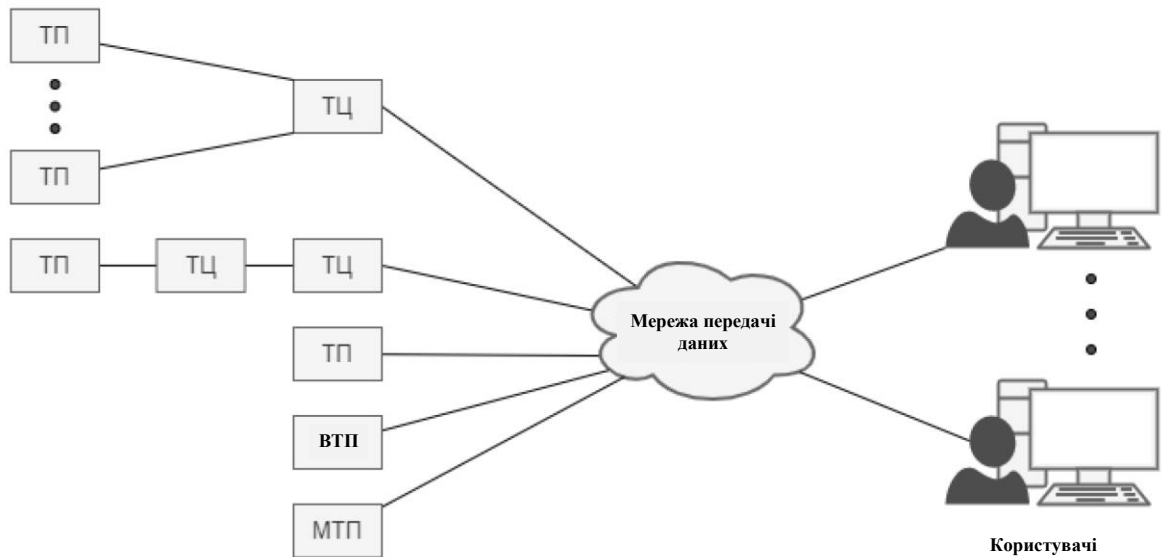


Рисунок 1 – Ієрархічна структура об'єктів телемедичної мережі

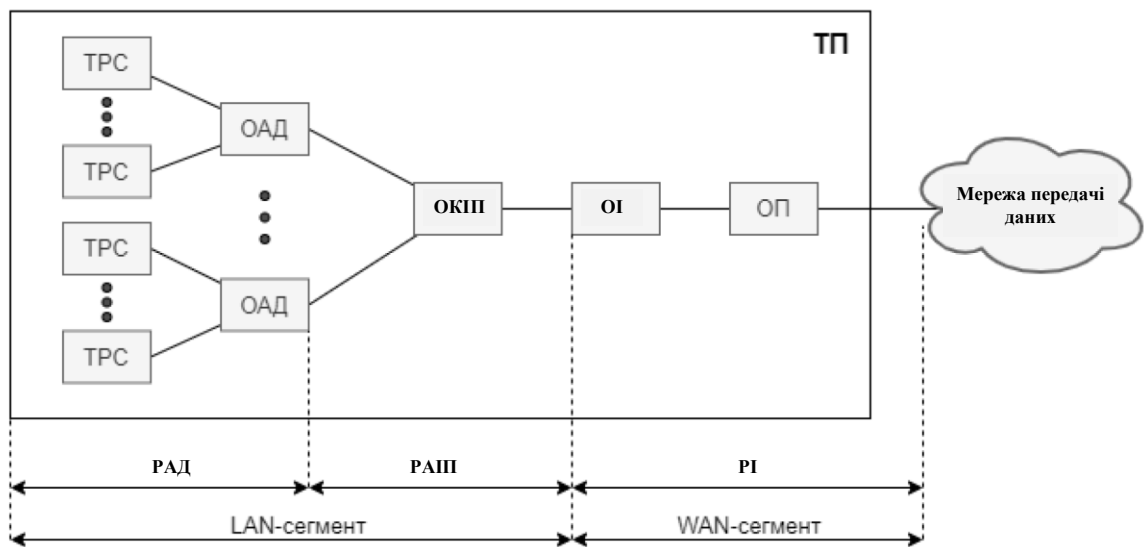


Рисунок 2 – Топологія сегменту WAN за умови розміщення обладнання провайдера на стороні телемедичної мережі

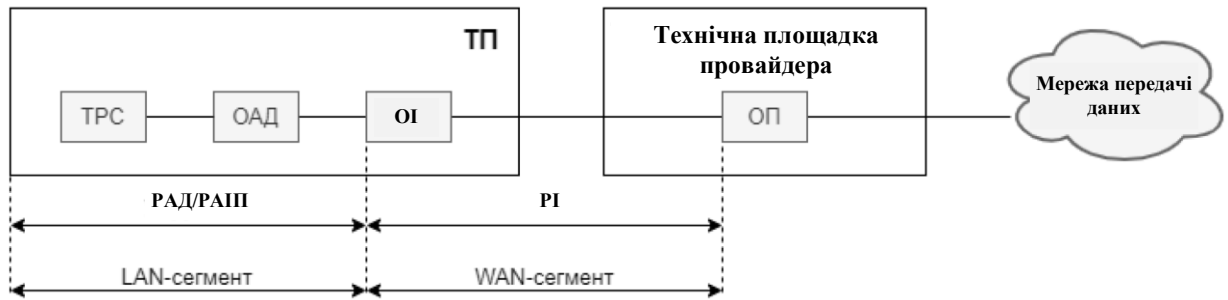


Рисунок 3 – Архітектура WAN-сегменту при розміщенні обладнання провайдера на стороні провайдера

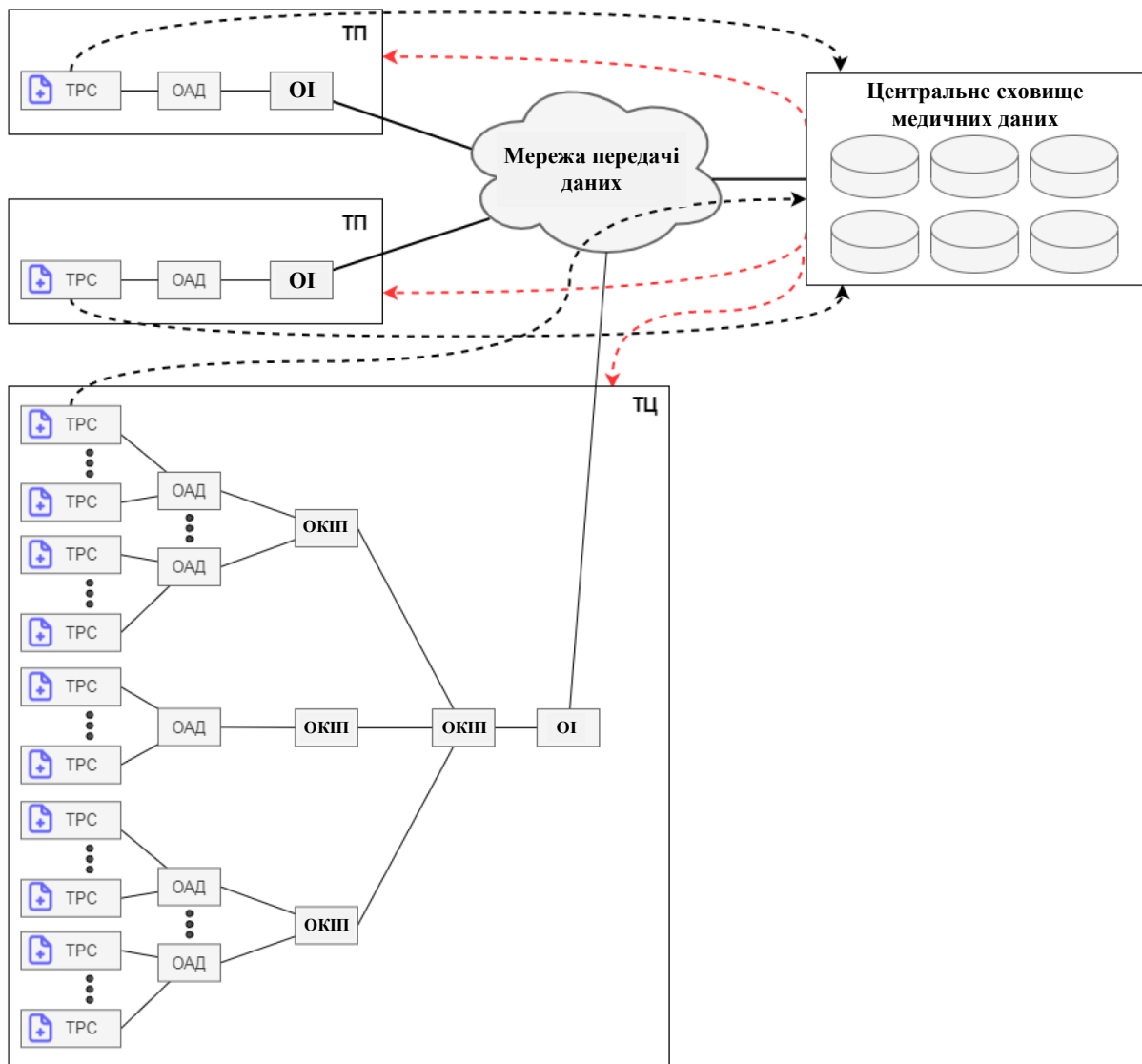


Рисунок 4 – Централізована схема побудови телемедичної мережі

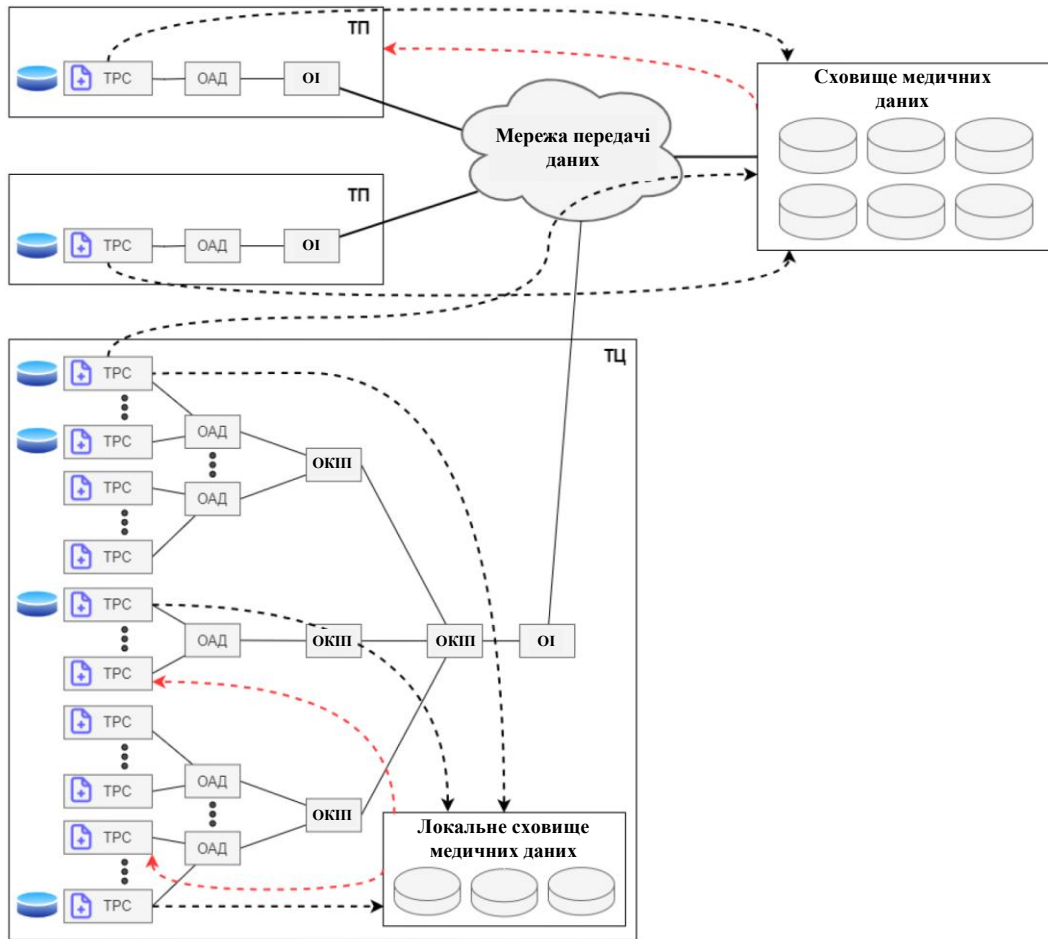


Рисунок 5 – Децентралізована схема побудови телемедичної мережі

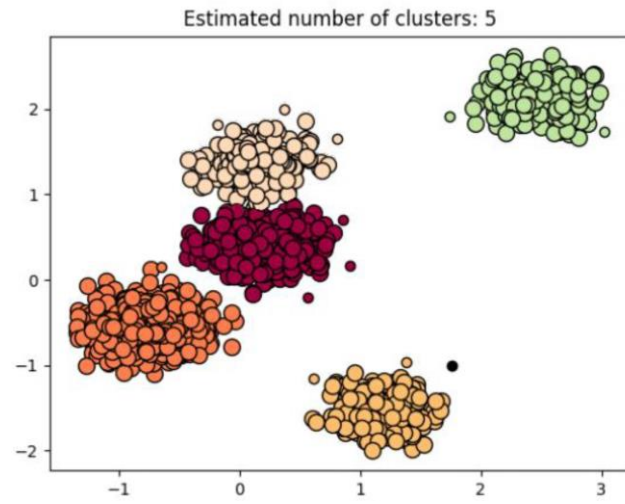


Рисунок 6 – Метод нечіткої кластеризації типу C-means

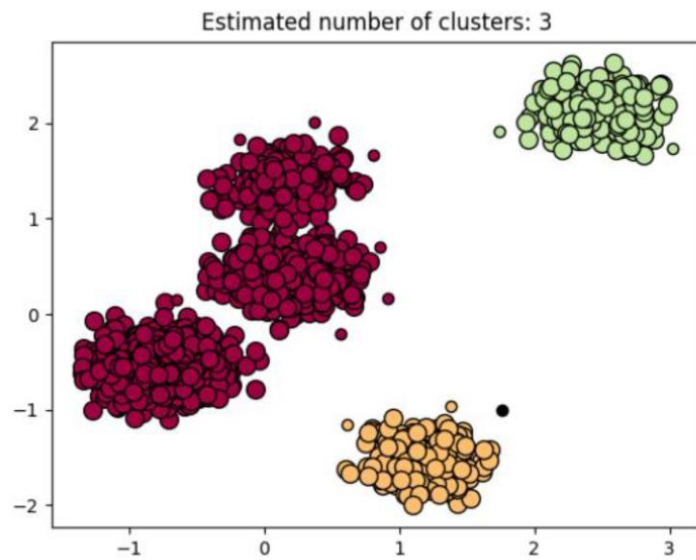


Рисунок 7 – Кластеризація на основі модифікованого алгоритму

Додаток Б

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Методи побудови телекомунікаційних мереж інтернету медичних речей

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ кафедра ІКСТ, факультет ІЕС, група ПЗТ-23мс
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 14,81 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☐ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Кичак В.М., завідувач кафедри ІКСТ

(прізвище, ініціали, посада)

Васильківський М.В., гарант ОПП

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Васильківський М.В.

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

(підпис)

Васильківський М.В., доцент кафедри ІКСТ

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач

(підпис)

Венгер І.С.

(прізвище, ініціали)