

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікації
(повна назва)

Кафедра Інформаційно-мережної інженерії
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Дослідження проблематики використання телемедицини
у сучасних умовах
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи ІМІм-20-2
Воробей К.В.

Спеціальності 172 Телекомунікації та
радіотехніка
(код і повна назва спеціальності)

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

Освітня програма Інформаційно-мережна
інженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц., к.т.н. Омельченко А.В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис)

Безрук В.М.
(прізвище, ініціали)

2022 р.

Не містить відомостей, заборонених до відкритого публікування

Студент	_____	<i>Воробей К.В.</i>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	<i>Омельченко А.В.</i>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій
(повна назва)

Кафедра Інформаційно-мережної інженерії
(повна назва)

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і повна назва)

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

Освітня програма Інформаційно-мережна інженерія
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри ІМІ _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 2022 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Студентові Вороб'ю Кирилу В'ячеславовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження проблематики використання телемедицини
у сучасних умовах

затверджені наказом університету від 14 березня 2022 року № 379 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 13 травня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

Дослідити проблематику використання телемедицини систем у сучасних умовах.

Проаналізувати альтернативні технології які можуть бути включені до складу телемедицини систем з метою покращення рівня надання медичних послуг.

Побудувати телемедицину систему на основі технології блокчейн.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

Вступ

1. Аналіз використання інфокомунікаційних технологій в сфері медицини

2. Аналіз проблем забезпечення необхідного рівня якості послуг в телемедицині

3. Дослідження інфокомунікаційних технологій, які можна застосувати в телемедицині

4. Побудова телемедицинової системи на основі технології блокчейн з використанням смарт-контрактів

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Слайди у форматі Power Point (назва, мета і задачі роботи, концепція телемедичних систем, темпи зростання ринку телемедичних систем, проблеми телемедичних систем та вимоги до якості, застосування SDN мереж у сучасних системах, технологія блокчейн та смарт-контракти, структура запропонованого рішення на основі блокчейну, реалізація смарт-контрактів та алгоритмів, тестування розробленого рішення, висновки тощо)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів атестаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення із завданням. Уточнення ТЗ	14.03.22	виконано
2	Підбір літератури за темою роботи	15.03-18.03.22	виконано
3	Виконання розділу 1	19.03-29.03.22	виконано
4	Виконання розділу 2	30.03-09.04.22	виконано
5	Виконання розділу 3	10.04-20.04.22	виконано
6	Виконання розділу 4	21.04-01.05.22	виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	09.05-11.05.22	виконано
8	Оформлення презентаційного матеріалу, підготовка до захисту у ЕК	12.05-13.05.22	виконано

Дата видачі завдання 14.03.2022 р.

Студент

_____ (підпис)

Воробей К.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Омельченко А.В.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 91 с., 31 рис., 4 табл., 29 джерел, 2 додатки.

Об'єкт дослідження – телемедичні системи.

Мета роботи – дослідження проблематики використання телемедичних систем у сучасних умовах, пошук та аналіз альтернативних технологій які можуть бути включені до складу телемедичних систем з метою покращення рівня надання медичних послуг.

Результати – в роботі досліджено стан та тенденції розвитку інфокомунікаційних систем, а саме телемедичних в умовах COVID-19. Розглянуто можливості включення до телемедичних систем сучасних технологій для забезпечення потрібного рівня надання послуг та якості обслуговування. Побудовано прототип телемедичної системи на основі технології блокчейн в середовищі Remix IDE.

ІНФОКОМУНІКАЦІЇ, ТЕЛЕМЕДИЦИНА, БЛОКЧЕЙН, ETHEREUM, REMIX IDE, СМАРТ-КОНТРАКТИ, SDN, ЯКІСТЬ ПОСЛУГ, COVID-19

THE ABSTRACT

Explanatory note: 91 p., 31 fig., 4 tabl., 29 sources, 2 app.

The object of study is telehealth systems.

The purpose of the work is to study the problems of using telemedicine systems in modern conditions, search and analysis of alternative technologies that can be included in telemedicine systems in order to improve the level of medical services.

Results - the state and tendencies of development of infocommunication systems, namely telemedicine in the conditions of COVID-19 are investigated in the work. Possibilities of inclusion of modern technologies in telemedicine systems for maintenance of the necessary level of rendering of services and quality of service are considered. A prototype of a telemedicine system based on blockchain technology in the Remix IDE environment was built.

INFOCOMMUNICATIONS, TELEMEDICINE, BLOCKCHAIN,
ETHEREUM, REMIX IDE, SMART CONTRACTS, SDN, QUALITY OF
SERVICES, COVID-19

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СФЕРІ МЕДИЦИНИ	10
1.1 Телемедицина як сучасний засіб надання медичних послуг	10
1.1.1 Основні категорії додатків у телемедицині	12
1.1.1.1 Відеоконференції в прямому ефірі.....	12
1.1.1.2 Асинхронне відео	13
1.1.1.3 Віддалений моніторинг пацієнта.....	14
1.1.1.4 Мобільне здоров'я.....	15
1.1.2 Концепція телемедичних систем.....	15
1.2 Темпи зростання та перспективи розвитку ринку телемедичних систем..	16
2 СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ТА ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНОГО РІВНЯ ЯКОСТІ ТА QOS В ТЕЛЕМЕДИЦИНІ.....	23
2.1 Виклики для медичних систем під час пандемії COVID-19 та військового стану	23
2.2 Проблеми з якими стикаються у телемедичних системах в існуючих сьогодні умовах.....	25
2.3 Вимоги до якості трафіку у телемедицині	27
2.3.1 Вимоги QoS до телемедичних послуг.....	28
2.3.2 Приорітеризація трафіку	29
3 ОГЛЯД СУЧАСНИХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ, ЯКІ МОЖУТЬ БУТИ ВИКОРИСТАНІ У СКЛАДІ ТЕЛЕМЕДИЧНИХ СИСТЕМ	31
3.1 Застосування SDN мереж у сучасних системах	31
3.1.1 Переваги SDN над традиційними мережами	31
3.1.2 Як працюють мережі SDN	32
3.1.3 Існуючі моделі SDN.....	34
3.1.4 Застосування SDN у телемедичних системах.....	34
3.2 Технологія блочейн та смарт-контракти, перспективи розвитку	37

	7
3.2.1 Огляд технології блокчейн.....	37
3.2.2 Смарт-контракти	38
3.2.3 Мережа Ethereum	40
3.2.4 Застосування технології блокчейн у медичних системах.....	41
4 ПОБУДОВА ТЕЛЕМЕДИЧНОЇ АРХІТЕКТУРИ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН ЗАДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОТРІБНОГО РІВНЯ ЯКОСТІ ПОСЛУГ	44
4.1 Структура запропонованого рішення на основі блокчейну	44
4.1.1 Учасники.....	46
4.1.2 Рівень інтерфейсу та API.....	46
4.1.3 Смарт-контракти	47
4.1.4 Блокчейн	47
4.1.5 Позамережні сховища.....	48
4.1.6 Смарт-контракт Telecons_SC.....	48
4.1.7 Смарт-контракт DrugAdm_SC	49
4.1.8 Смарт-контракт MedTest_SC.....	52
4.2 Імплементация рішення, реалізація смарт-контрактів та алгоритмів	53
4.2.1 Підтвердження запиту на прийом медсестрою.....	53
4.2.2 Підтвердження прийому пацієнтом	55
4.2.3 Прибуття медичного набору або медсестри	56
4.2.4 Ініціація дзвінка лікарем	57
4.2.5 Вимірювання життєвих показників	58
4.2.6 Призначення ліків від COVID-19.....	59
4.2.7 Повернення медичного набору.....	60
4.2.8 Завершення дзвінка лікарем	61
4.3 Тестування розробленого рішення.....	62
ВИСНОВКИ.....	69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	71
ДОДАТОК А СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК Б ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМАТИКОЮ РОБОТИ.....	Ошибка! Закладка не определена.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

QoS (Quality of Service) – технологія контролю якості послуг, які надає інформаційно-комунікаційна мережа;

SDN (Software-Defined Networking) – програмно-конфігурована мережа;

EHR (Electronic Health Record) – електронні медичні картки;

ІКТ – інформаційно-комунікаційні технології;

Remix IDE – це IDE яка використовується для написання коду на Solidity;

ETH (Ethereum) – криптовалюта та платформа для створення децентралізованих онлайн-сервісів;

DApps – децентралізовані онлайн-сервіси;

Solidity – об'єктно-орієнтована та предметно-орієнтована мова програмування розумних контрактів для платформи Ethereum.

ВСТУП

На сьогодні однією з найбільш характерних рис сучасних інформаційно-комунікаційних мереж є постійне і стрімке зростання та збільшення кількості користувачів, сервісів, досконалюється і нарощується функціонал що існує, з'являються нові сервіси та системи. Це приводить до того що кількість людей, залучених у користування ними зростає.

Епідемія коронавірусу (COVID-19) що почалася наприкінці 2019 року і триває досі кидає виклик нинішнім системам охорони здоров'я по усьому світі. Незважаючи на те, що телемедицина не є новою технологією, поширення пандемії спонукало сектор охорони здоров'я подолати перешкоди та пришвидшити її впровадження у всьому світі [1]. Телемедицина виявилася цінним інструментом у різноманітних медичних послугах (наприклад, під час вагітності та при лікуванні хворих на цукровий діабет та психічні захворювання) і стала більш популярною. За допомогою телемедицини можна підтримувати безперервний догляд та лікування, перейшовши від особистих контактів до віддаленого та віртуального спілкування, незважаючи на обмеження подорожей та географічні бар'єри.

Тобто у таких умовах необхідно забезпечити якість телемедичних сервісів на потрібному рівні, процеси та технології що використовуються для якісного забезпечення роботи потребують модернізації та змін. А отже проблеми забезпечення необхідної якості послуг в телемедицині у сучасних умовах є актуальним питанням.

Метою роботи є дослідження проблематики використання телемедичних систем у сучасних умовах, пошук та аналіз альтернативних технологій які можуть бути включені до складу телемедичних систем з метою покращення рівня надання медичних послуг. Саме тому тема кваліфікаційної роботи є актуальною.

1 ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СФЕРІ МЕДИЦИНИ

Сучасний світ характеризується швидким розвитком суспільства та безпосереднім впливом на нього інформаційних технологій, які наразі є майже в усіх сферах людської діяльності, тим самим забезпечуючи поширення інформаційних потоків та утворюючи глобальний інфопростір. Вони швидко стали життєво важливим стимулом розвитку не тільки усієї світової економіки, а й інших не менш важливих сфер людської діяльності таких як медицина.

Лідерами галузі з впровадження комп'ютерних технологій є архітектура (архітектурне проектування), машинобудування, освіта, банківська сфера і, з запізненням, медицина. Сучасні інформаційні технології все більше використовуються в галузі охорони здоров'я, що буває зручним, а у сучасних реаліях є просто необхідним. Завдяки цьому медицина, у тому числі і нетрадиційна, набуває сьогодні абсолютно нових рис. У багатьох медичних дослідженнях просто неможливо обійтися без комп'ютера і спеціального програмного забезпечення до нього. Цей процес супроводжується суттєвими змінами в медичній теорії та практиці, пов'язаними із внесенням коректив як на етапі підготовки медичних працівників, так і для медичної практики.

Життєвий шлях кожної людини в тій чи іншій мірі перетинається з лікарями, яким ми довіряємо своє здоров'я і життя. Але образ медичного працівника та медицини в цілому останнім часом зазнає серйозних змін, і відбувається це багато в чому завдяки розвитку інформаційних технологій. І хоча присутність інформаційних технологій стає для пацієнта вже помітною, тим не менш, це лише мала видима частина усієї телемедичної системи. Отже, медицина та комп'ютерні технології – що пов'язує ці поняття разом і як вони взаємодіють сьогодні?

1.1 Телемедицина як сучасний засіб надання медичних послуг

Розвиток інтернету та його зростання викликали безліч змін у науці та промисловості, де медицина справді не є винятком. Інтернет вплинув як на розвиток, так і на удосконалення медичних послуг. Телемедицина є однією з таких послуг – це міст між медициною та інженерією, де інженерні засоби

можуть використовуватися медичною спільнотою для підвищення рівня здоров'я суспільства.

У 1997 році було створено та зібрано міжнародну групу консультативну щодо політики телемедицини Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) у зв'язку з розробкою стратегії здоров'я для всіх у 21 столітті. Та, відповідно, було закріплено визначення телемедицини [2].

Телемедицина – це метод надання послуг з медичного обслуговування там, де відстань є критичним фактором, з використанням інформаційних та комунікаційних технологій для обміну достовірною інформацією для діагностики, лікування та профілактики захворювань та травм, проведення досліджень та оцінки, а також для безперервної роботи, навчання постачальників медичних послуг, усе на користь поліпшення здоров'я окремих осіб та їх спільнот. Телемедицина використовує сучасні мультимедійні інструменти та технології, такі як відео та голосовий зв'язок, медичні знімки, зображення та дані, а також системи зв'язку для надання медичних послуг дистанційно. Загалом використання віддалених консультацій шляхом передачі інформації по інтернету у віддалені райони дозволяє скоротити трафік, заощадити гроші та час пацієнтів, а також розширити комплексне медичне обслуговування, моніторинг здоров'я та щоденний догляд. Якщо підсумувати, то це нова галузь, що заснована на інформаційно-комунікаційних технологіях збору, зберігання, організації, пошуку та обміну медичною інформацією. Її також можна визначити як використання ІКТ для доставки медичних послуг та інформації з одного місця до іншого. Незважаючи на те, що в телемедицині можна використовувати будь-який метод зв'язку, швидкий розвиток комп'ютерних технологій і простота придбання призвели до широкого застосування телемедичних систем саме на основі IP мереж.

Послуги телемедицини покликані допомогти розширити доступ до медичної допомоги та інформаційних послуг, та як наслідок зменшити ізоляцію сільських медичних працівників та громад. Вони також можуть значно скоротити час та витрати на транспортування пацієнтів з сільської місцевості. Телемедичні додатки охоплюють такі напрями як патологія та радіологія, а також консультації за такими спеціальностями як неврологія, дерматологія, кардіологія та загальна медицина. Телемедицина також використовується в адмініструванні, дослідженнях та розробках, а також для безперервної медичної. Розглянемо категорії додатків телемедицини.

1.1.1 Основні категорії додатків у телемедицині

Телемедицина – це широкий термін, який охоплює різноманітні телекомунікаційні технології та тактики для надання медичних послуг на відстані. Це не конкретна клінічна послуга, а скоріше сукупність засобів для покращення надання допомоги та освіти. Проведемо невеликий огляд та аналіз можливостей телемедицини [3]:

- Невідкладна первинна оцінка пацієнта, прийняття рішення щодо сортування та підготовки до переведення;
- Медикаментозні огляди і медичне та хірургічне спостереження;
- Нагляд та консультування щодо первинної медичної допомоги в місцях, де лікарі відсутні;
- Звичайні консультації та повторні висновки на основі анамнезу, даних тестів та результатів фізобстеження;
- Передача діагностичного зображення;
- Розширені діагностичні обстеження або короткочасне лікування хвороб, які проходять самостійно;
- Хронічні захворювання та лікування станів, що потребують експерта, який не доступний локально;
- Передача медичної документації;
- Охорона здоров'я, профілактика та навчання пацієнтів;
- Перевірка ліків.

Як можна побачити, існує багато різних різновидів телемедицини та її можливостей, у сучасній медичній галузі існують чотири основні категорії телемедицини [4]. Переваги кожної категорії відрізняються і можуть підтримувати пацієнтів різними способами залежно від того, що вам потрібно, щоб отримати повну оцінку їхнього здоров'я.

1.1.1.1 Відеоконференції в прямому ефірі

Найвідоміший тип телемедичних відеоконференцій у прямому ефірі – це двостороння відеоконференція між пацієнтом та його медичним працівником. Цей тип телемедицини широко використовується всіма – від лікарів у місцевих лікарнях до постачальників, які мають власну приватну практику. Відеоконференції в прямому ефірі не тільки усувають час на дорогу та стрес як

для пацієнта, так і для постачальника, але також допомагають донести медичну допомогу в райони, як правило, сільські, де не так багато можливостей охорони здоров'я, як у містах.

Відео в реальному часі можна використовувати для консультаційних, діагностичних та лікувальних послуг. Відеопристрої можуть включати пристрої відеоконференцій, периферійні камери, відеоскопи або вебкамери. Пристроями відображення є комп'ютерні монітори, плазмові/LED-телевізори, ЖК-проектори та навіть планшетні комп'ютери. Відеоконференції можуть забезпечити економічно ефективний доступ до допомоги пацієнтам, які перебувають у стаціонарі або ув'язненні.

Відеоконференції історично були найпоширенішим застосуванням у телемедицині/телемедичній допомозі та є ефективним інструментом охорони здоров'я та консультацій для різних застосувань, включаючи:

- Підтримку відділення невідкладної допомоги / відділення інтенсивної терапії;
- Консультації;
- Медичну освіту.

1.1.1.2 Асинхронне відео

Асинхронне відео – це електронна доставка документованої історії здоров'я пацієнта, яку використовує медичний працівник для оцінки випадку або надання послуги поза межами реального часу чи живої взаємодії. У порівнянні із відвідуванням у режимі реального часу, служби зберігання та пересилання надають доступ до даних після їх збору. Ці дані можуть включати рентгенівські промені, МРТ, фотографії, дані пацієнтів і навіть відеозаписи обстеження. Оскільки ці консультації не вимагають одночасної доступності спеціаліста, лікаря первинної медичної допомоги та пацієнта, відпадає необхідність узгодження графіків та підвищується ефективність медичних послуг.

Ці технології забезпечують важливі переваги як пацієнтам, так і постачальникам. Деякі з цих переваг включають:

- Пацієнти можуть отримати своєчасну спеціалізовану допомогу, не виїжджаючи за межі місцезнаходження своїх постачальників первинної медичної допомоги.

– Скорочуються терміни очікування спеціалізованої допомоги, особливо в районах, де не вистачає медичних спеціалістів.

– Постачальники первинної медичної допомоги та медичні спеціалісти можуть переглядати випадки пацієнтів незалежно від їхнього місця розташування.

– Медики можуть переглядати клінічну історію пацієнтів, коли їм це зручно.

– Процес зберігання та пересилання може подолати мовні та культурні бар'єри.

Технології зберігання та передачі найчастіше використовуються в радіології, патології, дерматології та офтальмології.

1.1.1.3 Віддалений моніторинг пацієнта

Віддалений моніторинг пацієнта – це збір даних про здоров'я пацієнта від пацієнта або мешканця в одному місці, які потім в електронному вигляді надсилаються медичним працівникам для моніторингу та перегляду. Ця категорія особливо корисна у житлових приміщеннях для літніх людей, щоб стежити за рівнями життєво важливих параметрів мешканців та запобігати їх нездоровому зниженню.

Програми моніторингу можуть збирати широкий спектр даних про стан здоров'я з точки надання допомоги, таких як життєво важливі показники, вага, кров'яний тиск, рівень цукру в крові, рівень кисню в крові, частота серцевих скорочень та електрокардіограми. Потім дані передаються медичним працівникам у такі заклади, як центри моніторингу в закладах первинної медичної допомоги, лікарні та відділення інтенсивної терапії, кваліфіковані медсестринські установи та централізовані програми ведення пацієнтів за межами закладу.

Цей тип послуг дозволяє постачальнику продовжувати відстежувати дані про медичне обслуговування пацієнта після виписки додому або до лікувального закладу, знижуючи частоту повторної госпіталізації. Програми моніторингу також можуть допомогти зберегти здоров'я людей, дозволити людям похилого віку та інвалідам довше жити вдома та уникнути необхідності переїжджати до кваліфікованих медсестер. Також ця категорія послуг може служити для зменшення кількості госпіталізацій, повторних госпіталізацій та

тривалості перебування в лікарнях — усе це допомагає покращити якість життя та стримувати витрати.

1.1.1.4 Мобільне здоров'я

Мобільне здоров'я — це використання мобільних пристроїв і програм, розроблених для цих пристроїв, які забезпечують безперервне медичне обслуговування. Зараз існує багато додатків для здоров'я, які можуть контролювати все, від рівня цукру в крові пацієнта з цукровим діабетом до щоденного споживання води. Ці програми допомагають заохочувати до здорового способу життя. Охорона здоров'я та практика громадського здоров'я, освіта підтримуються пристроями мобільного зв'язку, такими як мобільні телефони, планшетні комп'ютери та карманні персональні комп'ютери. Програми можуть варіюватися від цільових текстових повідомлень, які пропагують здорову поведінку, до широкомасштабних сповіщень про спалахи захворювань.

Це відносно новий і стрімко набираючий обертів аспект медичної допомоги за допомогою технологій. mHealth часто включає використання спеціального програмного забезпечення (додатків), які завантажуються на пристрої. Враховуючи недавню появу цієї технології в даній сфері, політика, яка регулює використання цієї технології, постійно формується.

Далі розглянемо базову концепцію роботи телемедицини.

1.1.2 Концепція телемедичних систем

Згідно рис. 1.1, телемедицину можна визначити як інтеграцію низки різних компонентів, найважливішими з яких є інформаційно-комунікаційні технології, апаратні та програмні технології й медичні послуги. Усі ці компоненти працюють разом, щоб надати користувачам необхідні функції або послуги. Користувачі не бачать основних технологічних моментів, але саме ці технології відповідають за те, щоб зробити процедури будь-якої запропонованої послуги можливими.

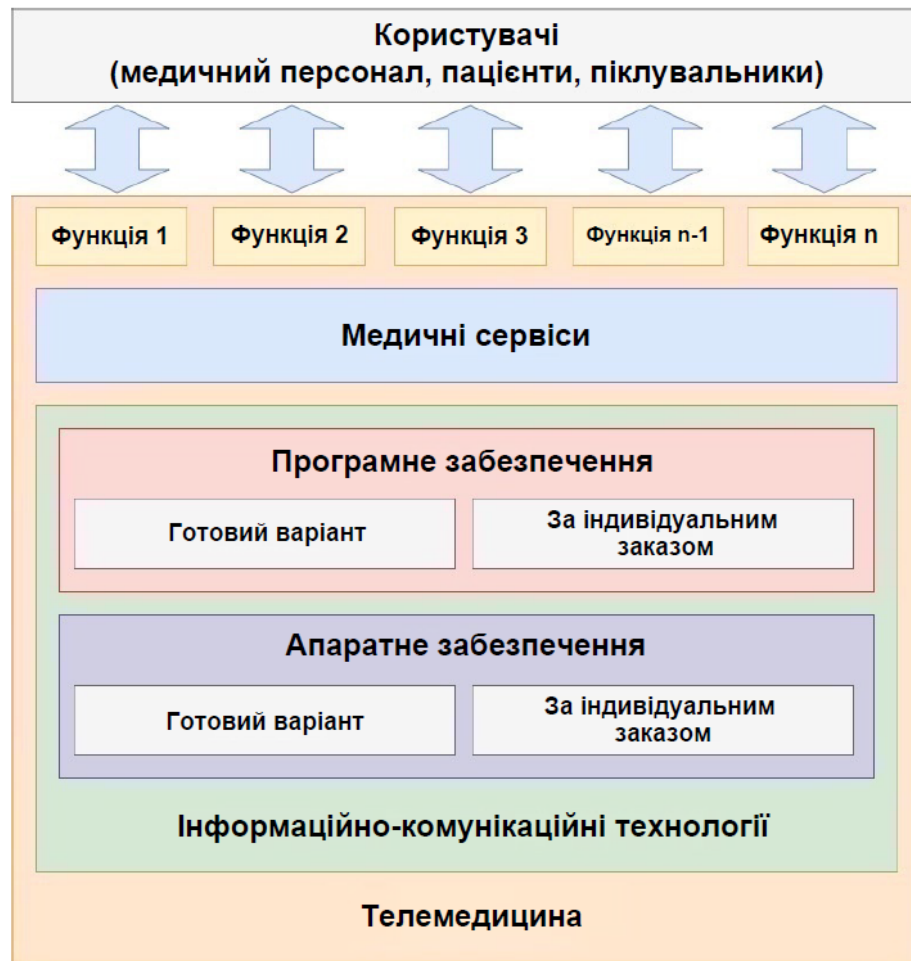


Рисунок 1.1 – Концепція телемедичної системи

На рис. 1.1 зображена концепція телемедицини, яка складається з кількох компонентів. Медичні служби використовують цифрові технології для надання більш ефективних послуг незалежно від відстані та часу. Інформаційно-комунікаційні технології відіграють важливу роль як базова інфраструктура. Апаратні та програмні технології можна розглядати як постачальника медичних сервісів за допомогою кількох функцій. Перейдемо до розгляду темпів розвитку телемедичних послуг та систем.

1.2 Темпи зростання та перспективи розвитку ринку телемедичних систем

На початку пандемії COVID-19 відбувся сплеск використання телемедицини, оскільки споживачі та постачальники шукали безризикові засоби доступу та варіанти надання медичної допомоги. Згідно даних McKinsey

& Company [7], у квітні 2020 року загальне використання телемедицини було в 78 разів вище, ніж у лютому 2020 року (рис. 1.2).

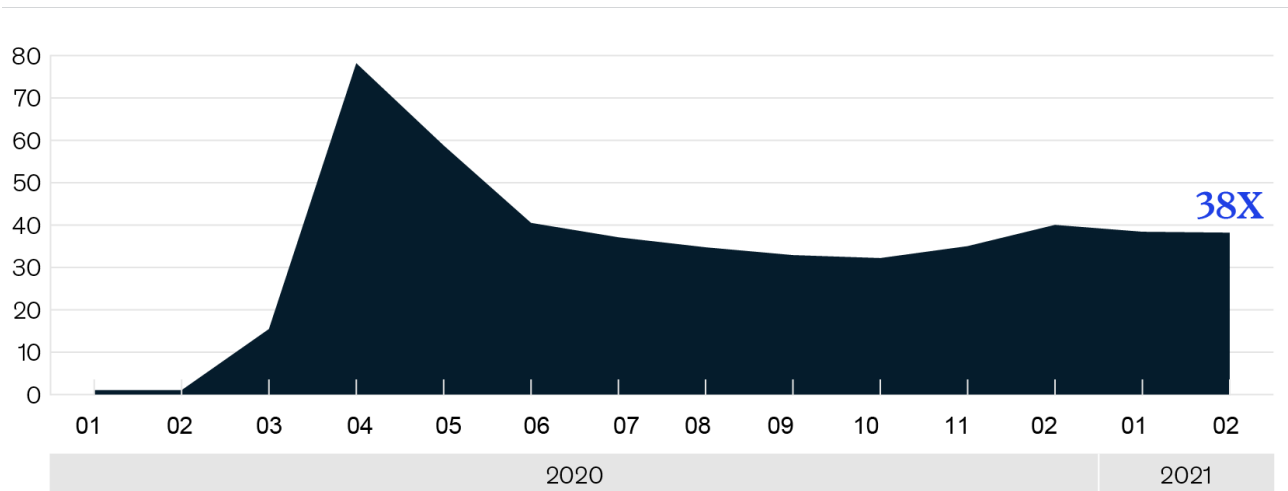


Рисунок 1.2 – Зростання обсягів заявок на телемедичне обслуговування

Поетапній зміні, зумовленій необхідністю, сприяли наступні фактори:

- 1) Збільшення бажання споживачів використовувати телемедичне обслуговування;
- 2) Збільшення бажання постачальників послуг користуватися телемедичним обслуговуванням;
- 3) Зміни в нормативно-правових актах, що забезпечують більший доступ до телемедицини і відшкодування витрат, пов'язаних із її використанням.

Під час пандемії телемедицина стала мостом до допомоги, а тепер дає можливість винайти нові віртуальні та гібридні моделі допомоги з метою покращення варіантів доступу до медичних послуг та результатів досліджень.

Інвестиції у віртуальне здоров'я продовжують зростати. У звіті Per Rock Health [5] про фінансування цифрового здоров'я за 1 півріччя 2021 року загальні інвестиції венчурного капіталу в цифровий медичний простір склали 14,7 мільярдів доларів, що більше, ніж усі інвестиції у 2020 році (14,6 мільярдів доларів) і майже вдвічі більше інвестицій у 2019 році. (7,7 мільярдів доларів) (рис. 1.3).

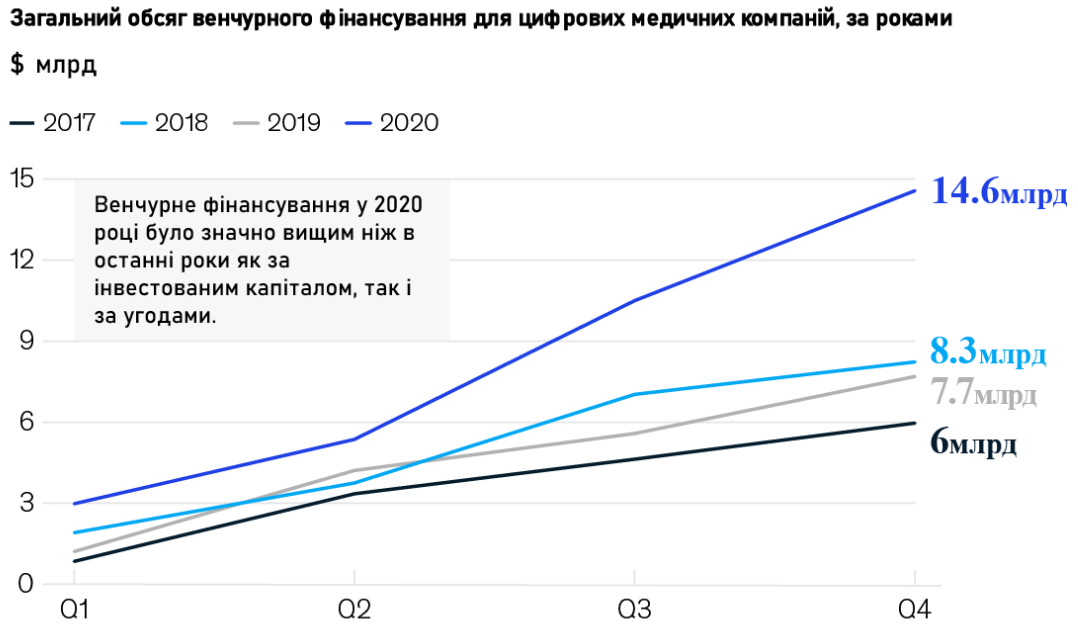


Рисунок 1.3 – Звіт Per Rock Health про фінансування цифрового здоров'я.

Варто зазначити, що загальний дохід 60 найкращих компаній у сфері віртуального здоров'я зріс у 2020 році до 5,5 мільярдів доларів США з приблизно 3 мільярдів доларів роком раніше, що складає +83% на рік (рис. 1.4).

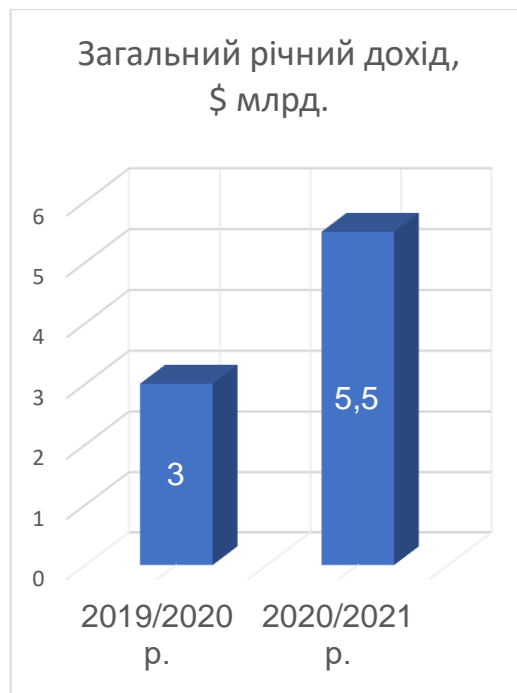


Рисунок 1.4 – Звіт Per Rock Health про фінансування цифрового здоров'я.

Телемедицина готова залишатись надійним варіантом лікування. Постійне активне використання, сприятливе сприйняття споживачів, нормативно-правове регулювання та значні інвестиції у цю сферу сприяють такому рівню впровадження. Спостерігається швидка еволюція простору та інновацій за межами «віртуальної невідкладної допомоги». Інновації, пов'язані з віртуальним довгостроковим доглядом (як первинним, так і спеціалізованим), надання допомоги вдома за допомогою віддаленого спостереження за пацієнтом та самодіагностики, інвестиції у «цифрові входні двері» та експерименти з гібридними моделями «онлайн/офлайн» принесуть нові моделі догляду за хворими для споживачів, які допомагають досягти потрібної мети охорони здоров'я. Щоб повністю реалізувати потенціал моделей віртуального догляду, як платники, так і постачальники послуг повинні розглядати нові моделі надання послуг як частину основної повсякденної ціннісної пропозиції для споживачів у трьох областях:

1. Збільшення зручності для регулярного догляду.
2. Поліпшення доступу до допомоги (особливо до психіатричної та спеціалізованої).
3. Покращення моделей догляду та отримання результатів від охорони здоров'я, особливо для тих, хто страждає хронічними захворюваннями або потребує підтримки після гострого перебігу хвороби.

Але навіть із цими інноваціями залишаються проблеми, які потрібно вирішити, щоб повністю реалізувати потенціал віртуальної допомоги. Ці завдання включають наступні пункти:

– Потреба у кращій інтеграції даних та покращених потоках даних між різними учасниками екосистеми у світлі швидкого розповсюдження точкових рішень, що пригнічують як споживачів-платників, так і постачальників.

– Необхідність кращої інтеграції віртуальної діяльності, пов'язаної зі здоров'ям, у повсякденні робочі процеси медиків, зокрема, для включення гібридних моделей догляду, які поєднують онлайн та особисте (офлайн) надання допомоги.

– Існує потенціал для покращення доступу, якості та доступності охорони здоров'я, а також використання економічних можливостей на чверть трильйона доларів, що надаються телемедициною.

У сукупності лідери галузі мають шанс допомогти споживачам і постачальникам покращити доступ і якість за допомогою можливостей телемедицини.

Згідно з дослідженням [6] від Knowledge Sourcing Intelligence LLP, очікувалося, що світовий ринок телемедичних послуг зросте з 48,4 мільярда доларів у 2020 році до 55,53 мільярда доларів у 2021 році при сукупному річному темпі зростання 14,7% (рис. 1.5). Зростання в основному відбувається завдяки тому, що компанії відновлюють свою діяльність та адаптуються до нових умов після впливу COVID-19, який раніше призвів до обмежувальних заходів, що передбачають соціальне дистанціювання, віддалену роботу та закриття комерційної діяльності, що досі призводить до проблем. Очікується, що ринок досягне 105,77 мільярдів доларів у 2025 році при сукупному річному темпі зростання 17%.

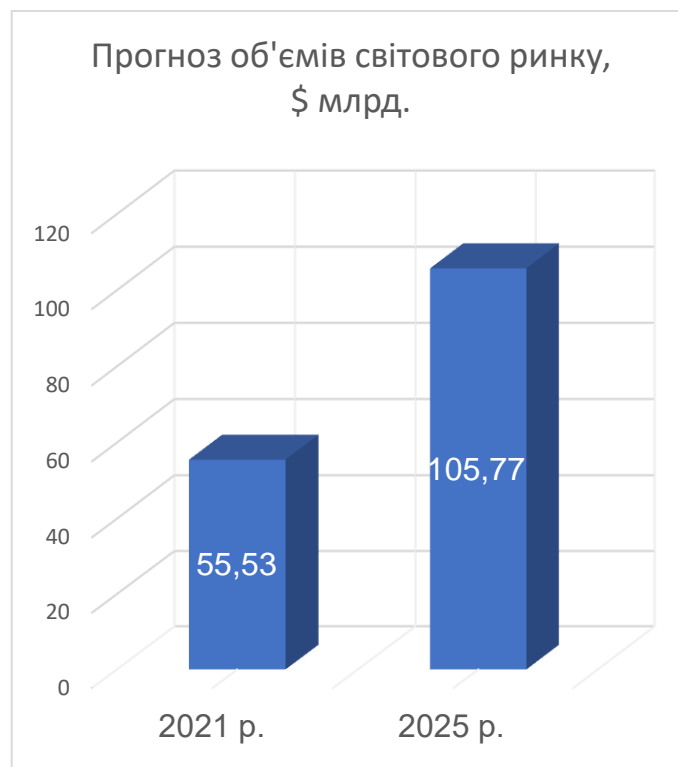


Рисунок 1.5 – Очікувані об'єми світового ринку телемедичних послуг

Згідно із дослідженням [8] від American Medical Association, зазначається що аудіовізити з телефону та Zoom залишаються основними платформами, які використовуються для надання віртуальної допомоги (рис. 1.6).

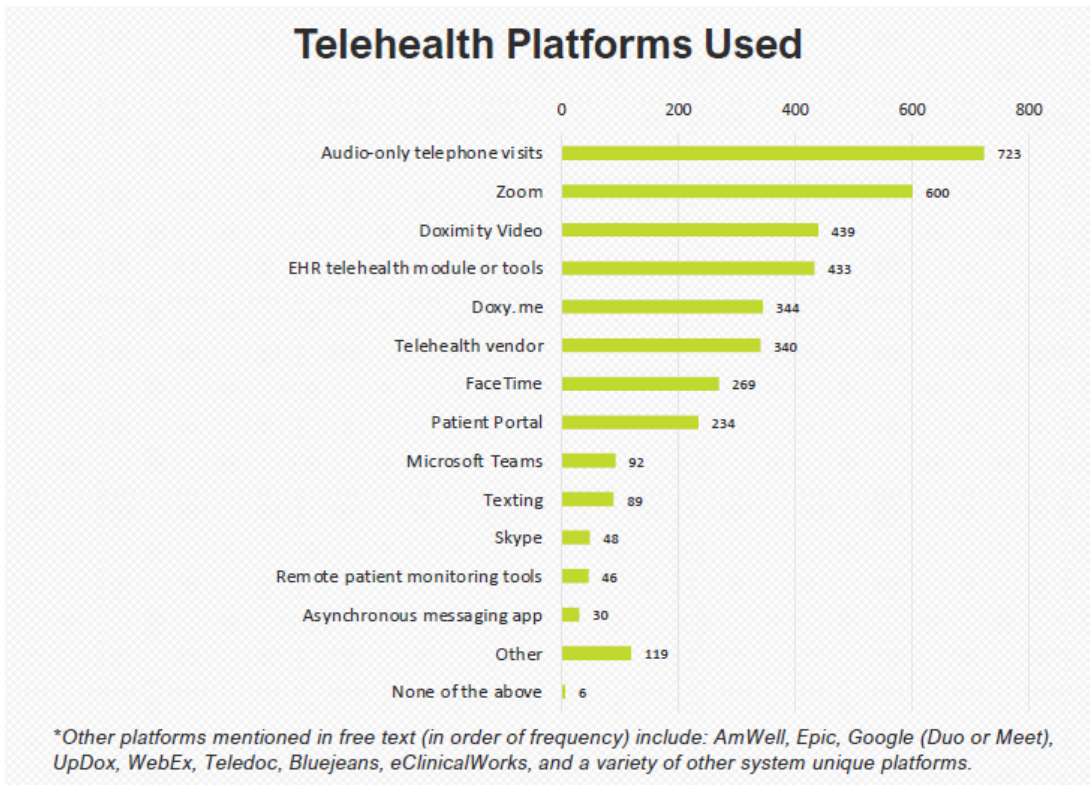


Рисунок 1.6 – Статистика використання платформ для телемедичних прийомів

Звідси можна зробити висновок, що телемедицина знаходиться на початку свого розвитку, тому що значна частина медичних працівників та пацієнтів користуються сторонніми сервісами для зв'язку під час віртуального прийому (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Відсоток доступів безпосередньо з EHR

Також у дослідженні American Medical Association [8] зазначається, що більшість лікарів використовують живі аудіовізуальні та телефонні / тільки телефонні технології для надання телемедичних послуг (рис. 1.8).

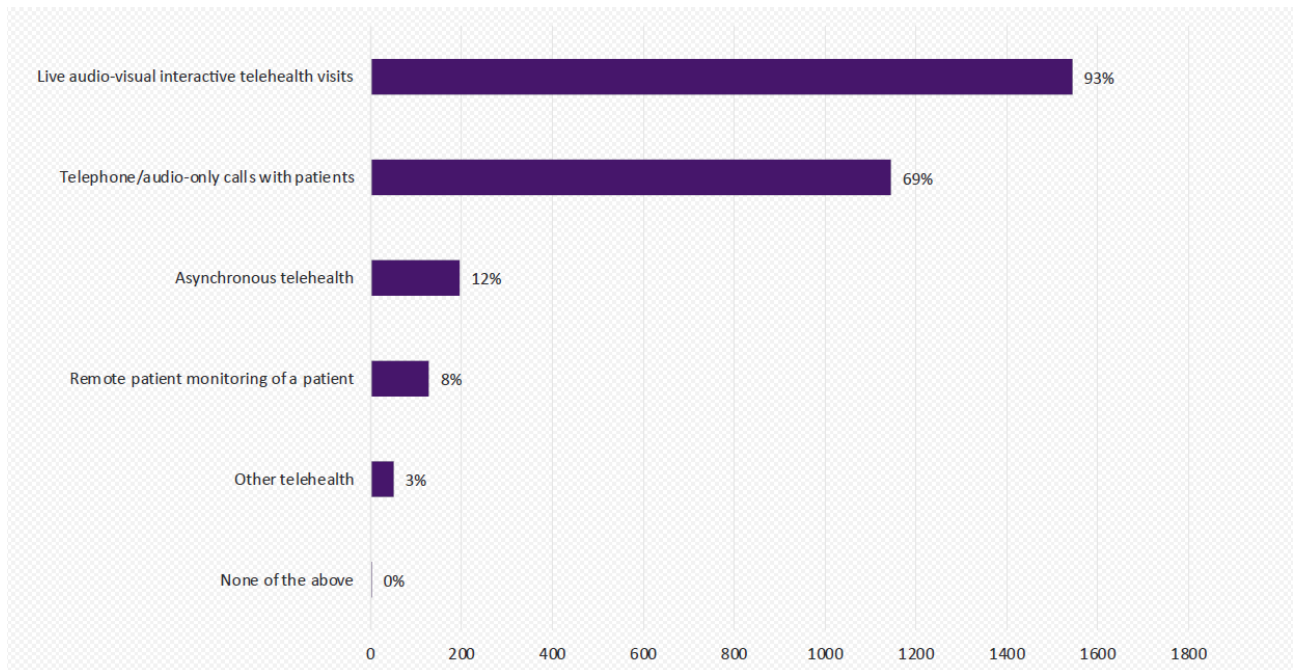


Рисунок 1.8 – Відсоток використання кожного із способів

З усього переліченого вище можна зазначити, що як і темпи зростання медичних систем, так і відсоткова доля відео в додатках телеконсультацій є досить великими, що у свою чергу значно впливає на особливості розвитку медичних систем та інфокомунікаційних мереж. Це пояснюється як розвитком технологій, так і попитом користувачів в умовах пандемії та надзвичайних станів. Разом з тим, це створює умови для виникнення проблем.

2 СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ТА ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНОГО РІВНЯ ЯКОСТІ ТА QOS В ТЕЛЕМЕДИЦИНІ

Для того, щоб телемедицина була успішною, вона повинна мати можливість якомога точніше відтворити досвід особистих консультацій. Інакше кажучи, система телемедицини повинна бути здатною передавати високоякісне відео, зображення, аудіо чи звук як у режимі реального часу, так і в режимах зберігання та пересилання. Якісна аудіовізуальна комунікація також потрібна для того, щоб лікар на іншому кінці лінії міг точніше провести фізичний огляд на місці, щоб поставити точний діагноз на основі медичних звуків, фотографій та/або відео, що були отримані.

2.1 Виклики для медичних систем під час пандемії COVID-19 та військового стану

Невідкладну медичну допомогу у разі надзвичайних ситуацій і катастроф надають оперативні групи лікарів або парамедиків. Це треновані спеціалісти широкого профілю, які мають кваліфікацію для надання медичної допомоги в неамбулаторних умовах. Щоб надати ефективну допомогу, потрібно швидко й точно оцінити стан потерпілого, але в складних обставинах діагностика може бути нетривіальним завданням. У цьому випадку парамедик може знадобитися підтримка кваліфікованого спеціаліста. Такий експерт може перебувати в медичному закладі, віддаленому від місця події, і важливо створити з ним зв'язок, який дозволить експерту надати спеціалісту інформативну допомогу. Використання сучасних інформаційних систем у цих умовах допомагає подолати цю проблему та відкриває нові можливості, що є дуже актуальним сьогодні.

Оскільки коронавірусна хвороба COVID-19 продовжує розповсюджуватися по світу, потреба в інноваційних заходах для забезпечення високоякісної допомоги пацієнтам і боротьби з її поширенням стає все більш важливою. Системи на основі програмного забезпечення, такі як медичні програмні додатки, можуть надавати лікарям цінні рекомендації щодо інформації, пов'язаної зі здоров'ям, для покращення якості життя, особливо для

пацієнтів-амбулаторів (наприклад, здорових, з ослабленим імунітетом, вагітних жінок).

Використання телемедицини та віртуального програмного забезпечення пропонує багатообіцяючий потенціал у боротьбі з COVID-19. Отримані дані свідчать про те, що телемедицина та віртуальне програмне забезпечення здатні скоротити кількість наявних відділень невідкладної допомоги, захистити ресурси охорони здоров'я та зменшити поширення COVID-19.

Оскільки світ зіштовхується з наслідками COVID-19, використовується кілька віртуальних програмних платформ. Відповідно до рекомендацій [15], окрім програмного забезпечення для відеоконсультацій та додатків для мобільних телефонів, запроваджують інші програмні платформи, такі як чат-боти та портативні пристрої.

Ці віртуальні програмні платформи розгортані для забезпечення асинхронної та синхронної телемедичної підтримки. Крім того, ці віртуальні програмні платформи забезпечують синхронні візити в режимі реального часу з аудіовізуальною підтримкою та просто у використанні для лікарів, пацієнтів та обслуговуючого персоналу, які планують прийоми, що дозволяє проводити лікування пацієнтів за допомогою смартфона чи планшета та відповідає законам про конфіденційність пацієнтів.

Незважаючи на те, що впровадження цих віртуальних програмних платформ у важкій ситуації пов'язано з труднощами, багато медичних систем охорони здоров'я вже використовують існуючі телемедичні платформи для лікування пацієнтів [5]. Як було запропоновано Doshi et al. [15], лікарі використовують віртуальні програмні платформи, зокрема синхронні аудіо- та відеопрілади, оснащені відео високою чіткістю, а також цифрові отоскопи, стетоскопи, дерматоскопи та офтальмоскопи, які використовуються для обстежень та спостереження за пацієнтами.

Окрім цього, згідно даних [16,17,18], використання телемедицини та віртуальних програмних платформ допомагає в наступному:

- Скорочення часу, необхідного для встановлення діагнозу та початку лікування, стабілізації стану або переміщення пацієнта в карантин.
- Полегшує ретельне спостереження за пацієнтами, які знаходяться вдома, щоб уникнути перевантаження медичних закладів.
- Скорочення пересування людей, мінімізація ризику внутрішньолікарняної інфекції.

- Підтримує координацію медичних ресурсів, що використовуються у віддалених місцях.
- Запобігти ризику зараження, особливо для практикуючих лікарів, які є потенційними жертвами.
- Допомога в інформуванні широкому загалу.
- Економить витрати на одноразові халати, антисептичні матеріали, рукавички, дезінфекцію лікарняних приміщень тощо.
- Навчання практикуючих лікарів, які погано знайомі з лікуванням пандемії.
- Моніторинг реальних даних, наприклад, вебсайт Johns Hopkins COVID-19 [19] та оновлення вебсайту VG live corona [20], які надають інформацію про COVID-19, що регулярно оновлюється.

2.2 Проблеми з якими стикаються у телемедичних системах в існуючих сьогодні умовах

Цілодобовий дистанційний моніторинг життєво важливих показників пацієнта, можливість проконсультуватися з фахівцями навіть у найбільш важкодоступних місцях, а також значна економія часу та коштів – це лише деякі з потенційних переваг, які можуть бути результатом впровадження телемедицини. У теорії така кількість технологій, яка існує в сучасному світі, робить все можливе, щоб уявити це саме зараз. Однак існують певні проблеми, які потрібно подолати, втілюючи телемедицину в реальність.

Згідно з дослідженням [21], Arlington Research провели інтерв'ю з керівниками великих медичних корпорацій, розташованих по всьому світу, щоб обговорити використання процедур дистанційного здоров'я. Обмін знаннями та питаннями щодо розвитку цієї сфери, проблем, з якими стикаються медичні працівники під час дистанційного надання послуг, стало основою розмови.

Можна виділити 5 основних проблем телемедичних систем:

1) Витоки даних пацієнтів. За словами 30% опитаних, дані пацієнтів у їхніх клініках були скомпрометовані в результаті сеансів дистанційного медичного обслуговування. У сучасних реаліях суворо регульованого захисту РІІ, витоки можуть спричинити серйозні проблеми для медичних закладів у плані як репутаційного збитку, так і штрафів від регуляторів.

Як це може бути виправлено? Перш ніж запровадити новий ІТ-процес, має сенс провести зовнішній аудит, щоб виявити та усунути недоліки безпеки та конфіденційності.

2) Відсутність розуміння безпеки даних. Респонденти стверджували, що медичний персонал, який бере участь у сеансах дистанційного здоров'я, не має досконалої обізнаності з протоколами захисту даних, яких дотримуються в їхній клініці. Це становить 42% від загальної кількості респондентів. Це, безумовно, поганий показник. Лікар (а) ризикує зробити помилку, яка може призвести до витоку, і (б) не зможе відповісти на запитання пацієнта, які стають все більш поширеними.

Як це може бути виправлено? Перш за все, медична організація повинна підготувати документ, який детально описує, як дані зберігаються та обробляються, а потім вони повинні розповсюдити його всім своїм співробітникам. По-друге, медичні працівники повинні краще усвідомлювати нові небезпеки, які несуть кібератаки. Завдяки цьому ймовірність помилитися буде знижена.

3) Невідповідне програмне забезпечення. 54% респондентів сказали, що їхні заклади надають послуги телемедицини, використовуючи програмне забезпечення, яке не було розроблено спеціально для цієї мети. Знову ж таки, це може призвести до витоків лише через технічні обмеження програмних платформ, які використовуються, або через невиправлені вразливості, які притаманні їм.

Як це може бути виправлено? Використовувати програмне забезпечення, що розроблене спеціально для медичних цілей, де це можливо. Виконати комплексну перевірку безпеки всіх програм, які використовуються для надання віддалених послуг.

4) Помилки діагностики через технологічні обмеження. 34% компаній бачили випадки неправильної діагностики як прямий результат поганої якості зображення або відео. Ця проблема певною мірою є результатом тієї, що виникла раніше: щоб гарантувати безперебійну сесію, програмне забезпечення для відеоконференцій часто й автоматично знижує якість зображення. Однак проблеми також можуть виникати в результаті перевантаження серверів або маршрутів зв'язку.

Як це може бути виправлено? У цій сумній ситуації не все залежить від медичної фірми. Джерело проблеми може полягати в неякісному обладнанні зі

сторони клієнта. Незважаючи на це, бізнес повинен зробити все можливе, щоб зменшити ймовірність виникнення проблем, надавши резервну ємність (у випадку, якщо для телеконференцій використовуються локальні сервери) та інший шлях зв'язку.

5) Застарілі операційні системи. 73% компаній у сфері телемедицини покладаються на технології, що працюють на основі старих операційних систем. Це може мати місце в певних ситуаціях через вимоги сумісності; однак це також може бути наслідком дорогого оновлення або простої нестачі компетентних ІТ-працівників. Застаріла система в мережі, яка піддається атакам, може діяти як точка входу для зловмисників і використовуватися для крадіжки даних пацієнтів, а також для завдання шкоди телемедичній діяльності.

Як це може бути виправлено? Зрозуміло, що операційні системи повинні завжди мати найновіші оновлення, якщо це взагалі можливо. Тим не менш, це не завжди реально, особливо при використанні, наприклад, застарілого медичного обладнання. У цьому конкретному сценарії рекомендується ізолювати вразливі системи в окремій автономній частині мережі та оснастити їх конкретними рішеннями безпеки, які можуть працювати в режимі, відомому як Default Deny.

2.3 Вимоги до якості трафіку у телемедицині

За словами Нанди та Фернандеса, у медичному середовищі важливо, щоб мережеві програми працювали з хірургічною точністю, інакше результат може бути фатальним як для пацієнтів, так і для майбутньої спільноти в телемедицині. Щоб це стало можливим, необхідно, щоб інформаційні сигнали досягали кінцевого місця з високим ступенем надійності та передбачуваності.

Вважається, що такі системи мають суворі обмеження QoS в реальному часі, та якщо їх не дотримуватись, це може призвести до катастрофи. Наприклад, необмежена затримка та джиттер в системі керування телеробототичною хірургією можуть призвести до нестабільності контуру керування та збою [29]. Нарешті, доступність ресурсів також є обов'язковою в мережах охорони здоров'я, оскільки створений трафік може мати вирішальне значення для здоров'я та життя пацієнтів.

IP-мережа — це мережа на основі пакетів, яка є непередбачуваною системою з параметрами, які змінюються залежно від використання мережі. Для того, щоб подолати проблеми, пов'язані з такою системою, і все ще мати можливість забезпечити якісні передачі, зазвичай пропонується наступне:

1) Диференціація трафіку та визначення пріоритетів.

2) Транспортна техніка та охорона.

3) Контроль і приховування помилок.

4) Використання схем кодування, які забезпечать низькі швидкості передачі даних без шкоди для якості, щоб задовольнити систему з низькою ємністю.

2.3.1 Вимоги QoS до телемедичних послуг

QoS (Quality of Service, рівень сервісу або обслуговування) – технологія, що дозволяє забезпечити спеціальний рівень обслуговування для конкретних користувачів або додатків без шкоди решті трафіку. Вона дозволяє розставляти пріоритети і надавати важливому трафіку більш велику частину смуги пропускання. Це дієвий інструмент, за допомогою якого можна визначати пріоритети для різних видів трафіку.

Головна мета QoS це забезпечення більш передбачуваної поведінки мережі передачі даних при роботі з тим чи іншим типом трафіку, шляхом забезпечення необхідної смуги пропускання, контролем над затримкою і джиттером і поліпшенням характеристик при втраті пакетів.

Основні вимоги QoS до різних видів телемедичних сервісів представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Вимоги QoS до телемедичних послуг [25]

Application Type	Необхідна пропускна здатність	Мала затримка	Малий джиттер	Контекстно чутливі
Телеконсультація	Висока	Так	Так	Так
Теледіагностика	Висока	Так	Ні	Так
Телемоніторинг	Низька	Ні	Ні	Так
Телеосвіта	Висока	Ні	Ні	Ні
Доступ до БД	Низька/ Висока	Ні	Ні	Так

Основні вимоги QoS для передачі медичних даних представлені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Вимоги QoS для передачі медичних даних [26]

Послуги	Швидкість передачі даних	Максимальна затримка	Втрата пакетів
Аудіо	4–25 kbps	150–400 ms	3%
Відео	32–384 kbps	150–400 ms	1%
Електрокардіограма	1–20 kbps	~ 1 секунда	0
Передача файлів	Не доступно	Не доступно	0

Що стосується вимог і пріоритетів потоку, автори приходять до наступного висновку:

- Вимоги до відео: стійкість до втрати, затримка та низький пріоритет;
- Вимоги до зображення: нетерпимість до втрати, терпимість до затримки та середній пріоритет;
- Вимоги до ЕКГ: нетерпимість до втрат і помилок, високий пріоритет.

2.3.2 Приорітеризація трафіку

Після класифікації трафіку його потрібно ранжувати відповідно до порядку пріоритету, на який він потребує. Зазвичай трафік класифікується за змістом, а не за контекстом, однак, у 2010 р. запропонували [26], що контекст обслуговування з точки зору надзвичайних ситуацій або пацієнта критичний, але й не критичний також є вирішальним в механізмах планування руху. Вони натякали на важливість розрізняти медичні вимоги до реального часу та нереального часу для діагностики. Щоб забезпечити найкращу координацію, секції з надзвичайних ситуацій мають бути пріоритетними над сесіями, які не є невідкладними [27].

Для визначення пріоритетів можна використовувати наступну таблицю (табл. 2.3):

Таблиця 2.3 – Приоритетизація трафіку телемедичного трафіку

Трафік	Приоритет
1	2
Невідкладні послуги та телеоперації	Найвищий

Продовження таблиці 2.3.

1	2
Телеконсультація та телеуправління в режимі реального часу	Високий
Теледіагностика та Телемоніторинг	Середньо високий
Телеосвіта	Середній низький
Medical data exchange	Низький

У цьому розділі було розглянуто сучасні виклики для сфери телемедицини та проблеми забезпечення необхідного рівня якості послуг. Зараз телемедицина активно допомагає зі скороченням кількості наявних відділень невідкладної допомоги, захищає ресурси охорони здоров'я та зменшує поширення COVID-19. Звідси впливає проблема великих навантажень систем. Було зазначено 5 основних проблем телемедичних систем та розглянуто основні вимоги QoS до телемедичних послуг та медичних даних. Робимо висновок, що телемедицина потребує модернізації існуючих моделей та включення сучасних технологій та систем.

З ОГЛЯД СУЧАСНИХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ, ЯКІ МОЖУТЬ БУТИ ВИКОРИСТАНІ У СКЛАДІ ТЕЛЕМЕДИЧНИХ СИСТЕМ

3.1 Застосування SDN мереж у сучасних системах

SDN — це підхід до створення мережі, який використовує програмні контролери або API для комунікації з апаратною інфраструктурою та маршрутизації трафіку у мережі.

Ця модель відрізняється від тієї, що використовується звичайними мережами, які використовують для керування потоком даних у мережі спеціалізоване обладнання (тобто маршрутизатори та комутатори). SDN мережа здатна створювати і керувати віртуальною мережею, а також керувати звичайним обладнанням програмно.

SDN забезпечує новий метод керування маршрутизацією пакетів даних через централізований сервер. Віртуалізація мережі дозволяє організаціям сегментувати різні віртуальні мережі в межах однієї фізичної мережі або підключати пристрої в різних фізичних мережах для створення єдиної віртуальної мережі.

3.1.1 Переваги SDN над традиційними мережами

У порівнянні зі звичайними мережами, SDN — це величезний стрибок уперед, оскільки він дозволяє багато раніше неможливих речей [11]:

1) Розробникам більше не потрібно вручну програмувати кілька апаратних пристроїв, які специфічні для конкретного виробника, щоб контролювати потік трафіку по мережі. Замість цього вони можуть контролювати потік трафіку, просто програмуючи відкритий стандартний програмний контролер. Це призводить до підвищення контролю разом із збільшенням швидкості та гнучкості. Адміністратори мереж також мають більше можливостей для вибору, коли справа доходить до мережевого обладнання, оскільки вони можуть вибрати один протокол для підключення до будь-якої кількості апаратних пристроїв через централізований контролер, що забезпечує їм більшу гнучкість.

2) Інфраструктура мережі, яка може бути адаптована до конкретних потреб. За допомогою програмно-визначеної мережі адміністратори можуть налаштовувати мережеві послуги та призначати віртуальні ресурси з єдиного централізованого місця, щоб вносити зміни в інфраструктуру мережі в режимі реального часу. Це дозволяє адміністраторам мережі оптимізувати потік даних через мережу та визначити пріоритети програм, які потребують більшої доступності.

3) Надійність та безпека. SDN мережа забезпечує більш цілісне уявлення про всю мережу і, як наслідок, пропонує більш повну картину потенційних ризиків безпеки. Завдяки поширенню розумних пристроїв, які підключаються до Інтернету, SDN пропонує очевидні переваги перед традиційними мережами. Оператори можуть створити окремі зони для пристроїв, які потребують різних рівнів безпеки, або негайно помістити скомпрометовані пристрої в карантин, щоб вони не могли заразити решту мережі.

Ключова відмінність SDN від традиційної мережі полягає в інфраструктурі: SDN базується на програмному забезпеченні, тоді як традиційна мережа — на апаратній основі. Оскільки рівень управління створений на основі програми, SDN набагато гнучкіший, ніж традиційна мережа. Це дозволяє адміністраторам керувати мережею, змінювати параметри конфігурації, надавати ресурси та збільшувати пропускну здатність мережі — і все це з централізованого інтерфейсу користувача без необхідності додаткового обладнання. Існують додаткові відмінності з точки зору безпеки між програмно-визначеними мережами та звичайними мережами. SDN забезпечує покращену безпеку різними способами, одним із яких є покращення видимості та здатність проєктувати безпечні шляхи. Однак, оскільки програмно-визначені мережі використовують централізований контролер, захист контролера має вирішальне значення для підтримки роботи безпечної мережі.

3.1.2 Як працюють мережі SDN

Програмне та апаратне забезпечення розділені в SDN так само, як і в інших віртуалізованих системах. SDN переносить площину управління, яка вирішує, куди передавати трафік, з апаратного забезпечення на програмне забезпечення, а площина даних, яка фактично направляє трафік, залишається в

апаратному забезпеченні. Це дає можливість мережевим адміністраторам, які працюють із програмно-визначеною мережею, конфігурувати та керувати всією мережею через єдиний інтерфейс, замість того, щоб робити це від пристрою до пристрою.

Типова архітектура SDN складається з трьох компонентів, кожен з яких може бути розташований в окремому фізичному місці [12] (рис. 3.1). Включає наступні компоненти:

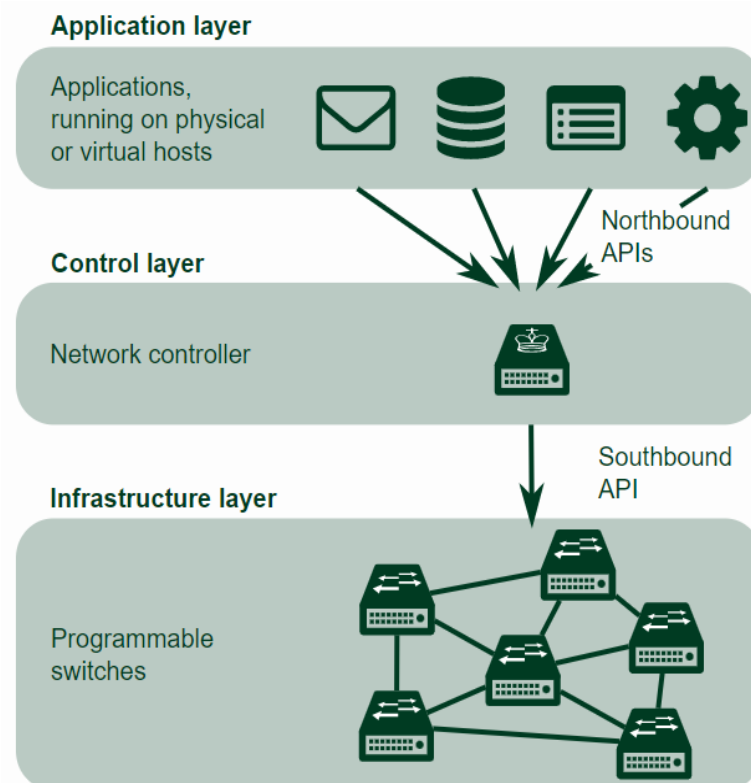


Рисунок 3.1 – Концепт архітектури SDN

Додатки – програми, які передають інформацію про мережу в цілому або запити на конкретні ресурси.

Контролери – приймають рішення про шлях, по якому буде проходити пакет даних на основі інформації, наданої додатками.

Мережеві пристрої – пристрої, які відповідають за отримання інструкцій від контролера про те, куди потрібно перемістити дані.

Фізичні або віртуальні мережеві пристрої фактично переміщують дані через мережу. У деяких випадках функції фізичних комутаторів беруть на себе віртуальні комутатори, які можуть бути вбудовані в програмне або апаратне

забезпечення. Ці віртуальні комутатори об'єднують функції фізичних комутаторів в один інтелектуальний комутатор. Комутатор перевіряє пакети даних, а також віртуальні машини, які є адресатами пакетів, перш ніж продовжити передачу пакетів.

3.1.3 Існуючі моделі SDN

Хоча концепція централізованого програмного забезпечення, що керує потоком даних у маршрутизаторах і комутаторах, є універсальною для всіх реалізацій програмно-визначених мереж, існують різні моделі SDN.

Open SDN: адміністратори мережі використовують такий протокол, як OpenFlow, щоб контролювати поведінку віртуальних і фізичних комутаторів на рівні даних.

SDN на основі API: замість використання відкритого протоколу, інтерфейси програмування прикладних програм контролюють, як дані переміщуються по мережі на кожному пристрої.

SDN Overlay Model: інший тип програмно-визначеної мережі, що запускає віртуальну мережу поверх існуючої апаратної інфраструктури, створюючи динамічні тунелі до різних локальних і віддалених центрів обробки даних. Віртуальна мережа розподіляє смугу пропускання по різноманітним каналам і призначає пристрої кожному каналу, залишаючи фізичну мережу недоторканою.

Hybrid SDN: модель поєднує SDN з традиційними мережевими протоколами в одному середовищі для підтримки різних функцій у мережі. Стандартні мережеві протоколи продовжують спрямовувати частину трафіку, тоді як SDN бере на себе відповідальність за інший трафік, дозволяючи мережевим адміністраторам поетапно впроваджувати SDN у застаріле середовище.

3.1.4 Застосування SDN у телемедичних системах

Збільшення кількості користувачів Інтернету під час пандемії COVID-19 вимагало значної пропускнуєї спроможності, особливо під час синхронних медичних консультацій у режимі реального часу. Це спричинило проблеми, пов'язані з перевантаженням мережі [10].

Аналогічним чином, пандемія COVID-19 зараз дуже сильно впливає на використання Інтернету через роботу з дому, що призводить до максимального використання Інтернету. При цьому необхідно як передавати відео високої якості, так і забезпечувати необхідний та швидкий канал зв'язку між лікарем та пацієнтом [10]. Тому, як варіант вирішення зазначених умов, розглядається застосування мереж SDN для підтримки якості обслуговування в телемедицинських консультаціях. У результаті пропонується застосувати SDN для покращення якості сервісів телемедицини. SDN визначає та контролює, як трафік повинен бути маршрутизований, забезпечуючи менші затримки та найкращу продуктивність для телемедицинських консультацій [29].

На сьогодні, зв'язок між багатьма пристроями і своєчасна передача даних є двома найбільш гострими проблемами у телемедицині [9]. У такій ситуації інтеграція SDN може розглядатися як гарне рішення, яке гарантує як гнучкість, так і ефективність мережі. Це дозволяє встановлювати з'єднання між різними пристроями та надає різноманітні мережеві послуги, включаючи керування мережею та трафіком, виявлення систем, політику аутентифікації та контроль доступу.

Дорожній план для телемедицини з покращеним QoS на основі SDN був запропонований мною та опробований на дев'ятій міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатизації» [29]. У результаті було рекомендовано використовувати SDN, щоб забезпечити достатню пропускну здатність і дозволити передачу медичних даних у режимі реального часу. На основі цього дорожнього плану була створена наступна архітектура [11] (рис. 3.2).

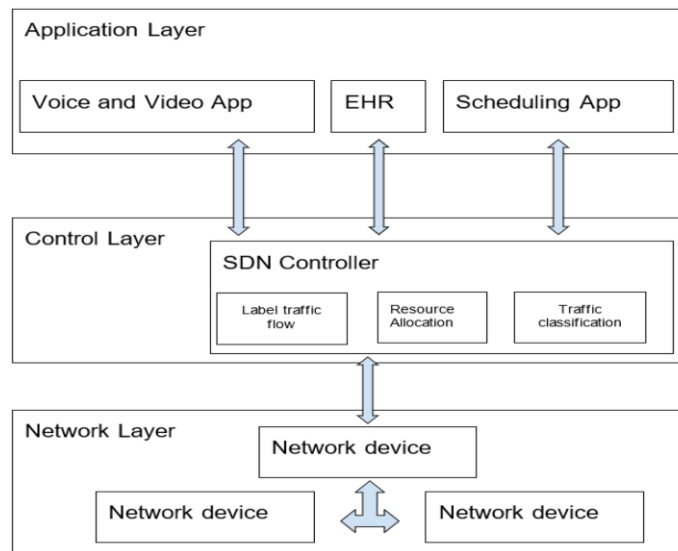


Рисунок 3.2 – Архітектура що пропонується

На рис. 3.2 показана запропонована архітектура телемедицини на основі SDN, яка ілюструє, що прикладний рівень складається з додатків, що використовуються для медичних консультацій. Залежно від розміру та ресурсів постачальника телемедичних послуг, програми можуть включати, зокрема, програму для відео- та голосового зв'язку в реальному часі, програму для складання розкладу, електронну медичну картку, засіб перегляду діагностики, платіжний шлюз. Ці програми можуть взаємодіяти з керуючим рівнем через північний інтерфейс. За допомогою цього інтерфейсу запити додатків на мережеві ресурси надсилаються контролеру SDN. Крім того, ця архітектура дозволяє визначати пріоритети трафіку, гарантуючи, що трафік для критично важливих функцій оброблятиметься в першу чергу. Маркування та призначення мережевих ресурсів для критичних функцій обробляється лише на рівні управління.

Рівень управління транслює вимоги додатків та здійснює контроль над мережевими пристроями. Серед інших можливостей він включає функції маркування потоку трафіку, розподілу ресурсів та класифікації трафіку. Маркування трафіку використовується для визначення типу трафіку, що проходить через мережу, який використовується при розподілі ресурсів і класифікації трафіку. Ресурси виділяються залежно від типу трафіку. Наприклад, у випадку телемедицини голос і відео зазвичай є трафіком з найвищим пріоритетом. Отже, при розподілі ресурсів та класифікації трафіку контролер SDN забезпечить передачу голосового та відео трафіку без затримок

у порівнянні з іншими типами трафіку. Ці інструкції з обробки різних типів трафіку в мережі передаються контролером SDN на мережеві пристрої через південний інтерфейс.

На мережному рівні у нас є мережеві пристрої, що пересилають інструкції, передані контролером SDN. Мережеві пристрої мають таблицю потоків, де зберігаються інструкції від контролера SDN. Коли мережевий пристрій отримує новий потік, контролер SDN зв'язується з ним через Southbound інтерфейс для отримання інструкцій з обробки потоку. Отримавши потік, контролер SDN надає необхідну інформацію і передає її мережному пристрою. Потім мережний пристрій перенаправляє потік на основі отриманої інструкції та оновлює свою таблицю потоків з тією самою інструкцією. Якщо мережний пристрій знову отримує той самий потік, він може перенаправити його, використовуючи інформацію у таблиці потоків, не звертаючись до контролера SDN.

3.2 Технологія блочейн та смарт-контракти, перспективи розвитку

Останнім часом з різних секторів, у тому числі наукового та промислового, спостерігається підвищений інтерес до технології блокчейн. Блокчейн — це розподілена програмна система, яка полегшує обробку транзакцій та дозволяє обробляти їх без необхідності мати довірену третю сторону. Завдяки цьому бізнес-процеси, пов'язані з управлінням компанією, можна виконувати швидко та недорого. Крім того, незмінність блокчейнів також забезпечує збереження гарантованої довіри, оскільки майже неможливо підробити будь-які транзакції, які зберігаються в блокчейнах, оскільки вся історія транзакцій піддається аудиту та відстеженню. Розглянемо цю технологію більш детально.

3.2.1 Огляд технології блокчейн

Розподілена база даних, яка є спільною для всіх вузлів комп'ютерної мережі, називається блокчейном. Блокчейн можна розглядати як електронну базу даних, яка містить інформацію в цифровому форматі. Блокчейни, мабуть, найкраще визнані за їх життєво важливу функцію в криптовалютних системах, таких як біткойн, у яких вони використовуються для ведення загальнодоступної

книги транзакцій, яка є безпечною та децентралізованою. Інновація, яку приносить блокчейн, полягає в тому, що він забезпечує точність і безпеку запису даних і створює довіру без потреби третьої сторони, на яку можна покладатися.

Спосіб організації даних є однією з основних відмінностей, які можна провести між традиційною базою даних і блокчейном. Блокчейн організовує дані, які він зберігає, у групи, які називаються блоками, і кожен блок може зберігати певний набір даних. Коли обсяг пам'яті блоку вичерпується, він закривається і з'єднується з блоком, який був перед ним. Це створює ланцюжок даних, який називають блокчейном. Блоки мають різну місткість. Усі щойно отримані дані, які надходять після блоку, щойно доданого до ланцюжка, збираються у щойно сформований блок, який після його завершення також додається до ланцюжка.

У БД дані часто організовуються в таблиці, але в блокчейні дані організовані, як впливає з назви технології, у блоки, що з'єднані разом та називаються чейнами. При децентралізованому застосуванні ця структура даних неминуче генерує необоротну часову шкалу даних. Коли блок повністю заповнений, інформація, що міститься всередині нього, є незмінною і додається до цієї шкали часу. Коли до ланцюжка додається новий блок, цей блок отримує точну позначку часу, пов'язану з його додаванням до ланцюжка. Важливою складовою блокчейну є смарт-контракти.

3.2.2 Смарт-контракти

Контракти регулюють більшу частину нашого професійного та особистого життя, і вони мають вирішальне значення для функціонування сучасного суспільства. Смарт-контракти відіграють вирішальну роль у блокчейні, оскільки вони допомагають зробити транзакції більш безпечними та ефективними. Крім того, це робить інші компоненти, такі як програми, які працюють на різних платформах, більш доступними. Але що таке смарт-контракт?

Смарт-контракти — це контракти, де умови угоди між покупцем і продавцем закодовані безпосередньо в комп'ютерному коді. За словами Ніка Сабо, американського вченого-комп'ютерщика, який створив віртуальну валюту «Bit Gold» у 1998 році, смарт-контракти — це комп'ютеризовані

протоколи транзакцій, які виконують умови контракту. Що в свою чергу робить транзакції видимими, безвідкличними та підданими аудиту.

Смарт-контракти працюють дотримуючись виконання ряду простих операторів «якщо/коли...то...», які зберігаються у вигляді коду в блокчейні [13]. Коли визначені заздалегідь умови будуть виконані та перевірені, мережа комп'ютерів виконає встановлені дії. Ці дії можуть включати видачу платежів або квитків відповідним особам або надсилання повідомлень. Після завершення обробки транзакції блокчейн оновлюється. Це означає що транзакцію більше не можна змінити жодним чином, і що результати можуть бачити лише сторони яким надано дозвіл на їх перегляд. Кількість умов, які можна включити в смарт-контракт, не обмежена, що дозволяє сторонам бути впевненими, що операція буде виконана в повному обсязі. Весь життєвий цикл смарт-контрактів складається з чотирьох послідовних фаз (рис. 3.3).

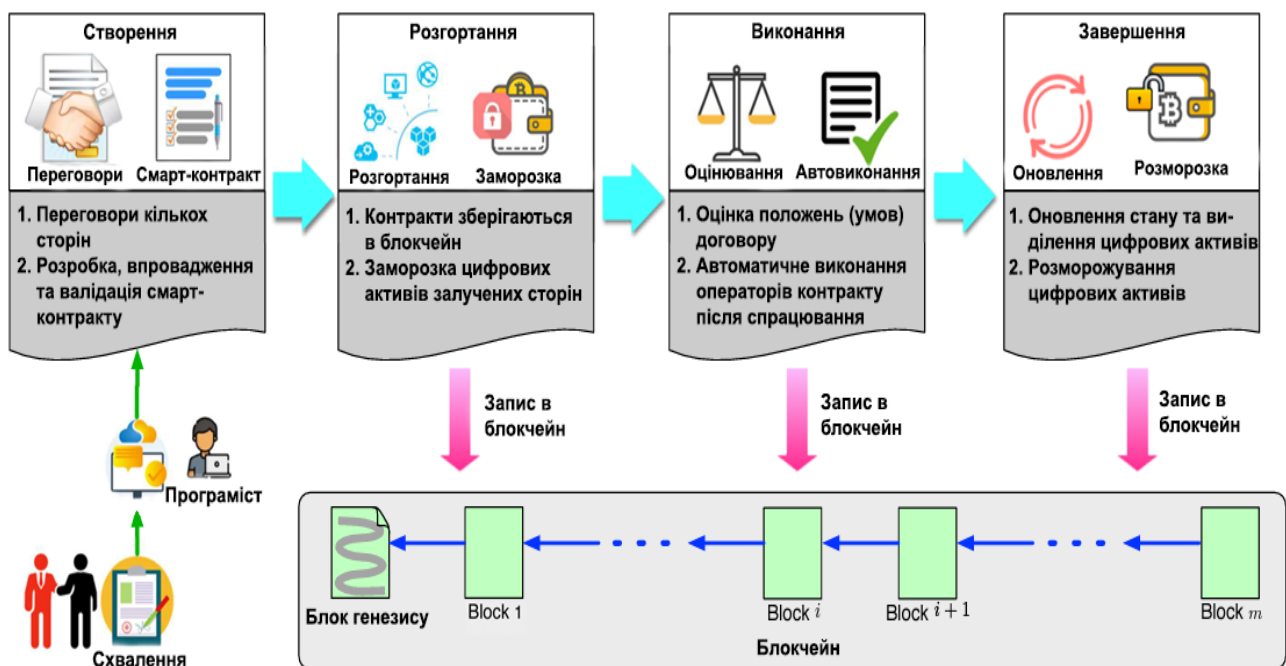


Рисунок 3.3 – Схема роботи смарт-контракту

Основними перевагами смарт-контрактів є:

1) Швидкість, ефективність і точність. Як тільки умова виконується, договір миттєво вступає в дію. Оскільки смарт-контракти цифрові й автоматизовані, немає необхідності брати участь у паперовій роботі, а також не

потрібно витратити час на узгодження будь-яких помилок, як це часто буває, коли документи заповнюються вручну.

2) Важливі як довіра, так і відкритість. Немає необхідності сумніватися, чи маніпулювали інформацією з метою особистої вигоди, оскільки третя сторона не залучена, а зашифровані записи транзакцій поширюються між всіма учасниками.

3) Безпека. Оскільки записи транзакцій в блокчейні зашифровані, їх дуже важко зламати. Крім того, у розподіленій книзі кожен запис прив'язаний до запису, який був перед ним, і запису, який буде після нього. Це означає, що хакерам потрібно буде змінити весь ланцюжок, щоб змінити один запис.

4) Економія. Смарт-контракти усувають потребу в посередниках для обробки транзакцій і, відповідно, пов'язаних з ними затримок і зборів.

Як і будь-який інший контракт, смарт-контракти окреслюють умови комерційної угоди або транзакції. На відміну від звичайного контракту, умови смарт-контракту реалізуються у вигляді коду, який виконується на блокчейні, такому як, наприклад, Ethereum. Смарт-контракти дозволяють розробникам створювати додатки, які використовують переваги безпеки, надійності та доступності блокчейну, одночасно пропонуючи складні однорангові функціональні можливості — усе від кредитів і страхування до логістики та ігор. На додаток до вдосконалення основного принципу біткоіна — що гроші можна передавати та отримувати без «довіреного посередника», такого як банк, — смарт-контракти дозволяють безпечно автоматизувати та децентралізувати практично будь-яку форму угоди чи транзакції, незалежно від її складності. І оскільки вони побудовані на блокчейні, такому як Ethereum, вони гарантують анонімність, надійність і доступність з будь-якого місця.

3.2.3 Мережа Ethereum

Ethereum, що був запущений у 2015 році, займає друге місце за ринковою капіталізацією після біткоіна. На відміну від біткоіна, він не був створений для того, щоб бути цифровою валютою. Натомість засновники вирішили створити новий тип глобальної децентралізованої обчислювальної платформи, яка використовує безпеку та відкритість блокчейнів і поширює ці властивості на широкий спектр додатків.

Ethereum — це розподілена публічна блокчейн-мережа, яка була розроблена з метою виконання програмного коду будь-якого децентралізованого додатку. Простіше кажучи, це платформа, яка дозволяє користувачам з усього світу ділитися інформацією, якою неможливо маніпулювати або змінювати жодним чином.

Ether — децентралізована цифрова валюта, скорочено ЕТН. Крім того, що можна торгувати за допомогою ефіру, свого роду криптовалюти, яка була змодельована за моделлю Ethereum і яку можна використовувати для сплати комісій за транзакції, а також для доступу до безкоштовних послуг, Ether – це ключ до відкриття більш інтелектуальної та фінансової платформи.

Все, від фінансових інструментів та ігор до складних баз даних, вже працює на блокчейні Ethereum. І його майбутній потенціал обмежений лише уявою розробників. Як зазначає некомерційна організація Ethereum Foundation: «Ethereum можна використовувати для кодифікації, децентралізації, захисту та торгівлі майже чим завгодно».

Ethereum, як і Bitcoin, є проектом з відкритим вихідним кодом, який не належить і не керується окремою особою. Будь-хто, хто має підключення до Інтернету, може запустити вузол Ethereum або взаємодіяти з мережею.

Подібно до того, як децентралізований блокчейн Bitcoin дозволяє двом незнайомцям з будь-якої точки світу відправляти або отримувати гроші без банку-посередника, смарт-контракти, що працюють на децентралізованому блокчейні Ethereum, дозволяють розробникам створювати складні програми, які повинні працювати точно так, як запрограмовано без необхідності простою, цензури, шахрайства або стороннього втручання.

ЕТН наразі захищений блокчейном Ethereum приблизно так само, як біткойн захищений його блокчейном. Величезний обсяг обчислювальної потужності — наданий усіма комп'ютерами в мережі — перевіряє та захищає кожен транзакцію, що робить практично неможливим втручання будь-якої третьої сторони.

Для реалізації телемедичної системи на основі смарт-контрактів, у 4 розділі, буде обрана саме блокчейн-мережа Ethereum.

3.2.4 Застосування технології блокчейн у медичних системах

Використання децентралізованої системи має багато переваг, зокрема можливість захистити конфіденційність медичної компанії та конфіденційність її споживачів.

На рис. 3.4 зазначено ключові елементи та особливості технології блокчейн в рамках телемедицини.

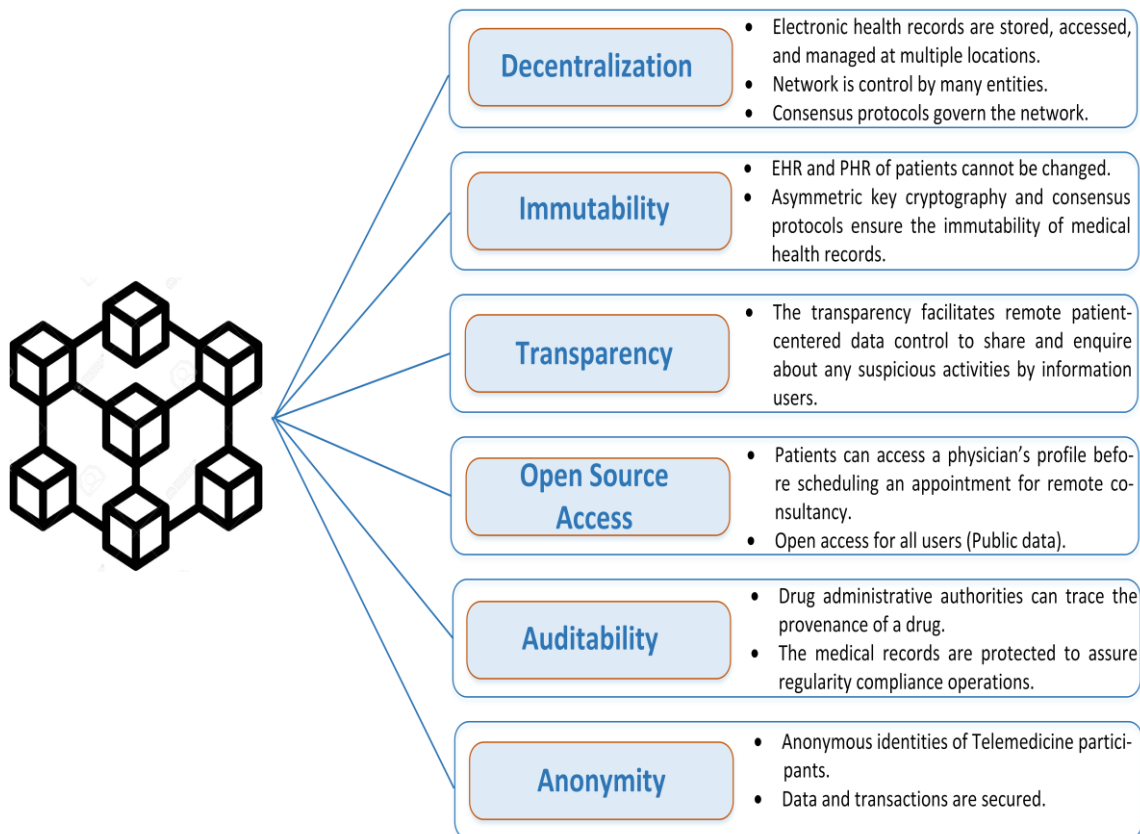


Рисунок 3.4 – Ключові особливості блокчейну у телемедицині

Реалізація довіри, підзвітності та прозорості досягається за допомогою розгортання приватного блокчейну, який захищає конфіденційність як пацієнтів, так і медичних працівників. Використовуючи цифрові смарт-контракти, які можна програмувати, можливо реєструвати користувачів і виконувати три основні цілі індустрії телемедицини: телеконсультації, прийом ліків і медичне тестування пацієнтів.

Представлено загальну систему телемедицини, яку можна використовувати в різних ситуаціях і додатках медицини з найменшими зусиллями та налаштуванням. Кожна функція, яка виконується, генерує подію,

яка задокументована та має часові позначки для подальшого відстеження довідок та історії.

Порівняння традиційних, централізованих і підтримуваних блокчейном систем телемедицини можна побачити на табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняння телемедичних систем

	Традиційна Медична система	Централізована система телемедицини	Телемедицина з підтримкою блокчейну
Вартість	Висока	Низька	Низька
Час очікування пацієнта	Дуже високий	Низька	Низька
Відмовостійкість	-	-	+
Вимоги до відвідування	+	-	-
Дані походження	-	-	+
Маніпулювання медичними картами	+	+	-
Документація	+	+	-
Системне адміністрування	Централізовано	Централізовано	Децентралізовано
Аудиторські випробування	-	-	+
Конфіденційність та безпека даних	Важко	Важко	Легко
Прозорість	-	-	+
Надійність і цілісність	Низька	Низька	Висока

У цьому розділі було досліджено 2 найбільш релевантні технології, які можуть бути використані у складі телемедичних систем. Був проведений аналіз можливостей, наведено переваги та особливості застосування, обрані технології для подальшої реалізації архітектури на основі цих даних у наступному розділі.

4 ПОБУДОВА ТЕЛЕМЕДИЧНОЇ АРХІТЕКТУРИ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН ЗАДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОТРІБНОГО РІВНЯ ЯКОСТІ ПОСЛУГ

Як вже було зазначено вище, з моменту спалаху пандемії коронавірусу (COVID-19) телемедицина набула значної популярності. Вона дозволяє лікарям і постачальникам медичних послуг доглядати за пацієнтами, контролювати їхні симптоми та проводити терапію віддалено. Як вже було проаналізовано, сучасні системи телемедицини не здатні надавати видимі, незмінні, відстежувані, перевірені, безпечні та надійні послуги своїм користувачам і пацієнтам. Крім того, вони централізовані і схильні до єдиної точки контролю та відмови, що робить їх менш надійними. Далі мною буде запропоновано приватне рішення на основі блокчейна як засіб для вирішення вищезазначених проблем. Буде показано, як технологія блокчейн може поліпшити три основні телемедичні послуги, а саме телеконсультації, введення ліків та медичне тестування.

Запропонована система також буде гарантувати цілісність, незмінність, підзвітність та безповоротність транзакцій телемедицини, здійснених кількома сторонами. Запропоноване рішення інтегроване з позамережевими системами зберігання, такими як хмарне сховище або децентралізована система зберігання даних для відстеження цифрових активів, таких як зображення та аудіо- та відеозаписів сеансів телемедичних консультацій.

4.1 Структура запропонованого рішення на основі блокчейну

Блокчейн — це незмінний і захищений від несанкціонованого доступу реєстр, який зберігає свою інформацію в розподіленому реєстрі, доступному для всіх учасників. Однорангова мережа з незмінними журналами подій, які є важливим інструментом для запису та відстеження історичних подій. Використання децентралізованої системи має багато переваг, зокрема можливість захистити конфіденційність медичної компанії та конфіденційність її споживачів.

Реалізація довіри, підзвітності та прозорості досягається за допомогою розгортання приватного блокчейну, який захищає конфіденційність як

пацієнтів, так і медичних працівників. Використовуючи цифрові смарт-контракти, які можна програмувати, ми можемо реєструвати користувачів і виконувати три основні цілі індустрії телемедицини: телеконсультації, прийом ліків і медичне тестування пацієнтів, які знаходяться в різних місцях. Представлено загальну систему телемедицини, яку можна використовувати в різних сценаріях і додатках у медицині з найменшими зусиллями та налаштуванням. У нашому методі кожен актор несе відповідальність за свою діяльність, використовуючи цифрові підписи, створені в блокчейні. Кожна функція, яка виконується, генерує подію, яка задокументована та має часові позначки для подальшого відстеження довідок та історії.

Щоб гарантувати дотримання обмежень в мережі, зареєстрованим учасникам надаються привілеї доступу в залежності від їхніх обов'язків та ролей. Для забезпечення захисту походження даних і отримання надійних попереджень і сповіщень, створюються смарт-контракти.

Компоненти запропонованої системи показані на рис. 4.1



Рисунок 4.1 – Компоненти запропонованої системи

Система залежить від лікарів та інших медичних працівників, які хочуть надавати послуги з лікування вдома через Інтернет або телефон. Для лікарів

дзвінки через телеконференції мають важливе значення для того, щоб бачити, чути своїх пацієнтів та оцінювати їхні потреби. Медичні ліки надаються за потреби, а медичні огляди проводяться, коли вони вважаються необхідними. Щоб зробити лікування та тестування можливими, часто використовуються кур'єрські служби. Усі відеодзвінки записуються та завантажуються до хмарного сховища або децентралізованої платформи зберігання, наприклад IPFS, для подальшого перегляду. Блокчейн використовується для керування системою, відстеження її та моніторингу її прогресу. Більш детальне пояснення функцій кожного компонента системи наведено далі.

4.1.1 Учасники

Смарт-контракти повинні використовуватися сторонами для взаємодії, щоб зробити процес телемедицини більш ефективним на блокчейні. Як видно на рис. 4.1, учасниками є пацієнти, які лікуються на дому. Крім того, на схемі зображені лікарі та медсестри, які підключені до пацієнта через віддалене з'єднання. Окрім медичних закладів, таких як лікарні та медичні центри, кур'єрські служби відіграють важливу роль у процесі покращення дистанційного медичного обслуговування та надання пацієнтам можливості пройти обстеження та лікування за місцем проживання. Крім того, оскільки практикуючі лікарі вимагатимуть ліки, коли це необхідно для зареєстрованих пацієнтів, афілійовані аптеки також є важливими учасниками, як і медичні страхові компанії, щоб покрити витрати на лікування застрахованих пацієнтів, які охоплені страховою програмою. Крім того, Міністерство охорони здоров'я є вищим органом, який запевняє, що всі медичні працівники та фармацевтичні препарати схвалені та зареєстровані у відповідних органах. Це гарантує збереження довіри та управління.

4.1.2 Рівень інтерфейсу та API

Учасники можуть підключатися до блокчейну за допомогою DApps, які взаємодіють з децентралізованим блокчейном через інтерфейси програмного забезпечення (API). Можна використовувати різноманітні API для побудови ефективної комунікації між учасниками та блокчейном.

Як видно на рис. 4.1, ці API включають серед інших Web3.js, Infura,

RestHTTP та JSON RPC. Ці API допомагають надавати відповіді на запити та підписки.

4.1.3 Смарт-контракти

В рамках реалізації було створено чотири смарт-контракти. Смарт-контракти були побудовані в Solidity з використанням інтегрованого середовища розробки Remix IDE [22].

Першим смарт-контрактом є Reg_SC. Щоб гарантувати, що лише авторизовані користувачі можуть взаємодіяти в мережі та виконувати виклики функцій, необхідно створити смарт-контракт Reg_SC. Він має функції реєстрації лікарів, медсестер та кур'єрів. Це також може перешкодити раніше зареєстрованому учаснику отримати права доступу або виконувати виклики функцій після того, як він або вона зареєструвалися, що досягається за допомогою зіставлення, логічних змінних та адрес Ethereum (EA) учасників.

Змінні та функції Reg_SC передаються до кожного іншого з трьох інших смарт-контрактів. Це пов'язано з тим, що перед виконанням будь-якого виклику SC перевірить, що EA абонента авторизовано та зареєстровано. Смарт-контракт Reg_SC також може використовуватися для допомоги в оцінці кваліфікації лікарів, медсестер та кур'єрів, які беруть участь у процесі реєстрації. Їхні EA можуть бути пов'язані із системою репутації поза мережею, а також із IPFS. Загальнодоступний файл IPFS, пов'язаний з кожним EA, містить історію, освіту, досвід роботи. Хеш IPFS зберігається тільки під час процесу реєстрації. Це важливо, щоб запобігти зберіганню величезної кількості матеріалу в блокчейні та вплинути на витрати на виконання. Для телемедичних консультацій використовуються інші смарт-контракти (наприклад, Telecons_SC, MedTest_SC, and the DrugAdm_SC), що описані далі.

4.1.4 Блокчейн

Ця розподілена та децентралізована архітектура побудована на приватному блокчейні, який є його ключовим компонентом. [23] Цифровий реєстр надійно зберігає записи всіх транзакцій і зберігає хронологічну історію, зберігаючи посилання на ці події. Смарт-контракти, які використовуються для виконання логіки за допомогою викликів функцій і подій [24], реалізовані саме

на ньому. Для збереження конфіденційності пацієнтів та конфіденційності їхніх медичних записів при розробці системи був використаний блокчейн Ethereum та надійні смарт-контракти. Система не обмежується одним блокчейном та може бути розгорнута на будь-якому іншому. Приватний блокчейн може бути обраний на основі потреб, вимог і витрат на впровадження.

4.1.5 Позамережні сховища

Взаємне сховище використовується для зберігання записаних аудіо або відеодзвінків. Телеконсультації, медичне обстеження та прийом ліків – усе це відбувається через віртуальні відеочати, які записує лікар. Потім відео завантажується лікарем до хмари або децентралізованої системи зберігання, наприклад IPFS. Хмару можна використовувати, якщо всі сторони довіряють провайдеру цієї хмари. Замість неї може бути використана повністю децентралізована система зберігання з додатковим рівнем безпеки, що забезпечується повторним шифруванням за допомогою проксі.

Це дозволить учасникам безпечно переглядати зашифровані матеріали, які були розміщені на сервері. Хеш запису використовується виключно в ланцюжку для відстеження та відстеження історії, а також як довідник для учасників, коли вони потребують цього.

4.1.6 Смарт-контракт Telecons_SC

Цей смарт-контракт призначений для задоволення всіх запитів пацієнтів які хочуть отримати консультацію не виходячи з дому. Зареєстрований пацієнт, медсестра та лікар взаємодіють один з одним через ланцюг команд, пацієнту надається необхідна консультація.

На рис. 4.2 зображена послідовність викликів функцій і подій, що виконується в смарт-контракті під час виконання останнього.

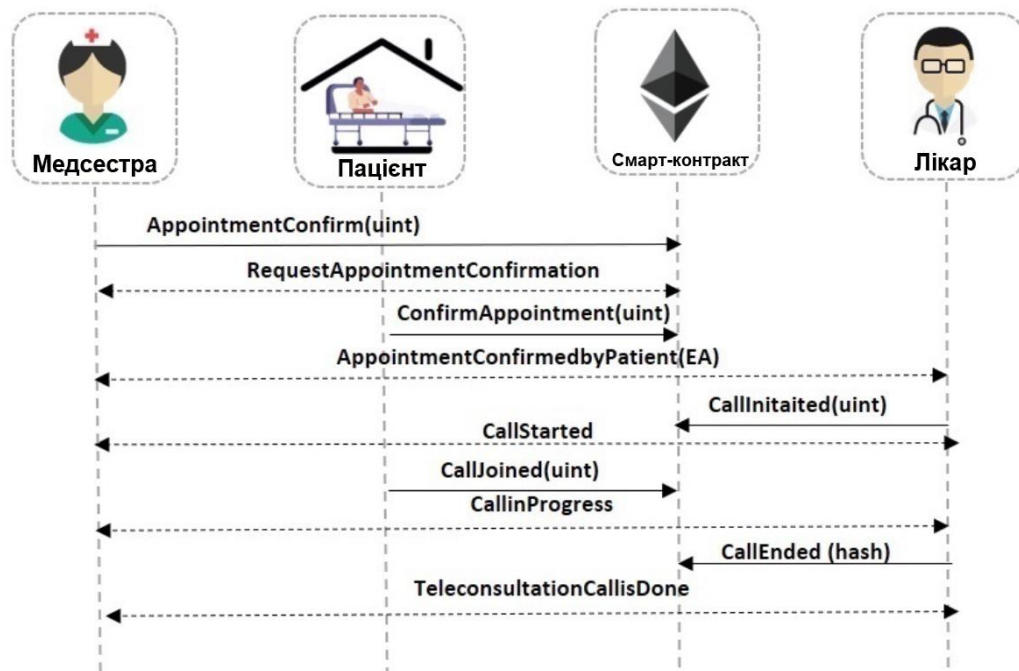


Рисунок 4.2 – Послідовність викликів функцій та подій у смарт-контракті

Медсестра спочатку підтверджує прийом пацієнта, а потім очікує відповіді від пацієнта. Після підтвердження лікар починає відеодзвінок, який записується і завантажується в децентралізоване сховище IPFS. Консультація між лікарем і пацієнтом проводиться в режимі відеоконференції. Коли вона завершується, лікар завантажує запис до IPFS і зберігає хеш запису в мережі. Хеш зберігається в блокчейні як довідник для всіх учасників, а також для моніторингу та відстеження історії.

4.1.7 Смарт-контракт DrugAdm_SC

Хворому, який лікується вдома, може знадобитися прийом ліків під наглядом лікаря і в присутності медичної сестри. Завдяки цій службі дистанційного здоров'я пацієнт зможе запросити медсестру, яка приїде до нього додому для введення ліків. Призначення ліків пацієнту має бути підтверджено віддаленим лікарем. Далі медсестра підтверджує прийом, а пацієнт очікує прибуття медсестри до його місця перебування. На рис. 4.3 зображена логіка смарт-контракту DrugAdm_SC.

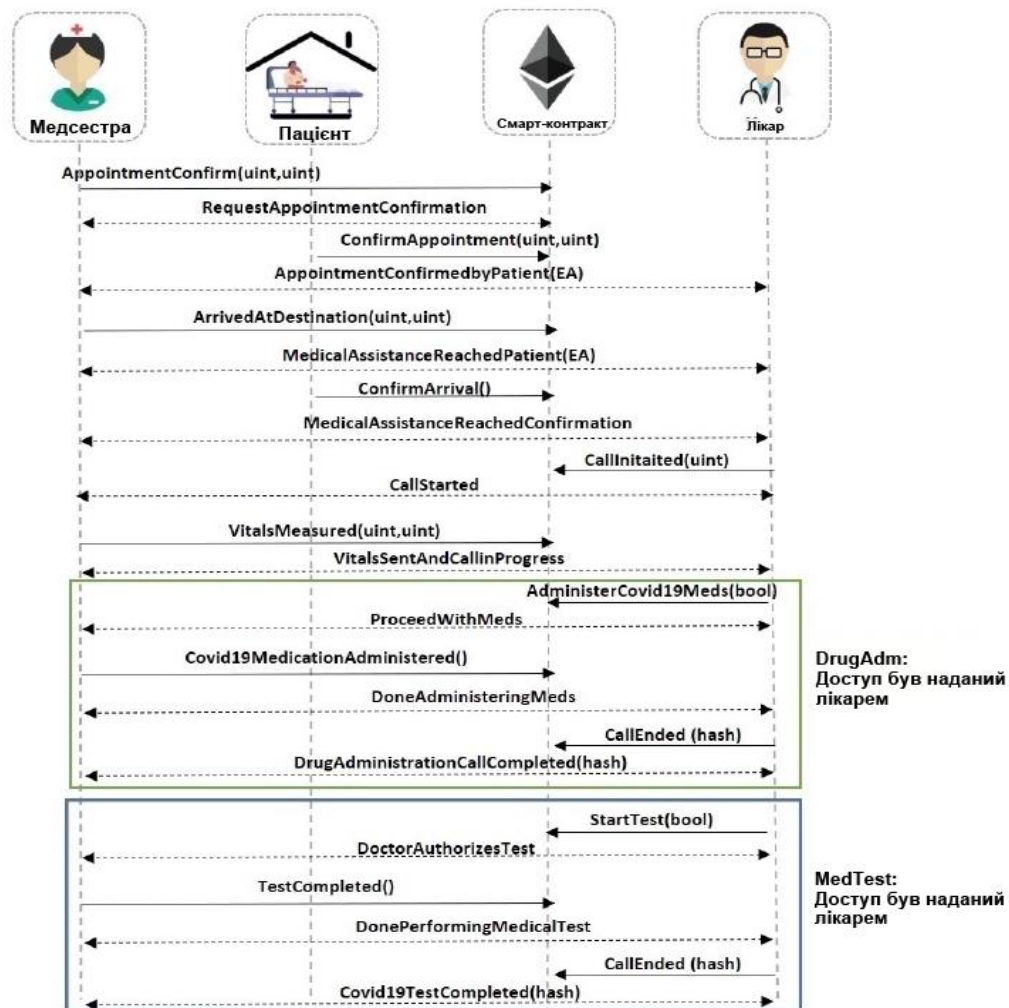


Рисунок 4.3 – Послідовність подій у смарт-контрактах DrugAdm_SC та MedTest_SC

Медсестра повідомляє про своє прибуття. Пацієнт підтверджує, що медична допомога (у вигляді медсестри) надійшла. Потім лікар починає відеовиклик і документує час у блокчейні. Медсестра вимірює життєво важливі параметри пацієнта, які включають його артеріальний тиск, температуру, ступень насичення киснем і частоту серцевих скорочень. Лікар оцінює життєві показники пацієнта, а потім вирішить, надавати пацієнту ліки чи ні. На рис. 4.3 зеленим позначена послідовність дій після того, як лікар надає дозвіл на введення лікарських засобів. Медсестра підтверджує, що пацієнту було введено ліки, дозволяючи лікарю розірвати відеоз'єднання. Потім лікар завантажує записаний відеодзвінок на IPFS. Хеш виклику використовується в мережі для покращення відстеження та запису історії. Крім того, послідовність дзвінків і подій може бути адаптована до конкретного випадку та захворювання, яке

лікується. Крім того, цей приклад телемедицини не обмежується COVID-19 або інфекційними захворюваннями, оскільки його можна використовувати для призначення ліків від інших захворювань, визначених лікарем.

Можливий також варіант введення ліків самостійно. Щоб це зробити, зареєстрований кур'єр повинен доставити медичний набір до пацієнта для введення ліків. Процес на початку виконується за тією ж процедурою, що описувалась раніше, коли призначення підтверджується як медсестрою, так і пацієнтом. Замість медсестри, яка відвідує хворого за місцем знаходження, додому доставляється медична аптечка зареєстрованим кур'єром. На рис. 4.4 відображено деталі та послідовність подій, коли кур'єр прибуває до місця розташування, а пацієнт підтверджує, що медична аптечка прибула разом із кур'єром.

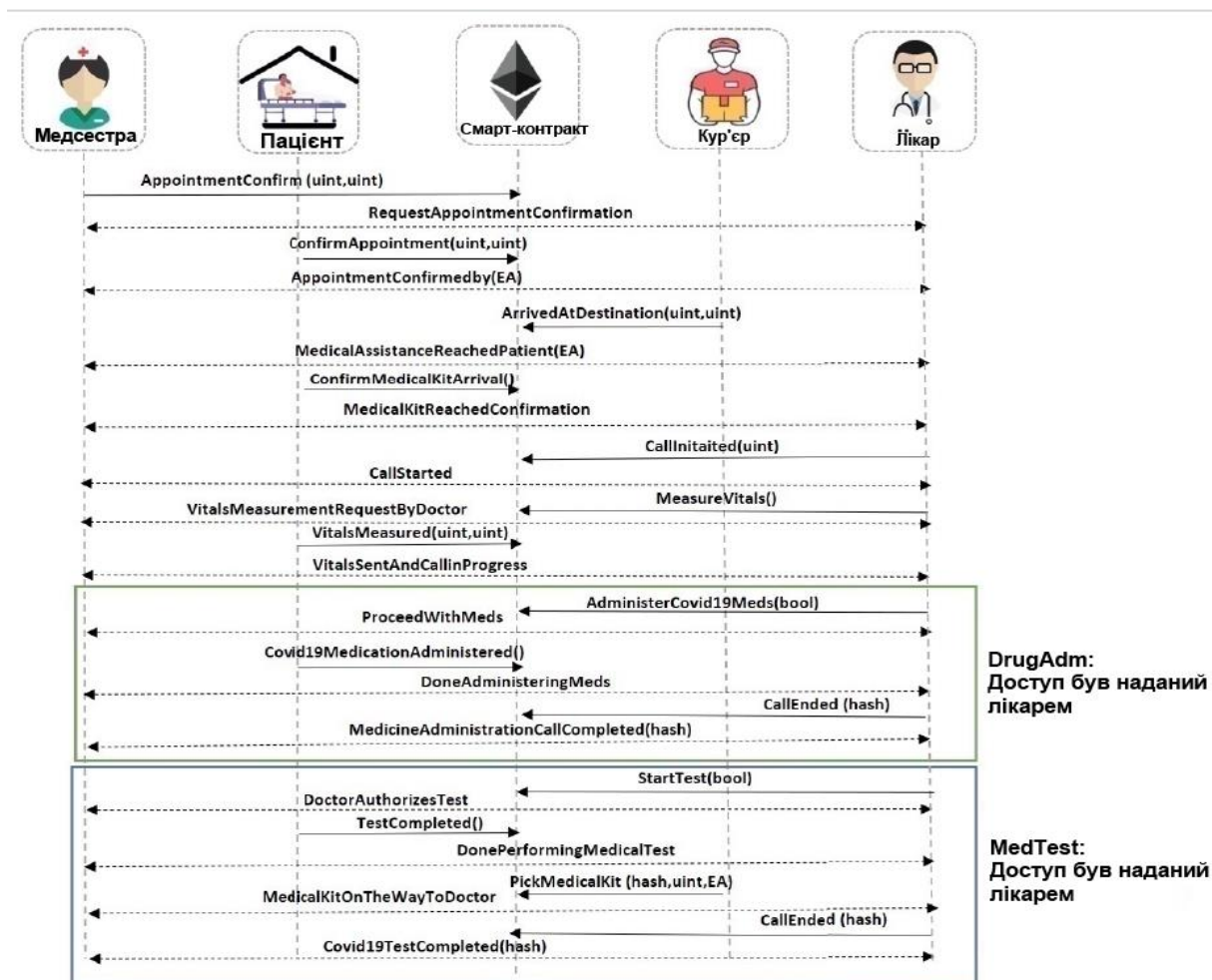


Рисунок 4.4 – Послідовність подій у смарт-контрактах DrugAdm_SC та MedTest_SC з зареєстрованим кур'єром

Роль медсестри в цій ситуації зводиться лише до підтвердження прийому пацієнта. Лікар починає відеорозмову та інструктує пацієнта, як зняти його або її життєві показники. Лікар визначає чи призначати ліки виходячи з життєвих показників пацієнта. Після цього зареєстрований лікар завершує розмову. Запис дзвінка також завантажується в IPFS, а його хеш включається в ланцюжок транзакцій.

4.1.8 Смарт-контракт MedTest_SC

Лікар може попросити пацієнта пройти медичне обстеження, щоб краще зрозуміти симптоми або оцінити прогрес організму у реагуванні на призначені препарати. У всіх випадках лікар вимагає, щоб медичне обстеження було проведено належним чином і точно, так само, як це було б у медичному закладі. Таким чином, медична сестра спочатку вимагає від пацієнта підтвердження прийому. Після підтвердження призначення, як показано на рис. 4.3, пацієнт очікує прибуття зареєстрованої медсестри для завершення процедури. Коли пацієнт підтверджує, що медсестра прибула, лікар починає відеорозмову з пацієнтом. Обов'язком медсестри є перевірка життєво важливих показників пацієнта, щоб підтвердити, що він чи вона перебуває у стабільному стані для проходження тесту. Ці процедури ідентичні тим, які виконуються перед введенням ліків.

На основі показань лікар визначає, чи має пацієнт право проходити медичне обстеження. Якщо лікар надає пацієнту дозвіл на участь у тесті, він виконує функцію під назвою StartTest (bool), яка вказує, що лікар надав дозвіл пацієнту на участь у тесті. Потім медсестра проводить тест і оголошує результати в ланцюжку. Наприкінці відеорозмова завантажується в децентралізовану систему зберігання даних, наприклад IPFS, а хеш використовується в ланцюжку для запису історії, відстеження, а також для інших цілей. Послідовність викликів функцій і подій, виділена на рис. 4.3.

Медичне обстеження також може проводитися пацієнтом без медсестри під наглядом лікаря. Для цього зареєстрований кур'єр надає пацієнту медичний набір. Він включатиме все медичне обладнання, яке знадобиться пацієнту для проходження тесту. Операція проводиться так само, як і раніше, за винятком того, що тепер пацієнт повинен чекати доставки аптечки кур'єром після підтвердження запису. На рис. 4.4 показано, як кур'єр повідомляє про прибуття

в пункт призначення, після чого пацієнт підтверджує це. Далі лікар починає дзвінок. Лікар також просить пацієнта виміряти життєві показники. Якщо лікар визначить, що пацієнт перебуває у стабільному стані, він уповноважує пацієнта проводити медичне обстеження під наглядом лікаря. Після завершення дослідження пацієнт повертає аптечку кур'єру, який потім перевозить її назад до кабінету лікаря. Зробивши знімок пакета медичного набору та завантаживши його в сховище IPFS, кур'єр додає хеш IPFS до ланцюга зберігання. Хеш зображення, яке було завантажено, підтверджує, що предмет був забраний кур'єром, а також використовується для довідки та відстеження історії від імені пацієнта. Потім лікар завершує дзвінок, а також додає хеш записаного відеодзвінка до ланцюга.

4.2 Імплементация рішення, реалізація смарт-контрактів та алгоритмів

У цій частині буде розглянуто деталі реалізації трьох основних смарт-контрактів, а саме: `Telecons_SC`, `DrugAdm_SC`, `MedTest_SC`. Код для всіх смарт-контрактів включно з `Reg_SC` розроблено в Solidity з використанням Remix IDE [22]. Далі буде розглянуто деталі функцій, алгоритмів і послідовність подій, які відбуваються в смарт-контракті. Алгоритми розташовані в хронологічній послідовності відповідно до подій. Вони починаються з підтвердження запису і закінчуються припиненням виклику лікарем. У цій концепції буде використовуватися повністю децентралізоване рішення для зберігання даних. А саме використовується хеш IPFS. Однак, якщо буде використовуватися хмарне сховище, хеш файл, збережений в хмарі, може бути використаний замість хеша IPFS.

4.2.1 Підтвердження запиту на прийом медсестрою

Три основні смарт-контракти починаються з того, що медсестра запитує у пацієнта підтвердження прийому. На рис. 4.5 можемо побачити деталі функції `AppointmentConfirm`. Ця функція може бути виконана тільки зареєстрованою медичною сестрою. Вона використовує час та адресу Ethereum (EA) як 2 параметри (лістинг 4.1).

Крім того у смарт-контрактах `DrugAdm_SC` та `MedTest_SC` ця функція також враховує вид зустрічі. Цей додатковий параметр допомагає визначати, чи

буде служба медичної допомоги на дому включати медсестру або лише кур'єра. У цьому методі спочатку перевіряється статус контракту, щоб підтвердити, що він знаходиться в першому стані, який, як передбачається, очікує на переміщення.

```

Input : patient, caller, nurse, time, state
patient / Ethereum-адреса пацієнта.
caller / Ethereum-адреса виконавця функції.
nurse / Ethereum-адреса зареєстрованої медсестри.
state / Змінна що містить стан контракту.
RegisteredPatientList / Список, у якому є всі зареєстровані пацієнти.
if caller == nurse  $\wedge$  state ==
    waitingForNewApp  $\wedge$  patient  $\in$  RegisteredPatientList
    then
        currentPatient = patient
        Видає сповіщення Request Appointment Confirmation, використовуючи EA пацієнта та час.
        state = appConfirmedbyNurse
    end
else
    Показати помилку і повернути контракт у попередній стан.
end

```

Рисунок 4.5 – Алгоритм №1 – Nurse Appointment Confirmation Request

```

function AppointmentConfirm(address patient, uint time) public
OnlyNurse {
    require(state == patient_state.waitingForNewApp);
    RegisteredPatient(patient);
    current_patient = patient;
    emit RequestAppointmentConfirmation(patient, time);
    state = patient_state.appConfirmedbyNurse;
}

```

Лістинг 4.1 – Функція на основі алгоритму №1

Крім того, EA пацієнта, який був наданий як параметр, перевіряється, щоб підтвердити, що це зареєстрований пацієнт. Ця функція оновлює стан контракту та генерує подію, яка сповіщає пацієнта про те, що зустріч підтверджена в мережі.

4.2.2 Підтвердження прийому пацієнтом

Після того як медсестра запитує у пацієнта підтвердження прийому, пацієнт виконує функцію `ConfirmAppointment`, яка слідує логіці алгоритму на рис. 4.6.

```

Input : caller, time, currentPatient, state
currentPatient / Ethereum-адреса пацієнта.
caller / Ethereum-адреса виконавця функції.
state / Змінна що містить стан контракту.
RegisteredPatientList / Список, у якому є всі зареєстровані пацієнти.
if caller == currentPatient  $\wedge$  state == appConfirmedbyNurse
  then
    Видати подію, що показує, що зустріч підтверджено пацієнтом currentPatient
    state = appConfirmedbyPatient
  end
else
    Показати помилку і повернути контракт у попередній стан.
end

```

Рисунок 4.6 – Алгоритм №2 – Appointment Confirmation by the Patient

```

function ConfirmAppointment(uint time) public OnlyPatient{
  require(state == patient_state.appConfirmedbyNurse);
  emit AppointmentConfirmedbyPatient(msg.sender);
  state = patient_state.appConfirmedbyPatient;
}

```

Лістинг 4.2 – Функція на основі алгоритму №2

Смарт-контракт `Telecons_SC` не вимагає параметра типу зустрічі, він лише приймає час як вхід. Так як інші контракти надають різноманітні послуги, які можуть включати доставку кур'єром або візит медсестри, тип зустрічі є другим параметром, який алгоритм №2 буде приймати в смарт-контрактах `DrugAdm_SC` та `MedTest_SC`.

У цьому алгоритмі стан змінюється на `appConfirmedbyPatient` і оголошується, що пацієнт підтвердив своє призначення. Для того, щоб ця функція виконувалася, виконавець функції має бути поточним зареєстрованим пацієнтом, а стан смарт-контракту повинен мати значення `appConfirmedbyNurse` (лістинг 4.2).

4.2.3 Прибуття медичного набору або медсестри

```

Input : caller, time, nurse, state, courier, appType
Courier / Ethereum-адреса зареєстрованого кур'єра
currentPatient / Ethereum-адреса зареєстрованого пацієнта.
caller / Ethereum-адреса виконавця функції.
nurse / Ethereum-адреса зареєстрованої медсестри.
state / Змінна що містить стан контракту.
appType /
If (caller == nurse  $\vee$  caller == courier)  $\wedge$  state ==
appConfirmedbyPatient then
    Видати подію про те, що медична допомога досягла пацієнта currentPatient
    if appType == 1 then
        state = NurseArrived
    end
    else
        state = KitArrived
    end
end
else
    Показати помилку і повернути контракт у попередній стан.
end

```

Рисунок 4.7 – Алгоритм №3 – Medical Kit or Nurse Arrival at the Destination

```

function ArrivedAtDestination(uint time,uint appType) public
OnlyCourierOrNurse{
    require(state == patient_state.appConfirmedbyPatient);
    emit MedicalAssistanceReachedPatient(current_patient);
    if(appType == 1)
        state = patient_state.NurseArrived;
    else if(appType == 2)
        state = patient_state.KitArrived;
    }

```

Лістинг 4.3 – Функція на основі алгоритму №3

DrugAdm_SC та MedTest_SC потребують, щоб медсестра прибула до місця проживання пацієнта або поки не прибуде кур'єр із медичною аптечкою. У результаті в алгоритмі №3 (рис. 4.7) у функції ArrivedAtDestination використовується для підтвердження того, що медична допомога прибула до місця проживання пацієнта (лістинг 4.3). Цей алгоритм не потрібен у Telecons_SC, оскільки немає необхідності в присутності медсестри чи кур'єра за місцем проживання пацієнта. У результаті ця функція визначає, чи є абонент зареєстрованою медсестрою або зареєстрованим кур'єром, перш ніж продовжити. Крім того, перевіряються тип зустрічі, а також адреса Ethereum

абонента, щоб підтвердити, що тип зустрічі пацієнта відповідає потрібній. Пацієнти з типом прийому «1» очікують, що приїде медсестра, тоді як пацієнти, які мають тип прийому «2», очікують лише медичного набору, надісланого кур'єром. Алгоритм закінчується тим, що стан оновлюється на NurseArrived або KitArrived залежно від вибраного типу зустрічі. Крім того, створюється подія, яка повідомляє про те, що зареєстрованому користувачеві надіслано медичну допомогу.

Виконання цієї функції сповіщає пацієнта про те, що йому необхідно підтвердити прибуття медичної допомоги, перш ніж лікар зможе почати відеодзвінок. Як результат, функція ConfirmArrival або ConfirmMedicalKitArrival може бути викликана зареєстрованим пацієнтом лише після завершення алгоритму №6. Після виконання якої статус буде змінено на NurseArrivalConfirmation або KitArrivalConfirmation, залежно від ситуації. Крім того, створюється подія, яка повідомляє про підтвердження пацієнтом.

4.2.4 Ініціація дзвінка лікарем

```

Input : caller, doctor, time, state
doctor / Ethereum-адреса лікар.
caller / Ethereum-адреса виконавця функції.
state / Змінна що містить стан контракту.
if
  caller == doctor  $\wedge$  state == appConfirmedbyPatient
  then
    Видати подію, що показує, що запит на відеодзвінок надіслано лікарем
    state = CallInitaitedbyDoctor
  end
else
    Показати помилку і повернути контракт у попередній стан.
  end

```

Рисунок 4.8 – Алгоритм №4 – Call Initiation by the Doctor

```

function CallInitiated(uint time) public OnlyDoctor{
  require(state == patient_state.NurseArrivalConfirmation);
  emit CallStarted();
  state = patient_state.CallInitaitedbyDoctor;
}

```

Лістинг 4.4 – Функція на основі алгоритму №4

Після підтвердження пацієнтом що він має доступ до всієї необхідної медичної допомоги, лікар здійснює виклик. Цей відеодзвінок необхідний для надання всіх видів телемедичних послуг, тому всі три смарт-контракти містять функцію `CallInitiated`, яку може виконати лише лікар, який зареєструвався в системі. У цій функції перевіряється стан, щоб переконатися, що вони підготовлені та мають під рукою необхідне медичне обладнання або медсестру поруч у разі потреби. Далі розсилається подія, щоб повідомити всіх учасників про те, що лікар ініціював відеодзвінок. Для цього стан змінюється на `CallInitiatedbyDoctor`, як зазначено в алгоритмі №4 (рис. 4.8). Ця подія сповіщає пацієнта про те, що його або її запросили взяти участь у дзвінку. Таким чином, пацієнт приєднується до виклику за допомогою функції `CallJoined`, а стан буде оновлено до `CallJoinedByPatient` (лістинг 4.4).

4.2.5 Вимірювання життєвих показників

```

Input : patient, caller, BpHR, TOx, time, state
currentPatient / Ethereum-адреса пацієнта.
caller / Ethereum-адреса виконавця функції.
state / Змінна що містить стан контракту.
BpHR / Змінна яка зберігає артеріальний тиск та пульс.
TOx / Змінна яка зберігає температуру та рівень насичення киснем
if (caller == nurse  $\wedge$  state == CallJoinedbyPatient)  $\vee$  (caller ==
currentPatient  $\wedge$  state == VitalsMeasurementRequest)
then
    Видати подію про те, що показники були надіслані та виклик знаходиться в процесі
    state = VitalsMeasured
end
else
    Показати помилку і повернути контракт у попередній стан.
end

```

Рисунок 4.9 – Алгоритм №5 – Vitals Measurement

```

function VitalsMeasured(uint BpHR, uint TOx) public {
    if((msg.sender == nurse && state ==
patient_state.CallJoinedbyPatient) || (msg.sender == current_patient
&& state == patient_state.VitalsMeasurementRequest)){
        emit VitalsSentandCallInProgress();
        state = patient_state.VitalsMeasured;
    }
}

```

Лістинг 4.5 – Функція на основі алгоритму №5

Після того як пацієнт приєднався до відеодзвінка, у залежності від мети дзвінка, можуть знадобитися життєво важливі дані пацієнта. Смарт-контракти *MedTest_SC* та *DrugAdm_SC* повинні оцінити життєво важливі показники пацієнта та надіслати їх у ланцюжок. Якщо медсестра знаходиться поруч з пацієнтом вдома, то вона виконує алгоритм №5 (рис. 4.9) і передає життєво важливі дані лікарю. Однак, якщо пацієнт вдома один, та отримує медичний набір поштою, лікар розповість пацієнту як зняти життєві показники по відеозв'язку. Після чого пацієнт повинен буде виконати алгоритм №5 та надіслати свої життєво важливі дані. Артеріальний тиск, частота серцевих скорочень, температура та насичення киснем є одними з життєво важливих показників, які оцінюються.

Таким чином, алгоритм ілюструє, як життєво важливі дані надсилаються по ланцюжку або медсестрою, або пацієнтом. Статус змінюється на *VitalsMeasured* і сповіщаються всі сторони (лістинг 4.5). Після вимірювання життєво важливих показників лікар дозволить продовжити медичне обстеження або введення ліків, якщо стан пацієнта задовільний. Якщо показники життєво важливих показників не знаходяться в межах норми, лікар не дозволить пацієнту продовжити і дзвінок завершиться, як це показано в алгоритмі №8.

4.2.6 Призначення ліків від COVID-19

```

Input : caller, doctor, result, state
doctor / Ethereum-адреса лікаря.
caller / Ethereum-адреса виконавця функції.
result / boolean.
state / Змінна що містить стан контракту.
if caller == doctor  $\wedge$  state == VitalsMeasured then
    if result == true then
        Видати подію, що підтверджує, що пацієнт має право приймати ліки
        state = AuthorizedToTakeMeds
    end
    else
        Видати подію, що показує, що дозвіл не виданий
        state = NotAuthorizedToTakeMeds
    end
else
    Показати помилку і повернути контракт у попередній стан.
end

```

Рисунок 4.10 – Алгоритм №6 – Administer Covid19 Drugs

```

function AdministerCovid19Meds(bool result)public OnlyDoctor{
    require(state == patient_state.VitalsMeasured);
    if(result)
    {
        emit ProceedWithMeds();
        state = patient_state.AuthorizedToTakeMeds;
    }
    else
    {
        emit CannotProceedWithMeds();
        state = patient_state.NotAuthorizedToTakeMeds;
    }
}
}

```

Лістинг 4.6 – Функція на основі алгоритму №6

Перш ніж приймати будь-які ліки або проводити будь-які медичні тести, життєві показники пацієнта повинні бути в межах норми, щоб стан був задовільним. Отже, алгоритм №6 (рис. 4.10) дозволяє тільки лікарю здійснювати цей виклик і надавати право на отримання ліків в смарт-контракті DrugAdm_SC. Той самий підхід використовується і в MedTest_SC. Стан зміниться на AuthorizedToTakeMeds (лістинг 4.6). Якщо пацієнт не має права приймати ліки, статус пацієнта змінюється на NotAuthorizedToTakeMedics. У кожному з наведених вище прикладів створюються події, щоб сповістити усі сторони. У випадках, коли пацієнту надано дозвіл приймати ліки або пройти медичне обстеження, функція Covid19MedicationAdministered або TestCompleted викликається або пацієнтом, або медсестрою, залежно від того, чи просив пацієнт надати медичну сестру або лише кур'єра. Це змінить статус на MedsAdminitered або TestCompleted відповідно.

4.2.7 Повернення медичного набору

```

Input : currentPatient, caller, courier, time, state, photoHash
courier / Ethereum-адреса зареєстрованого кур'єра
currentPatient / Ethereum-адреса зареєстрованого пацієнта.
caller / Ethereum-адреса виконавця функції
photoHash / Змінна що містить хеш завантаженої фотографії пакета
state / Змінна що містить стан контракту
if caller == courier ^ state == TestCompleted then
    Видати подію про те що аптечка в дорозі, використовуючи
    photoHash, time, currentPatient
    state = MedicalKitOnTheWayToDoctor
end
else
    Показати помилку і повернути контракт у попередній стан.
end

```

Рисунок 4.11 – Алгоритм №7 – Medical Kit Pickup

```

function PickMedicalKit (bytes32 photohash,uint time, address patient)
public OnlyCourier{
    require(state == patient_state.TestCompleted);
    emit MedicalKitOnTheWayToDoctor(photohash);
    state = patient_state.MedicalKitOnTheWayToDoctor;
}

```

Лістинг 4.7 – Функція на основі алгоритму №7

PickMedicalKit — функція, яка доступна лише в смарт-контракті MedTest_SC (лістинг 4.7), і працює за логікою, наведеною в алгоритмі №7 (рис. 4.11). Виконувати цей алгоритм уповноважений лише зареєстрований кур'єр і лише після завершення медичного огляду. ЕА виконавця функції перевіряється на відповідність з ЕА кур'єра, а також перевіряється поточний стан, щоб підтвердити, що тест було завершено. Кур'єр фотографує пакет медичного набору та хешує фотографії, які завантажуються на сервера IPFS. Хеш цих фотографій передається як атрибут у виклику функції разом із ЕА пацієнта та поточним часом. Після чого надсилається подія, щоб повідомити всім, що медична аптечка прямує до лікаря, після чого стан також оновлюється.

4.2.8 Завершення дзвінка лікарем

```

Input : vidHash, caller, doctor, time, state
vidHash / Змінна, яка містить IPFS хеш завантаженого відеодзвінка
caller / Ethereum-адреса виконавця функції.
doctor / Ethereum-адреса зареєстрованого лікаря.
state / Змінна що містить стан контракту.
if caller == doctor  $\wedge$  state == CallJoinedbyPatient
then
    Видати подію що повідомляє про завершення відеодзвінка та надати vidHash
    state = waitingForNewApp
end
else
    Показати помилку і повернути контракт у попередній стан.
end

```

Рисунок 4.12 – Алгоритм №8 – Call Ended by the Doctor

```

function CallEnded(bytes32 hash) public OnlyDoctor{
    require(state == patient_state.CallJoinedbyPatient);
    emit TeleconsultationCallisDone(hash);
    state = patient_state.waitingForNewApp;
}

```

Лістинг 4.8 – Функція на основі алгоритму №8

Відеоконференцію припиняє лікар після того, як мета відеодзвінка буде досягнута. Детальний опис завершення виклику зареєстрованим лікарем наведено в Алгоритмі №8 (рис. 4.12). Функція приймає ЕА лікаря, стан і хеш (лістинг 4.8). Цей хеш відповідає хешу відеодзвінка, який лікар надіслав на децентралізовані сервери IPFS, які розташовані в хмарі. Перед запуском алгоритму лікар повинен опублікувати відео записаного віртуального дзвінка та включити хеш завантаженого відео як атрибут. У цьому алгоритмі спочатку перевіряється ЕА абонента, щоб переконатися, що саме лікар виконує цю функцію. Крім того, необхідно перевірити статус, який залежить від типу смарт-контракту. Після перевірки статусу створюється подія, яка повідомляє про завершення відеодзвінка з хешем vidHash. Після цього статус усіх контрактів буде змінено на `waitingForNewApp`, що вказує на те, що контракт готовий приймати нові зустрічі.

4.3 Тестування розробленого рішення

Загалом чотири смарт-контракти включено в прототип системи телемедицини на Ethereum, а саме: `Reg_SC`, `Telecons_SC`, `DrugAdm_SC`, `MedTest_SC`. Кожен із цих розумних контрактів був протестований з використанням інтегрованого середовища розробки Remix IDE [22]. Функції можна виконувати лише в певній послідовності. Це робиться відповідно до поточного статусу смарт-контракту. Кожна функція перевіряє стан контракту перед його виконанням і за потреби змінює його перед передачею наступному. Тільки користувачі, які зареєструвалися, можуть виконувати покладені на них обов'язки. Перш ніж можна буде протестувати будь-який із медичних смарт-контрактів, користувачі повинні бути зареєстровані в `Reg_SC`. У рамках нашого тестування, медсестра має адресу Ethereum (ЕА) `0x5B38Da6a701c568545dCfcB03FcB875f56beddC4`, лікар має адресу `0xAb8483F64d9C6d1EcF9b849Ae677dD3315835cb2`, кур'єр має адресу `0x4B20993Bc481177ec7E8f571ceCaE8A9e22C02db`, пацієнт має адресу `0x78731D3Ca6b7E34aC0F824c42a7cC18A495cabaB`.

Пацієнти, які хочуть скористатися будь-якими послугами дистанційного медичного обслуговування, повинні спочатку підтвердити свій прийом у постачальника послуг. Тому медсестра просить зареєстрованого пацієнта підтвердити свою доступність на запрошеному прийомі за допомогою функції

AppointmentConfirm у функції AppointmentConfirm.

На рис. 4.13 зображена зареєстрована медсестра, яка виконує функцію та успішно видає подію RequestAppointmentConfirmation з часом призначення в тілі функції.

```

status                true Transaction mined and execution succeed
transaction hash      0x0c425f794a9c3a98424e26ae078f4dbf573cd502969b384ffed1114c6f25ff3f
from                  0x5B38Da6a701c568545dCfc803Fc8875f56beddC4
to                    Teleconsultation.AppointmentConfirm(address,uint256) 0x032ACfAFb4Ffa8acb556e4b7535Ee542bc152726
gas                   58709 gas
transaction cost      51051 gas
execution cost        51051 gas
input                 0x86a...0002d
decoded input         {
                      "address patient": "0x78731D3Ca6b7E34aC0F824c42a7c18A495cabaB",
                      "uint256 time": "45"
                      }
decoded output         {}
logs                  [
                      {
                        "from": "0x032ACfAFb4Ffa8acb556e4b7535Ee542bc152726",
                        "topic": "0xd92c81cb8cf1b692f2f8f402b7df9bac1c2b4f67e516b5f8da0b18f07e6d3ea1",
                        "event": "RequestAppointmentConfirmation",
                        "args": {
                          "0": "0x78731D3Ca6b7E34aC0F824c42a7c18A495cabaB",
                          "1": "45",
                          "patient": "0x78731D3Ca6b7E34aC0F824c42a7c18A495cabaB",
                          "time": "45"
                        }
                      }
                    ]

```

Рисунок 4.13 – Лог успішного підтвердження запиту медсестрою

Використовуючи функцію ConfirmAppointment, пацієнт може відреагувати на запит медсестри та підтвердити призначений прийом.

Як видно на рис. 4.13, подія, вказує на те, що пацієнт успішно підтвердив призначення на запит медсестри.

```

status      true Transaction mined and execution succeed
transaction hash  0xbea3aa6eace2d0c3bcebd371e957cbbf7e8f77eccdf12bf814aa4faf8731234d
from        0x78731D3Ca6b7E34aC0F824c42a7cC18A495cabaB
to          Teleconsultation.ConfirmAppointment(uint256) 0x032ACfAfB4Ffa8acb556e4b7535Ee542bc152726
gas         32969 gas
transaction cost 28668 gas
execution cost  28668 gas
input        0xb0a...cabab
decoded input {
  "uint256 time": "687646025091532448527707505288253954804449848235"
}
decoded output {}
logs        [
  {
    "from": "0x032ACfAfB4Ffa8acb556e4b7535Ee542bc152726",
    "topic": "0x67b064ff855d29a102df51e1e509bb7b46a6c80e355f06403fd00a9cc28355ce",
    "event": "AppointmentConfirmedbyPatient",
    "args": {
      "0": "0x78731D3Ca6b7E34aC0F824c42a7cC18A495cabaB",
      "patient": "0x78731D3Ca6b7E34aC0F824c42a7cC18A495cabaB"
    }
  }
]

```

Рисунок 4.14 – Лог успішного підтвердження пацієнтом

Як DrugAdm_SC, так і MedTest_SC, вимагають, щоб медсестра або кур'єр прибули за місцем проживання пацієнта. В результаті ця функція в обох смарт-контрактах була успішно протестована та перевірена. Як показано на рис. 4.14, функція ArrivedAtDestination була успішно виконана в MedTest_SC. Подія MedicalAssistanceReachPatient виконується, і призначення пацієнта декодується як тип «2». Це свідчить про те, що до пацієнта додому прибув кур'єр, а не медсестра.

```

to          DrugAdministration.ArrivedAtDestination(uint256,uint256) 0xA932571C24c985dA23C74Ef116dB0738187C932C
gas         35631 gas
transaction cost 30983 gas
execution cost  30983 gas
input        0x168...00002
decoded input {
  "uint256 time": "82",
  "uint256 appType": "2"
}
decoded output {}
logs        [
  {
    "from": "0xA932571C24c985dA23C74Ef116dB0738187C932C",
    "topic": "0xe97d5926af299d472f6efcccf663561b536a7438094b77c7164f00305c7ef0a7",
    "event": "MedicalAssistanceReachedPatient",
    "args": {

```

Рисунок 4.15 – Лог успішного виконання функції ArrivedAtDestination

Коли пацієнт готовий отримати всю необхідну йому медичну підтримку, лікар починає дзвінок за допомогою функції `CallInitiated`. Ця функція доступна в усіх трьох розроблених телемедицинських смарт-контрактах. Як показано на рис. 4.14, ця функція була успішно виконана, як показує виникнення події `CallStarted`, яка використовується для повідомлення що віртуальний виклик почався.

```

status           true Transaction mined and execution succeed
transaction hash  0xb68ab5365a7d821bffffb507f6f90b5f101edadf09a1881297f952df77964c580
from             0xAb8483F64d9C6d1EcF9b849Ae677dD3315835cb2
to              Teleconsultation.CallInitiated(uint256) 0xF0C544931F75A17D864cd05d0Fb2a9b0908CE0c
gas             34552 gas
transaction cost  30045 gas
execution cost   30045 gas
input           0x71b...00055
decoded input    {
                  "uint256 time": "85"
                }
decoded output   {}
logs            [
                  {
                    "from": "0xF0C544931F75A17D864cd05d0Fb2a9b0908CE0c",
                    "topic": "0x4dc2e6b836d33fbe6e88e3b9a8c7f8119f2bb6a432f1ee0dfae31a50703493a",
                    "event": "CallStarted",

```

Рисунок 4.16 – Лог успішного виконання функції `CallStarted`

Залежно від типу прийому, функцію `VitalsMeasured` може виконувати як медсестра, так і сам пацієнт. Ця функція допомагає лікарю визначити, чи здатний пацієнт приймати ліки або проходити медичне обстеження. Функцію успішно перевірено та на рис. 4.15 можна побачити важливі дані пацієнта, та подія `VitalsSentandCallInProgress` надсилається, щоб сповістити лікаря та всіх інших суб'єктів про стан пацієнта.

```

status           true Transaction mined and execution succeed
transaction hash  0x5353765fde5a2ae38351ec743486f56e754f774c39bac7f41a8e568ec16353cb
from             0xab8483f64d9c6d1ecf9b849ae677d03315835cb2
to              DrugAdministration.VitalsMeasured(uint256,uint256) 0xA932571C24c985dA23C74E116dB0738187C932C
gas             30378 gas
transaction cost  26415 gas
execution cost   26415 gas
input           0x4b9...090ec
decoded input    {
                  "uint256 BpHR": "12880100",
                  "uint256 TOx": "37100"
                }

```

Рисунок 4.17 – Лог успішного виконання функції VitalsMeasured

У DrugAdm_SC, ліки призначаються за результатами життєво важливих показників та дозволу лікаря. Функція AdministerCovid19Meds виконується лікарем, а подія ProceedWithMeds залежно від рішення лікаря дозволити ліки чи ні. Після завершення медичного обстеження кур'єр забере аптечку з місця перебування пацієнта. MedTest_SC дає змогу кур'єру використовувати функцію PickMedicalKit, щоб вказати, що набір було забрано у пацієнта. Як показано на рис. 4.16, функція збирає хеш фото аптечки, а також час отримання та ЕА пацієнта. У цьому випадку функція була успішно виконана, і включала хеш зображення, який мав значення 0x3fd54831f488a22b28398de0c567a3b064b937f54f81739ae9bd545967f3abab. Та подію MedicalKitOnTheWayToDoctor було успішно надіслано.

```

to              DrugAdministration.(fallback) 0x50EB3627f1B099fa7b468A9fdB37Ea774AD66c33
gas            36491 gas
transaction cost 31731 gas
execution cost   31731 gas
input          0x54b...cabab
decoded input   -
decoded output  -
logs           [
                {
                  "from": "0x50EB3627F1B099fa7b468A9fdB37Ea774AD66c33",
                  "topic": "0x0933778dfbe9a711d1348624bc15144b6320f60468cf28c21124a44ce5537e0b",
                  "event": "MedicalKitOnTheWayToDoctor",
                  "args": {
                    "0": "0x3fd54831f488a22b28398de0c567a3b064b937f54f81739ae9bd545967f3abab",
                    "photohash": "0x3fd54831f488a22b28398de0c567a3b064b937f54f81739ae9bd545967f3abab"
                  }
                }
              ]

```

Рисунок 4.18 – Лог успішного виконання функції PickMedicalKit

Після закінчення телемедичної консультації відеодзвінок завершується лікарем. За допомогою IPFS лікар завантажує відео, а хеш використовується в блокчейні для відстеження. Хеш відео 0xe0f89ca8eae95281590977802df657506a151304234d15570c12cc26263a8b7a можна побачити на рис. 4.17. Подія Covid19TestCompleted була успішно записана в логи, показуючи що медичний тест був завершений успішно.

```

to DrugAdministration.CallEnded(bytes32) 0x50EB3627F1BD99fa7b468A9FdB37Ea774AD66c33
gas 36040 gas
transaction cost 31339 gas
execution cost 31339 gas
input 0xf47...a8b7a
decoded input {
  "bytes32_callhash": "0xe0f89ca8eae95281590977802df657506a151304234d15570c12cc26263a8b7a"
}
decoded output {}
logs [
  {
    "from": "0x50EB3627F1BD99fa7b468A9FdB37Ea774AD66c33",
    "topic": "0xc53fadd2997ecdac3f8e355ad013331b7232ac57cadcbd312a6abbb6a271b1a2",
    "event": "Covid19TestCompleted",
    "args": {
      "0": "0xe0f89ca8eae95281590977802df657506a151304234d15570c12cc26263a8b7a",
      "hash": "0xe0f89ca8eae95281590977802df657506a151304234d15570c12cc26263a8b7a"
    }
  }
]

```

Рисунок 4.19 – Лог успішного виконання функції CallEnded

Запропоноване рішення для телемедицини на основі блокчейну, окрім надання допомоги пацієнтам, також служить для зменшення стресу для медичних працівників та їх персоналу. Це рішення створене як для пандемії COVID-19, так і для будь-яких інших надзвичайних ситуацій, таких як військовий стан або стихійні лиха. Запропоноване рішення є адаптивним і може бути повністю налаштовано для задоволення всіх інших медичних потреб. Повний код розробленої програми доступний на GitHub [28]

Функції смарт-контрактів можна редагувати та додавати за потреби. Крім того, нові ролі, а також модифікатори можна застосовувати до вже існуючих ролей. Це дозволяє розширювати переклік медичних послуг що може обробляти система, тим самим підвищуючі ефективність у наданні догляду та лікування медичними працівниками. Незалежно від того, де вони живуть, пацієнти, які потребують лікування та постійного догляду, можуть отримати

доступ до медичних послуг. У результаті рішення не обмежується тільки ковідом та може бути застосовано до низки інших сценаріїв телемедицини (наприклад, діабет, психічне здоров'я, обстеження пологів тощо).

ВИСНОВКИ

Згідно з вимогами технічного завдання, у даній атестаційній роботі було побудовано телемедичну систему на основі технології блокчейн з використанням смарт-контрактів.

У рамках дослідження інфокомунікаційних технологій було розглянуто варіанти організації телемедичної архітектури з використанням технології SDN та блокчейну. Було наведено та розглянуто архітектуру SDN для телемедичних систем, яка може використовуватися для підтримки зв'язку, забезпечуючи більшу гнучкість та контроль над медичним обладнанням в системі. Також було розроблене та запропоноване рішення на основі блокчейну, спрямоване на захист усіх компонентів телемедичної системи, а також конфіденційності усіх пацієнтів.

Використовуючи запропоновану систему, віддалені пацієнти матимуть можливість відстеження всіх операцій в рамках телемедицини та даних, що мають відношення до лікування, діагностики та моніторингу протягом усього періоду, а також історія лікування буде відкритою для їх лікарів. Запропоноване рішення використовує властиві характеристики приватних блокчейнів задля забезпечення довіри, підзвітності, цілісності, прозорості та конфіденційності.

У роботі було розглянуто ряд питань, що стосуються проблематики використання телемедичних систем у сучасних умовах.

У першому розділі кваліфікаційної роботи було проаналізовано використання інформаційно-комунікаційних технологій у сфері медицини, досліджено темпи зростання та перспективи розвитку ринку телемедичних систем у світі.

У другому розділі були проаналізовані виклики, з якими стикаються медичні системи під час пандемії та військового стану, та зроблені висновки щодо потреби в модернізації існуючих телемедичних систем.

Третій розділ присвячено питанням дослідження інфокомунікаційних технологій, які можна застосувати в телемедицині. У рамках розділу було розглянуто декілька технологій, що мають перспективи розвитку.

У четвертому розділі було розроблено та протестовано рішення на основі технології блокчейн та смарт-контрактів, що допоможе медичним установам

надавати більш якісні, прозорі та захищені послуги. Усі ці концепції та системи можуть бути модифіковані та розширені.

Результати роботи було апробовано на дев'ятій міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатизації» та опубліковано тези доповіді [29] за тематикою кваліфікаційної роботи. Також, у рамках двадцять шостого міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті» були подані на публікацію тези доповіді за тематикою кваліфікаційної роботи, але у зв'язку з військовим станом у державі, вони будуть опубліковані пізніше.

Отже, усі пункти технічного завдання були виконані в повному обсязі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Perspective: what a difference a disaster makes: the telehealth revolution in the age of COVID-19 pandemic. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1062860620933587> (дата звернення: 10.05.2022).
2. Про затвердження нормативних документів щодо застосування телемедицини у сфері охорони здоров'я. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1400-15#Text> (дата звернення: 10.05.2022).
3. Grigsby et al. Analysis of expansion of access to care through telemedicine, report 4, study summary and recommendations for further research. Denver, CO : Center for Health Policy Research, 1994. 432 с.
4. What is telehealth? - CCHP. *CCHP*. URL: <https://www.cchpca.org/what-is-telehealth/?category=mobile-health> (дата звернення: 10.05.2022).
5. H1 2021 digital health funding: Another blockbuster year...in six months | Rock Health. *Rock Health | We're powering the future of healthcare. Rock Health is a seed and early-stage venture fund that supports startups building the next generation of technologies transforming healthcare*. URL: <https://rockhealth.com/insights/h1-2021-digital-health-funding-another-blockbuster-year-in-six-months/> (дата звернення: 10.05.2022).
6. Telemedicine Services Global Market Report 2021: COVID-19 Growth and Change to 2030. *Research and Markets - Market Research Reports - Welcome*. URL: <https://www.researchandmarkets.com/reports/5321435/telemedicine-services-global-market-report-2021> (дата звернення: 10.05.2022).
7. Telehealth: A quarter-trillion-dollar post-COVID-19 reality? / O. Bestsenyу та ін. *McKinsey & Company*. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/healthcare-systems-and-services/our-insights/telehealth-a-quarter-trillion-dollar-post-covid-19-reality> (дата звернення: 10.05.2022).
8. American Medical Association. 2021 telehealth survey report. URL: <https://www.ama-assn.org/system/files/telehealth-survey-report.pdf> (дата звернення: 10.05.2022).

9. Control plane optimisation for an sdn-based WBAN framework to support healthcare applications / Hasan, K та ін. *Sensors*. 2020. № 20. С. 1–19.

10. Telesurgery QoS improvement over SDN based on a Type-2 fuzzy system and enhanced cuckoo optimization algorithm / Parsaei M. R та ін. *Int J Commun Syst*. 2020.

11. What is Software-Defined Networking (SDN)? | VMware Glossary. *VMware*.

URL: <https://www.vmware.com/topics/glossary/content/software-defined-networking.html> (дата звернення: 10.05.2022).

12. An introduction to SDN. *GitHub Pages*.

URL: <https://qmonnet.github.io/whirl-offload/2016/07/08/introduction-to-sdn/> (дата звернення: 10.05.2022).

13. What are smart contracts on blockchain? | IBM. *IBM - Deutschland | IBM*.

URL: <https://www.ibm.com/topics/smart-contracts> (дата звернення: 10.05.2022).

14. Raja Wasim Ahmad, Khaled Salah, Raja Jayaraman, Ibrar Yaqoob, Samer Ellahham, and Mohammed Omar. Blockchain and COVID-19 Pandemic: Applications and Challenges. *IEEE TechRxiv*. 2020. С. 1–19.

URL: <https://doi.org/10.36227/techrxiv.12936572> (дата звернення: 10.05.2022).

15. Sirina Keesara, M.D., Andrea Jonas, M.D., and Kevin Schulman, M.D. Covid-19 and Health Care's Digital Revolution | NEJM. *New England Journal of Medicine*.

URL: <https://www.nejm.org/doi/10.1056/NEJMp2005835> (дата звернення: 10.05.2022).

16. Vivek Chauhan, Sagar Galwankar, Bonnie Arquilla, Manish Garg, Salvatore Di Somma, Ayman El-Menyar, Vimal Krishnan, Joel Gerber, Reuben Holland, Stanislaw P. Stawicki. Novel coronavirus (COVID-19): Leveraging telemedicine to optimize care while minimizing exposures and viral transmission. *Journal of Emergencies Trauma and Shock*. 2020. Т. 13, № 1. С. 20–24.

17. Ameet Doshi MD, MBA, Yonatan Platt MD, John R Dressen MHA, Benji K Mathews MD, FACP, SFHM, Jerome C Siy MD, MHA, SFHM. Keep Calm and Log On: Telemedicine for COVID-19 Pandemic Response. *Journal of Hospital Medicine*. 2020. Т. 15, № 5. С. 302–304.

URL: <https://doi.org/10.12788/jhm.3419> (дата звернення: 10.05.2022).

18. Josep Vidal-Alaball, Ruthy Acosta-Roja, Nuria Pastor Hernández, Unai Sanchez Luque, Danielle Morrison, Silvia Narejos Pérez, Jesús Perez-Llano, Angels Salvador Vèrges, Francesc López S. Telemedicine in the face of the COVID-19 pandemic. *Aten Primaria*. 2020. Т. 52, № 6. С. 418–422. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2020.04.003> (дата звернення: 10.05.2022).
19. COVID-19 Map - Johns Hopkins Coronavirus Resource Center. *Johns Hopkins Coronavirus Resource Center*. URL: <https://coronavirus.jhu.edu/map.html> (дата звернення: 10.05.2022).
20. Coronaviruset: Slik spres viruset i Norge og verden. Kart og statistikk. *VG Nett*. URL: <https://www.vg.no/spesial/corona/> (дата звернення: 10.05.2022).
21. Five problems of telehealth. *Kaspersky-Cybersicherheitslösungen für Privatanwender und Unternehmen / Kaspersky*. URL: <https://www.kaspersky.com/blog/telehealth-report-2021/43003/> (дата звернення: 10.05.2022).
22. Remix - Ethereum IDE. *Remix - Ethereum IDE*. URL: <http://remix.ethereum.org/> (дата звернення: 10.05.2022).
23. Y. Chang, E. Iakovou, W. Shi. Blockchain in global supply chains and cross border trade: a critical synthesis of the state-of-the-art, challenges and opportunities. *International Journal of Production Research*. 2019. Vol. 58, no. 7. P. 2082–2099. URL: <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1651946> (date of access: 10.05.2022).
24. Zibin Zheng, Shaoan Xie, Hong-Ning Dai, Xiangping Chen, Huaimin Wang. Blockchain challenges and opportunities: A survey. *International Journal of Web and Grid Services*. 2018. Т. 14, № 4. С. 352. URL: <https://doi.org/10.1504/IJWGS.2018.095647> (дата звернення: 10.05.2022).
25. Lea Skorin-Kapov, Maja Matijasevic. Analysis of QoS Requirements for e-Health Services and Mapping to Evolved Packet System QoS Classes. *International Journal of Telemedicine and Applications*. 2010. URL: <https://doi.org/10.1155/2010/628086> (дата звернення: 10.05.2022).
26. J.R. Gallego; A. Hernandez-Solana; M. Canales; J. Lafuente; A. Valdovinos; J. Fernandez-Navajas. Performance analysis of multiplexed medical data transmission for mobile emergency care over the UMTS channel. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*. 2005. Т. 9, № 1. С. 13–22. URL: <https://doi.org/10.1109/TITB.2004.838362> (дата звернення: 10.05.2022).

27. Gouveia, F.C., Rebahi, Y., Planella, P.R. & Magedanz, T. 2009. *Network Protocols and Algorithms*, Т. 1, №2, С. 99-112.

28. SC_telehealth/Code at main · VorobeiKyrylo/SC_telehealth. *GitHub*. URL: https://github.com/VorobeiKyrylo/SC_telehealth/blob/main/Code (дата звернення: 10.05.2022).

29. Воробей К. В., Чеботарьова Д. В. Застосування програмно-визначених мереж для підтримки телемедичних консультацій під час пандемії COVID-19. *Проблеми інформатизації: дев'ята міжнародна науково-технічна конференція: матеріали дев'ятої міжнар. науково-техн. конф. «Проблеми інформатизації»*, м. Черкаси – Баку – Бельсько-Бяла – Харків, 18–19 листоп. 2021 р. 2021. С. 38.