

Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

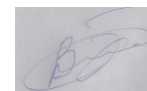
Галузь знань \_\_\_\_\_ 12 – Інформаційні технології \_\_\_\_\_

Спеціальність \_\_\_\_\_ 123 – Комп'ютерна інженерія \_\_\_\_\_

на тему «Методи керування медичними даними на основі блокчейн-технологій»

КвРКІ.160130.21.01.07 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група КІ2м-20-1



Підпис

Осядлий В.В.  
Ініціали, прізвище

Керівник доктор техн. наук, професор  
Науковий ступінь, вчене звання



Підпис

Березький О.М.  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри КІС, д.т.н., проф.

Т.О. Говорущенко

4 05 2022 р.

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень МАГІСТР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ОСВІТНЬО-НАУКОВА ПРОГРАМА «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко



“ 01 ” 09 2021 р.

## ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ)

Осядлому Віталію Віталійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Методи керування медичними даними на основі блокчейн-технологій

Керівник проекту (роботи) Березький О.М., д.т.н., професор

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 06.01.2022 р. № 1

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 03.05.2022 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) \_\_\_\_\_

Аналіз відомих методів та рішень для керування медичними даними на основі блокчейн-технологій

Моделювання процесу керування медичними даними

Методи керування медичними даними на основі блокчейн-технологій

Керування медичними даними на основі блокчейн-технологій

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

---





---

---

---

---

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

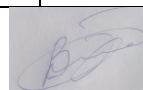
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КПС		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 06 » 09 2021 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики ДРМ з керівником	06.09.2021	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	06.10.2021	виконано
3	Робота над розділом 1 – аналіз відомих моделей, методів за темою; постановка задачі	05.11.2021	виконано
4	Робота над розділом 2 – розробка моделей для вирішення поставленої задачі	06.12.2021	виконано
5	Робота над науковою статтею	01.02.2022	виконано
6	Робота над розділом 3 – розробка методів для вирішення поставленої задачі	15.02.2022	виконано
7	Робота над розділом 4 – проектування та розробка ПЗ для вирішення поставленої задачі, експериментальна частина	04.04.2022	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	18.04.2022	виконано
9	Попередній захист ДРМ	28.04.2022	виконано
10	Захист ДРМ на засіданні ЕК	До 15.05.2022	

Студент



Підпис

Осядлий В.В.

Ініціали, прізвище

Керівник проекту (роботи)



Підпис

Березький О.М.

Ініціали, прізвище

## РЕФЕРАТ

Тема дипломної роботи: Методи керування медичними даними на основі блокчейн-технологій.

Автор роботи: Осядлий В.В., студент групи КІ2М-20-1.

Керівник роботи: Березький О.М., доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем.

Пояснювальна записка: 154 с., 22 рис., 7 табл., 2 дод., 100 джерел.

ПЕРЕЛІК КЛЮЧОВИХ СЛІВ: блокчейн-технологія, блок блокчейну, розділ блоку блокчейну, медичні дані, транзакція, достатність медичних даних, репутація медичної установи.

*Об'єктом дослідження є процес керування медичними даними.*

*Предметом дослідження є методи керування медичними даними на основі блокчейн-технологій.*

*Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності керування медичними даними шляхом розроблення методів керування медичними даними на основі блокчейн-технологій.*

Для розв'язання поставлених задач використовуються основні положення загальної теорії систем, системного аналізу (ієрархічності, декомпозиції та ін.), теорії моделювання процесів. Внаслідок проведення моделювання процесу керування медичними даними та розроблення методів керування медичними даними використано теоретико-множинні підходи, алгебру систем, апарат модельно-орієнтованих підходів, методи концептуального моделювання, принципи побудови баз знань та формування логічного висновку, евристичні оцінки.

*Наукова новизна отриманих результатів полягає у розробленні методів керування медичними даними на основі блокчейн-технологій, котрі дозволяють оцінити множини медичних даних та занести їх в блокчейн (за умови дотримання всіх необхідних вимог):*

1) вперше розроблені моделі блоку блокчейну, фрагменту блокчейну та вузла блокчейну, представлені у формалізованому та схематичному вигляді, а також моделі процесу керування медичними даними (оцінювання достатності даних та виконання транзакцій над медичними даними), які є теоретичним підґрунтям для розроблення методу керування медичними даними на основі блокчейн-технологій;

2) вперше розроблено метод оцінювання достатності медичних даних, який забезпечує: можливість аналізу множини медичних даних на предмет їх достатності; можливість кількісного оцінювання достатності медичних даних; в разі недостатності медичних даних у множині, формування рекомендацій щодо доповнення множини медичних даних – як керівництво, яку інформацію слід додати у множину медичних даних для можливості їх завантаження в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну;

3) вперше розроблено метод виконання транзакцій над медичними даними, який складається з етапів занесення інформації до блокчейну та отримання інформації з блокчейну. Розроблений метод виконання транзакцій над медичними даними забезпечує: можливість прийняття рішення про додавання транзакції та медичних даних від пацієнта у блокчейн; можливість прийняття рішення про видачу даних з блокчейну за запитом від лікаря.

*Практична значущість отриманих результатів* полягає у:

1) розробленні схеми мережі блокчейну, яка візуалізує взаємозв'язки між вузлами, блоками, смарт-контрактом та proof-of-work завданнями блокчейну;

2) розробленні правил для визначення достатності медичних даних, які забезпечують аналіз медичних даних на предмет відшукання всіх наперед визначених необхідних елементів медичних даних; прийняття рішення про достатність або недостатність інформації; виведення візуалізованих підказок, яких елементів даних не вистачає, для забезпечення можливості швидкого доповнення даних; кількісну оцінку достатності медичних даних;

3) розробленні архітектури системи керування медичними даними на основі блокчейн-технологій, а також у проєктуванні та реалізації її окремих модулів.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТА РІШЕНЬ ДЛЯ КЕРУВАННЯ МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЙ</b> .....	9
1.1 Аналіз відомих методів та інформаційних технологій для керування медичними даними.....	9
1.2 Дослідження типів та можливостей блокчейн-технологій .....	13
1.3 Дослідження застосування блокчейн-технологій при побудові інформаційних технологій для керування медичними даними .....	17
1.4 Висновки. Постановка задачі .....	25
<b>2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ</b> ..	25
2.1 Моделювання руху інформаційних потоків в процесі керування медичними даними.....	26
2.2 Моделювання процесу керування медичними даними: оцінювання достатності.....	33
2.3 Моделювання процесу керування медичними даними: виконання транзакцій.....	40
2.4 Висновки.....	47
<b>3 МЕТОДИ КЕРУВАННЯ МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЙ</b> .....	49
3.1 Метод оцінювання достатності медичних даних .....	49
3.2 Метод виконання транзакцій над медичними даними .....	56
3.3 Алгоритми керування медичними даними на основі блокчейн-технології	63
3.4 Висновки.....	69
<b>4 КЕРУВАННЯ МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЙ</b> .....	71

4.1 Система керування медичними даними на основі блокчейн-технологій .....	71
4.2 Експерименти із керування медичними даними на основі блокчейн-технологій .....	79
4.3 Висновки .....	93
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>94</b>
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ .....</b>	<b>97</b>
<b>ДОДАТОК А.</b> Копії статей у закордонних наукових виданнях та тез доповіді на міжнародній конференції .....	<b>105</b>
<b>ДОДАТОК Б.</b> Презентація до захисту кваліфікаційної роботи .....	<b>136</b>

## ВСТУП

На сьогодні процеси прийняття рішень у сфері охорони здоров'я є трудомісткими та складними [1]. Продуктивність праці медичних працівників може бути збільшена завдяки використанню систем підтримки прийняття рішень (СППР) та інформаційних технологій (ІТ) [2]. Використання медичних ІТ та СППР надає лікарям актуальну інформацію в галузі медицини, підвищує ефективність використання актуальних медичних ресурсів, підвищує продуктивність роботи, інтегрує українську медицину в світовий медичний простір [3, 4]. ІТ допомагають у прийнятті рішень, що особливо важливо в сучасну епоху «доказової» медицини [5]. Саме інформаційні технології можуть зменшити кількість медичних помилок, надати більш надійні рішення та зменшити витрати на охорону здоров'я [6]. Крім цього, вельми корисними, але в той же час складними для проектування є кросдисциплінарні медичні ІТ [7-14].

У статті [15] розглядаються системи підтримки прийняття рішень, призначені для підтримки лікарів у прийнятті рішень і для підвищення якості та безпеки медичної допомоги. Огляд [16] показав, що ІТ-підтримка клінічних рішень є перспективним напрямком на найближчі 10 років. Спільне прийняття рішень включає різні види агентів, які поділяють вимогу, що вони повинні мати достатню здатність приймати рішення для відповідного рішення [17]. Інтелектуальні ІТ можуть направляти лікарів у прийнятті рішень, постановці діагнозу та покращенні контракту. Це може знизити витрати на охорону здоров'я за рахунок зменшення медичних помилок і надання більш надійних прогнозів [6].

Сьогодні медичні інформаційні технології повинні відповідати 4 вимогам: ефективність, безпека, новизна та економічна вигода [18]. Сфера охорони здоров'я в Україні давно потребує змін, і безліч можливостей блокчейн-технології (blockchain) можуть допомогти їй очолити трансформацію цієї сфери та забезпечити відповідність зазначеним 4-м вимогам. Доказом зростання затребуваності блокчейн-технології може служити результат дослідження, проведеного в жовтні 2017 року командою «Black Book» [19]. В ході цього

дослідження було опитано 88 споживачів системи охорони здоров'я (серед них – представники страхових компаній, споживачі медичних послуг) та 276 постачальників медичних послуг (відповідальних за технологічний процес фахівців, менеджерів і IT-фахівців). «Black Book» виявив, що 19% керівників медичними організаціями та 76% представників, які оплачують медичні послуги, розглядали або вже застосовували рішення на основі блокчейн-технології. Таким чином, підвищена увага до технології розподілених реєстрів привела до розуміння потенціалу застосування блокчейн-технології в системі охорони здоров'я.

Отже, наразі *актуальною задачею* є потреба у керуванні медичними даними на основі блокчейн-технологій.

*Метою кваліфікаційної роботи* є підвищення ефективності керування медичними даними шляхом розроблення методів керування медичними даними на основі блокчейн-технологій.

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних *задач*:

1) аналіз відомих методів та рішень для керування медичними даними на основі блокчейн-технологій;

2) моделювання процесу керування медичними даними;

3) розроблення методу оцінювання достатності медичних даних;

4) розроблення методу виконання транзакцій над медичними даними;

5) розроблення архітектури системи керування медичними даними на основі блокчейн-технологій;

б) проведення експериментів із керування медичними даними на основі блокчейн-технологій.

*Об'єктом дослідження* є процес керування медичними даними.

*Предметом дослідження* є метод керування медичними даними на основі блокчейн-технологій.

*Наукова новизна отриманих результатів* полягає у розробленні методів керування медичними даними на основі блокчейн-технологій, котрі дозволяють оцінити множину медичних даних та занести їх в блокчейн (за умови дотримання всіх необхідних вимог):

1) вперше розроблені моделі блоку блокчейну, фрагменту блокчейну та вузла блокчейну, представлені у формалізованому та схематичному вигляді, а також моделі процесу керування медичними даними (оцінювання достатності даних та виконання транзакцій над медичними даними), які є теоретичним підґрунтям для розроблення методу керування медичними даними на основі блокчейн-технологій;

2) вперше розроблено метод оцінювання достатності медичних даних, який забезпечує: можливість аналізу множини медичних даних на предмет їх достатності; можливість кількісного оцінювання достатності медичних даних; в разі недостатності медичних даних у множині, формування рекомендацій щодо доповнення множини медичних даних – як керівництво, яку інформацію слід додати у множину медичних даних для можливості їх завантаження в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну;

3) вперше розроблено метод виконання транзакцій над медичними даними, який складається з етапів занесення інформації до блокчейну та отримання інформації з блокчейну. Розроблений метод виконання транзакцій над медичними даними забезпечує: можливість прийняття рішення про додавання транзакції та медичних даних від пацієнта у блокчейн; можливість прийняття рішення про видачу даних з блокчейну за запитом від лікаря.

*Практична значущість отриманих результатів* полягає у:

1) розробленні схеми мережі блокчейну, яка візуалізує взаємозв'язки між вузлами, блоками, смарт-контрактом та proof-of-work завданнями блокчейну;

2) розробленні правил для визначення достатності медичних даних, які забезпечують аналіз медичних даних на предмет відшукання всіх наперед визначених необхідних елементів медичних даних; прийняття рішення про достатність або недостатність інформації; виведення візуалізованих підказок, яких елементів даних не вистачає, для забезпечення можливості швидкого доповнення даних; кількісну оцінку достатності медичних даних;

3) розробленні архітектури системи керування медичними даними на основі блокчейн-технологій, а також у проєктуванні та реалізації її окремих модулів.

*Методи дослідження.* Для розв'язання поставлених задач використовуються основні положення загальної теорії систем, системного аналізу (ієрархічності, декомпозиції та ін.), теорії моделювання процесів. Внаслідок проведення моделювання процесу керування медичними даними та розроблення методів керування медичними даними використано теоретико-множинні підходи, алгебру систем, апарат модельно-орієнтованих підходів, методи концептуального моделювання, принципи побудови баз знань та формування логічного висновку, евристичні оцінки.

За темою дипломної роботи опублікована одна стаття у закордонному науковому виданні, що індексується в наукометричній базі Scopus, 1 тези доповіді, подано до друку одну статтю у закордонному науковому виданні, що індексується в наукометричній базі Scopus (додаток А), та взято участь у 4-th International Conference on Informatics & Data-Driven Medicine (November 19-21 2021, Valencia, Spain), а також у Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні системи та технології в медицині», що проходила 25-26 листопада 2021 р. в НАУ «ХАІ» (м. Харків):

1) Т. Новорущченко, Ye. Hnatchuk, A. Herts, A. Moskalenko, V. Osyadlyi. Theoretical and Applied Principles of Information Technology for Supporting Medical Decision-Making Taking into Account the Legal Basis. CEUR-WS. 2021. Vol. 3038. Pp. 172-181.

2) Т. Новорущченко, А. Moskalenko, V. Osyadlyi. Methods of Medical Data Management Based on Blockchain Technologies. Journal of Reliable Intelligent Environments. Special issue on Smart Technologies and its Application for Medical/Healthcare Services. 2022.

3) Москаленко А.О., Говорущенко Т.О., Осядлий В.В. Дослідження рішень для автоматизації роботи лікарів на основі блокчейн-технологій // Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні системи та технології в медицині» ISM–2021 (Харків, 25-26 листопада 2021). С. 42-44.

# 1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТА РІШЕНЬ ДЛЯ КЕРУВАННЯ МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЙ

## 1.1 Аналіз відомих методів та інформаційних технологій для керування медичними даними

Впровадження новітніх конкурентоспроможних інформаційних технологій в усі сфери людської діяльності з метою автоматизації процесів, зменшення частки фізичної праці та мінімізації впливу людського фактору є основною стратегічною метою розвитку інформаційного суспільства в Україні [20]. Проведемо аналіз відомих методів та інформаційних технологій для керування медичними даними.

Прийняття рішень у відділенні невідкладної допомоги має бути ефективним та швидким. Оскільки для різних ситуацій застосовуються різні закони, лікарі повинні дотримуватися певних процедур і розглядати конкретні юридичні питання, а також працювати зі складними пацієнтами у відділенні невідкладної допомоги. Важливо швидко знайти правильну інформацію та дотримуватися рекомендованої процедури, оскільки неправильні дії лікаря можуть мати серйозні наслідки. Прототип мобільної системи підтримки прийняття рішень для медичних працівників відділення невідкладної допомоги для визначення та дотримання правильної процедури відповідно до чинного законодавства описано у роботі [21]. Така система використовується для зменшення ймовірності вжиття неправильних дій, а також з мінімізацією пов'язаних з цим ризиків та збереження як життя та здоров'я пацієнтів, так і своїх власних прав.

Обмін медичними даними відповідно до закону про медичну конфіденційність вимагає від експертів глибокого знайомства з його складними положеннями для перевірки. У статті [22] представлено медичну реляційну модель для видобутку логічних правил з медичного права, необхідних для розробки системи підтримки медичних рішень, яка полегшує процес електронного обміну даними з мінімальним втручанням людини. Ці логічні правила потім використовуються для прийняття точного рішення відповідно до законодавства після оцінки запитів від різних організацій для різних цілей.

Метою статті [23] є розроблення моделей забезпечення якості та успішності трансплантації органів в стандартизованому форматі для повторного використання та обміну у всьому світі. Оригінальні форми були перетворені в стандартизовані форми відповідно до моделі операційних даних і надані для відкритого доступу в міжнародному сховищі форм. Елементи форми були перекладені на англійську мову та семантично збагачені концептуальними унікальними ідентифікаторами з Єдиної медичної мовної системи на основі рішення медичного експерта. Усі форми доступні в Інтернеті як багатомовні документи ODM. Комп'ютеризована інфраструктура для узгоджених форм документації надається у сфері трансплантації органів, що дає можливість повторного використання та обміну у всьому світі.

Парадигми обчислювального інтелекту, включаючи штучні нейронні мережі, нечіткі системи, еволюційні обчислювальні методи, інтелектуальні агенти тощо, забезпечують основу для людських міркувань у медичних системах. Наближене міркування є однією з найефективніших нечітких систем. Представлена в роботі [24] орієнтовна система міркувань розглядає оцінку ризику в ситуації, коли лікарі зважують необхідність операції для пацієнта.

Екстракорпоральне запліднення (ЕКЗ) є найпоширенішим методом у допоміжних репродуктивних технологіях і в більшості випадків останнім засобом лікування безпліддя. У статті [25] запропоновані теорія, модель та оптимальна процедура контролю для покращення результатів лікування екстракорпорального запліднення за одним із чотирьох протоколів, які використовуються в реальній практиці. Перевірка процедури проводиться на основі клінічних даних пацієнтів, які раніше проходили цикли ЕКЗ. Індивідуальні параметри моделі для конкретного пацієнта отримують з використанням початкових дводенних даних для кожного пацієнта. Результати підтверджують використання розробленого підходу для прогнозування індивідуальної оптимальної дозування препарату для кожного пацієнта.

Автори [26] розглядають Закон № 219/2017 з його важливим внеском у визначення ролей та відповідальності суб'єктів у відносинах по догляду за

пацієнтами. Закон сприяє і зміцнює відносини турботи та довіри між лікарем і пацієнтом, що включає компетентність, професійну автономію та відповідальність лікаря, а також самостійність прийняття рішень і право на самовизначення. Для конкретної реалізації Закону зараз необхідна адекватна інформаційна система та система підтримки прийняття рішень для сприяння та зміцнення відносин догляду та довіри між лікарем і пацієнтом, що гарантують впевненість щодо наслідків поведінки та захисту прав усіх залучених суб'єктів. Крім того, для попередніх розпоряджень важливо задуматися про достатність медичної інформації, яка вимагається самим Законом, враховуючи, що громадянин може звертатися до кваліфікованих спеціалістів, а також самостійно знаходити цю інформацію, обираючи доступні джерела інформації.

Пропагуючи модель автономії прийняття рішень у медичних питаннях, французьке законодавство, зробили згоду пацієнтів на медичні процедури обов'язковими згідно з судовим правом та законодавством. Модель автономії прийняття рішень у медичних питаннях (відповідно до французького законодавства) описана у [27].

Пацієнтам і громадянам потрібен доступ до інформації про своє здоров'я, щоб отримати ретроспективний, а також перспективний погляд на процеси догляду та реабілітації. У Швеції була розроблена національна платформа обміну медичною інформацією [28], яка забезпечує обмін інформацією між різними інформаційними системами охорони здоров'я. Національна шведська платформа забезпечує будівельні блоки, необхідні для надання пацієнтам онлайн-доступу до інформації про своє здоров'я у фрагментованій та розподіленій системі охорони здоров'я.

Найкраща медична практика заснована на юридичних та етичних принципах, якими керуються лікарі та постачальники медичних послуг під час догляду за пацієнтами або проведення досліджень. Основними етичними принципами медицини є автономія, добродійність, нешкідливість і справедливість. Для того, щоб пацієнт вважався здатним робити вибір щодо свого медичного обслуговування, він повинен продемонструвати розумові здібності та

компетентність. Лікар юридично та етично зобов'язаний зберігати конфіденційність медичної інформації пацієнтів і може порушити цю конфіденційність лише в певних умовах. У роботі [29] розроблено метод правової оцінки здатності пацієнта приймати рішення.

Інформаційні системи є ключовим фактором успіху медичних досліджень та охорони здоров'я. В даний час більшість цих систем використовують гетерогенні та власні моделі даних, які перешкоджають обміну даними та комплексному аналізу даних у наукових цілях. Через складність медичної термінології загальна кількість моделей медичних даних дуже велика. Наразі переважна більшість цих моделей недоступні науковому співтовариству. Метою порталу моделей медичних даних (<https://medical-data-models.org>) є сприяти обміну моделями медичних даних [30]. Перевагами порталу є покращення та прискорення розробки моделей медичних даних шляхом обміну передовими практиками, більш стандартизованих моделей даних із семантичними анотаціями та кращого обміну інформацією між інформаційними системами, зокрема, електронним збором даних та електронними медичними записами системи. Зміст порталу потребує подальшого розширення, щоб охопити широке охоплення всіх відповідних медичних областей.

Зазвичай додатковим інструментом під час прийняття клінічних рішень служать системи автоматизованого діагностування. Сучасні САД зазвичай працюють на основі методів машинного навчання [31-33], які виявляють та описують конкретні особливості захворювання на зображенні. Такі методи оптимізовані для конкретних наборів даних і навчені визначати заздалегідь задані зміни в розмірі ROI [34]. В останні роки широко застосовуються методи, засновані на виявленні ознак з використанням глибокого навчання (DL) [35-38].

Використання медичних ІТ та СППР надає лікарям актуальну інформацію в галузі медицини, підвищує ефективність використання актуальних медичних ресурсів, підвищує продуктивність роботи, інтегрує українську медицину в світовий медичний простір. ІТ допомагають у прийнятті рішень, що особливо важливо в сучасну епоху «доказової» медицини.

## 1.2 Дослідження типів та можливостей блокчейн-технологій

Блокчейн – це один із способів розподіленого зберігання даних. Цю технологію можна використовувати для запису та відстеження будь-якого виду інформації: від медичних показників до проведення виборів [39]. Блокчейн – це спільно використовуваний, постійний реєстр, який спрощує процес запису транзакцій та обліку активів у бізнес-мережі. Актив може бути матеріальним (будинок, автомобіль, гроші, земля) чи нематеріальним (інтелектуальна власність, патенти, авторські права, брендинг). Ця технологія знижує ризики та витрати для всіх задіяних сторін [40].

Головна відмінність блокчейна від стандартних баз даних – децентралізація. Тобто, по-перше, за цим процесом не стежить жодний регулятор чи організація. А по-друге, інформація не зосереджена, скажімо, на серверах в одному місці, а розподілена у величезній мережі комп'ютерів у всьому світі [41].

«У чому полягає важливість блокчейну: бізнес залежить від даних. Швидкість отримання та точність даних грають вирішальну роль. Блокчейн ідеально підходить для надання такої інформації, оскільки він пропонує уповноваженим учасникам мережі миттєвий, загальний та повністю прозорий доступ до інформації у незмінному реєстрі. Мережа блокчейна дозволяє відстежувати замовлення, платежі, облікові записи, товари та багато іншого. І оскільки всі учасники мають спільний доступ до єдиного джерела достовірних даних, вони можуть в будь-який момент переглянути всі відомості про транзакції, щоб працювати з більшою впевненістю та отримати нові переваги та можливості», - вважають у ІВМ [39, 40].

Блокчейн (від англійської blockchain) дослівно перекладається як ланцюг із блоків. У кожному з таких блоків у цифровому вигляді записана та чи інша інформація. Будь-який користувач може переглянути цю інформацію, але не може її змінити [42].

Кожна нова транзакція, незалежно від її розміру, перетворюється на новий хешований кластер. Він складається з унікального набору символів та цифр,

створеного за певним алгоритмом. Новий блок завжди посилається на попередній, тим самим створюючи строгу послідовність [43].

Блоки блокчейна зберігаються у вузлах, які допомагають синхронізувати та своєчасно оновлювати дані для всіх учасників. Вузли бувають повними та полегшеними. Повні зберігають абсолютно всі блоки, полегшені – тільки останні, але при необхідності можуть запитувати і попередні [44].

Перед потраплянням блоку в ланцюжок має відбутися низка подій. По-перше, угода має бути верифікована. На відміну від класичних транзакцій, у блокчейні операції підтверджуються мережею комп'ютерів. Як правило, мережі складаються з тисяч і навіть мільйонів машин у всьому світі. По-друге, після того, як угода була верифікована, інформація надсилається до блоку. Там міститься дата, час, сума та цифровий підпис обох сторін. І, нарешті, блок отримує унікальний ідентифікаційний зашифрований код, а також хеш попереднього пакета, доданого в ланцюжок. Після хешування він може бути доданий у блокчейн [45].

Для прискорення транзакцій застосовується набір правил (смайт-контракт), який зберігається в мережі блокчейна і виконується в автоматичному режимі. Смайт-контракт може визначати умови для передачі корпоративних облігацій, додавання критеріїв виплати туристичних страховок та багато іншого [46].

Кожна транзакція записується як блок даних. Транзакції відображають переміщення активу, який може належати до категорії матеріальних (товари) або нематеріальних (інтелектуальна власність). Користувач має повний контроль над вмістом блоку даних [47].

Кожен блок пов'язаний з попереднім та наступним блоком. Блоки утворюють ланцюжок даних по мірі того, як ресурс переміщається з одного місця до іншого або змінює власників. Блоки підтверджують точний час та порядок виконання транзакцій. Крім того, блоки нерозривно зчеплені один з одним, що виключає можливість зміни блоку або вставки між двома іншими блоками [48].

Транзакції утворюють незмінний ланцюжок блоків. Кожен новий блок вважається додатковим підтвердженням справжності попереднього блоку та блокчейну загалом. Таким чином блокчейн захищений від несанкціонованих змін,

і в цьому полягає одна з його головних переваг — незмінність. Оскільки можливість зламування зловмисників виключена, створюється надійний реєстр транзакцій, якому учасники мережі можете довіряти [49].

Як зазначено вище, всі блоки з'являються в ланцюзі в хронологічному порядку. У ньому міститься інформація про дату та час угоди, власний зашифрований код та хеш попереднього блоку [50].

Як тільки інформація потрапляє до блокчейну, її неможливо змінити або видалити. Ключем до безпеки технології є те, що всі користувачі мережі повідомляються про будь-які зміни [51, 52].

Друга умова, яка забезпечує блокчейну безпеку, - складність процесу доказу роботи (Proof-of-Work). Для зміни блоку хакеру знадобиться вирішити цілий комплекс математичних завдань від вузлів, що не так вже й просто [51, 52].

І головне – прозорість мережі. Будь-яка людина може переглянути інформацію про блоки, що означає повну прозорість транзакцій. Оскільки у будь-який момент часу в мережі знаходяться мільйони комп'ютерів, стає практично неможливим зламати систему і залишитися непоміченим [51, 52].

Типи блокчейн-мереж [48-50]:

1) загальнодоступні блокчейн-мережі – до загальнодоступної блокчейн-мережі може приєднатися будь-який користувач; до недоліків такої мережі належать високі вимоги до обчислювальної потужності, низький рівень конфіденційності транзакцій та слабкий захист; ці критерії важливі при використанні блокчейну у корпоративних середовищах;

2) приватні блокчейн-мережі – приватна блокчейн-мережа, як і загальнодоступна блокчейн-мережа, є децентралізованою одноранговою мережею; проте управління такою мережею здійснюється однією організацією, яка відповідає за управління учасниками, виконання протоколу консенсусу та підтримку загального реєстру; залежно від сценарію використання такий підхід дозволяє істотно підвищити достовірність і надійність інформації, що передається між учасниками; приватна блокчейн-мережа може перебувати за корпоративним брандмауером або навіть у локальному середовищі;

3) ексклюзивні блокчейн-мережі – компанії, що обирають приватний блокчейн, зазвичай налаштовують ексклюзивну мережу; важливо, що загальнодоступні блокчейн-мережі також можуть бути ексклюзивними; це накладає певні обмеження на коло осіб, яким дозволено брати участь у мережі або лише окремих транзакціях; учасникам необхідно отримати запрошення чи дозвіл на приєднання;

4) блокчейн-консорціум – відповідальність за адміністрування блокчейну може лежати на кількох організаціях; ці заздалегідь обрані організації встановлюють права доступу до виконання транзакцій чи доступу до даних; блокчейн-консорціум є ідеальним рішенням для компаній, коли всі учасники мають дозволи та несуть колективну відповідальність за блокчейн.

Основним типом блокчейну є децентралізовані або загальнодоступні блокчейни, такі як біткоіни, в яких будь-хто може отримати доступ і брати участь. Однак технологія блокчейну не обмежується тільки децентралізацією, оскільки централізовані блокчейни також мають деякі переваги для корпорацій [53].

З технологічної точки зору як централізовані, так і децентралізовані ланцюжки блоків дуже схожі, оскільки обидві розподілені в тимчасових мережах, де кожен вузол відповідає за зберігання та захист загальної книги. І для тих, і для інших блокчейнів потрібен узгоджений механізм (наприклад, підтвердження роботи або підтвердження участі) між вузлами для створення єдиної книги [53].

Найбільший фактор, який відрізняє централізовані ланцюжки блоків від децентралізованих, - це пул вузлів, які можуть брати участь в мережі і вносити адміністративні зміни в мережу. Так, наприклад, біткоіни, який є найбільшим загальнодоступним блокчейном в світі, не має перешкод для доступу, коли мова заходить про доступ до книги та спільне використання комп'ютера для виконання алгоритму перевірки роботи. На відміну від цього, наприклад, IBM Hyper Ledger Fabric є більш налаштованою в тому сенсі, що організація, яка розгортає Blockchain, має право голосу в кожному аспекті участі в блокчейні. Централізовані блокчейни, як правило, більш обмежені в тому, кому вони дозволяють вносити зміни в книгу, оскільки вони використовують блокчейн для внутрішніх записів [53, 54].

Переваги блокчейну [44-49]:

1) зміцнення довіри – приєднуючись до мережі блокчейна, користувач може бути впевнений в тому, що завжди отримуватиме достовірну та оперативну інформацію, а також у тому, що його конфіденційні записи блокчейна доступні лише вибраним ним учасникам мережі;

2) висока безпека – для здійснення транзакції потрібна згода всіх учасників щодо точності даних, і записи про всі перевірені транзакції є незмінними; ніхто, навіть системний адміністратор, не може видалити транзакцію;

3) підвищення ефективності – розподілений реєстр, доступ до якого мають усі учасники мережі, дозволяє не витратити час на звіряння записів. Для прискорення транзакцій застосовується набір правил (смайт-контракт), який зберігається в мережі блокчейна і виконується в автоматичному режимі.

Більшість фахівців сходяться на думці, що блокчейн є досить безпечним, проте є й мінуси цієї технології. Перша проблема – масштабованість. Тобто зі зростанням кількості учасників, системі все складніше обробляти транзакції. Ще один ризик — так звана «атака 51%» [39]. Це означає, що кілька користувачів мережі, які мають великі комп'ютерні потужності, домовилися і можуть змінити записи в конкретному блоці. Інша проблема для блокчейнів, які використовуються не для криптовалют, - недостатнє тестування, тому вони більш схильні до хакерських атак.

### 1.3 Дослідження застосування блокчейн-технологій при побудові інформаційних технологій для керування медичними даними

Ще до пандемії COVID-19 галузі охорони здоров'я та природничих наук стикалися із серйозними проблемами, пов'язаними із взаємодією, конфіденційністю та відстежуваністю ланцюжків постачання. Ще одна серйозна проблема полягає у відсутності злагодженої взаємодії між закритими системами електронних медичних карт, які пропонують більше 700 постачальників.

В умовах пандемії організації у сфері охорони здоров'я та природничих наук зіштовхнулися з новими проблемами, включаючи адаптацію ланцюжків поставок для доставки засобів захисту та швидку розробку методів лікування, тестів та вакцин. В даний час вони активно впроваджують засоби управління згодою та забезпечення безпеки медичних даних, щоб якнайшвидше відновити роботу після зняття обмежень.

Блокчейн вже довів свою ефективність у галузі охорони здоров'я та природничих наук, допомагаючи зміцнити довіру та оптимізувати співпрацю. Більше того, ця технологія продовжить відігравати провідну роль у вирішенні ще складніших проблем [55].

Останнім часом підвищена увага до технології розподілених реєстрів привела до розуміння потенціалу застосування блокчейн-технологій при побудові інформаційних технологій для системи охорони здоров'я. Основний бум блокчейн-проектів в медицині доводиться на США. Загальна картина обсягу використання блокчейн-технологій для медичних ІТ виглядає наступним чином (рисунок 1.1).

**Size of the blockchain technology market worldwide from 2016 to 2021 (in million U.S. dollars)**

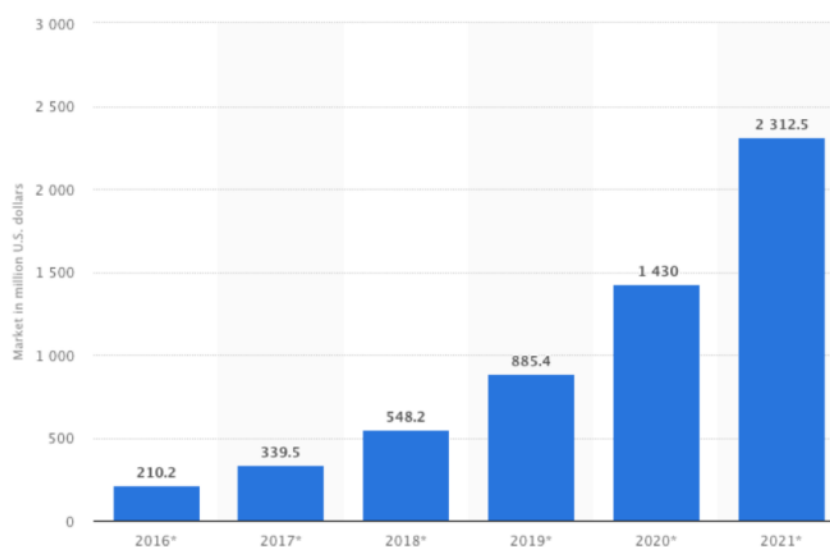


Рисунок 1.1 – Обсяги використання блокчейн-технологій для медичних інформаційних технологій [56]

Блокчейн перетворить медичні підприємства та підвищить якість обслуговування, дозволяючи розвиватися новим екосистемам та новим бізнес-моделям. Інформація про охорону здоров'я, що зберігається в блокчейні, може змінити спосіб зберігання клінічної інформації, а також те, як відбувається обмін інформацією в організації, з партнерами з охорони здоров'я, платниками і, головне, з пацієнтами. Блокчейн децентралізує медичну інформацію, підвищуючи доступність, ефективність, прозорість даних та довіру до них, але також вимагає ретельного планування, щоб максимально використати переваги, які він приносить [57].

Розрізнені системи обліку можуть призвести до форм згоди пацієнтів та історії хвороби, які є неповними, суперечливими або неоднозначними. Записи, збережені в блокчейні, можна використовувати для надання повних поздовжніх записів про стан здоров'я для окремих осіб, надаючи всім пацієнтам більше контролю над власною інформацією через підтверджену згоду. Завдяки блокчейну кожен запис пацієнта відображає найвідоміші медичні факти – від геномних даних до діагностичної медичної візуалізації – і може бути надійно переданий, коли це необхідно, без необхідності центрального адміністратора [57].

Управління клінічними випробуваннями генерує величезні масиви даних, що вимагає від адміністраторів охорони здоров'я вести надійні та послідовні записи для експертної перевірки та відповідності нормативним вимогам. Інструменти блокчейн у поєднанні з електронним збором даних можуть дозволити автоматично агрегувати, тиражувати та розподіляти клінічні дані серед дослідників і практиків з більшою ревізією, відстеженням походження та контролем порівняно зі складними та звичайними системами [57].

Важко оцінити вартість медичної допомоги. Облік реальних витрат на всі аспекти медичної допомоги може розчарувати як постачальників, так і пацієнтів. Контракти на основі блокчейну, засновані на результатах, пов'язують клінічні результати з витратами. Постачальники послуг від аптек до лікарень можуть запропонувати споживачам медичну допомогу за допомогою моделі за вартістю замість плати за послуги і зменшити складність записів [57].

Дослідимо відомі рішення для керування медичними даними на основі блокчейн-технологій.

Всі існуючі проєкти з використання блокчейн-технології у сфері охорони здоров'я можна розділити на декілька напрямків:

1) відстеження походження – використання розподіленого реєстру для регулювання фармацевтичних поставок і відстеження медикаментів:

- проєкт The MediLedger Project [58] – відкрита мережа для врегулювання постачання фармацевтичних препаратів з метою скорочення витрат на дотримання нормативних вимог, підвищення безпеки, покращення загальної бізнес-діяльності фармацевтичного ланцюжка постачань, а також припинення надходження контрафактних/фальсифікованих ліків

- проєкт Prescription [59] – використання iDIN, онлайн-служби перевірки справжності, яка застосовується в інтернет-банкінгу, в якості засобу підключення до блокчейн з метою самостійного вибору пацієнтами постачальника медичних послуг без посередників, а також з метою відстеження походження рецептів

2) зберігання та управління даними – у сфері охорони здоров'я питання управління інформацією є дуже актуальним; медичні працівники щодня працюють з даними, які вимагають обережного поводження, анонімності, коректної передачі, а також особливих правил щодо надання доступу до медичних даних, особливого алгоритму управління правами. Це найпопулярніший напрям розробок в медицині, відтак є більше 20 рішень для зберігання та управління медичними даними на основі блокчейн-технологій:

- система Healthchain [60] для зберігання особистих медичних записів; представлена у вигляді графіків інформація про здоров'я пацієнтів допомагає фахівцям покращити методики лікування, залучити клієнтів, збільшити прибуток, уникнути втрат та скоротити витрати на адміністративний ресурс

- платформа IRYO [61] для збереження і контролю пацієнтами електронних медичних карт на основі блокчейну EOS, забезпечує безпечно зберігання даних про здоров'я під повним контролем самого пацієнта

- проєкт CareX [62] для проведення платежів в сфері охорони здоров'я через власний токен CareX; проєкт, що вирішує проблему транскордонних переводів коштів при медичному туризмі
- платформа SmartHealthCareToday [63] для збереження особистих медичних даних, інтеграції стандарту EHR та PHR, які містять інформацію про життя пацієнта, його автності та регулярні вимірювання медичних показників; надає дані про здоров'я для медичних установ для покращення методів лікування
- акредитована онлайн-програма The Medical Interpreting and Translating Institute Online [64] для навчання медичного перекладу; MiTio пропонує онлайн-курс, доступний через додаток і у веб-версії
- платформа GlobalLabs [65] для досліджень і розробок в сфері охорони здоров'я на базі блокчейну; база даних/каталог дослідників з описом їх можливостей для установ, зацікавлених в науково-дослідницьких і дослідно-конструкторських роботах
- децентралізована платформа ClinicoIn [66], що винагороджує учасників за дотримання здорового способу життя; інформація та особисті медичні дані зберігаються в системі, що дозволяє їй відстежувати результати і розробляти індивідуальні плани; за виконання «здорових» дій учасники отримують токени
- система QuantH [67] для зберігання та обміну медичними даними на основі блокчейн; рішення «все-в-одному» пропонує широкий спектр медичних послуг від децентралізованих служб на блокчейні
- система Patientory [68] для зберігання і управління медичними даними; доступ до даних відкривається за допомогою додатку; Patientory сполучається з будь-якою системою HER і дозволяє взаємодіяти лікарям, постачальникам медичних послуг та споживачам
- майданчик Synthium Helath [69] для створення ділових зв'язків між медичними установами і постачальниками медичного обладнання; платформа дає можливість постачальникам розширити свою присутність на ринку, продавати товари швидше, знижуючи операційні витрати

- проєкт MedRec [70], що створює блокчейн-систему для медичних карток пацієнтів; його функції – реєстрація і зберігання медичних записів в формі, що дозволяє пацієнтам та лікарям, постачальникам медичних послуг та родичам пацієнтів отримувати доступ до медичної карти пацієнта
- проєкт eHealth Estonia [71] зі створення бази медичних карток Естонії на блокчейні; забезпечує безпеку при зберіганні даних, їх прозорості, зручності керування електронною системою та життєвими циклом медичних карт
- стартап Open Longevity [72] з розроблення діагностичної панелі старіння, тобто програмного забезпечення, яке дозволяє накопичувати і аналізувати дані про стан здоров'я, вікові зміни організму та на їх основі створювати ефективні методики для терапії старіння
- проєкт Mediacalchain [73] для зручного і безпечного зберігання особистих даних пацієнтів; транзакції медичних записів розташовуються в блокчейн, а потім створюється смарт-контракт, який надає обмежений в часі доступ до електронної карти пацієнта
- система BurstIQ [74] для обробки, зберігання і передачі медичних даних пацієнта; майданчик для зручного обміну інформацією про здоров'я з фахівцями, науковими центрами та фармацевтичними компаніями
- проєкт Gene Blockchain [75] з упором на дослідницький напрямок роботи; надає доступ до генетичних даних, що дозволяє знайти причини багатьох захворювань і розробляти методики з їх запобігання та лікування
- децентралізоване сховище Bowhead Health [76] для персональних даних користувачів; сховище контролюється виключно самим пацієнтом за допомогою мобільного додатку
- платформа Rokitdok [77], що накопичує досвід у сфері охорони здоров'я; за її допомогою можна знаходити постачальників медичних послуг, отримати інформацію про ціноутворення на медичні процедури
- проєкт DokChain [78] для обробки фінансових та клінічних даних в галузі охорони здоров'я, забезпечення інтелектуальної та динамічної автоматизації медичних процедур

- проєкт HealthCombix [79] для структурування роботи медичних організацій; на платформі доступна телемедицина, можливі винагороди в криптовалюті за надання даних

3) телемедицина (оперативна віртуальна комунікація з медичними фахівцями) – проєкти, що розробляють платформи, за допомогою яких пацієнт може отримати консультації у медичних фахівців:

- платформа Symptomatic [80] для здійснення роботи з великими даними, сумісна з електронними медичними картками та надає послуги телемедицини шляхом відеоконференцій; підходить для управління даними про будь-яке хронічне захворювання

- платформа Docademic [81], що спеціалізується на телемедицині і з'єднує пацієнтів з лікарями з використанням відеозв'язку; пропонує рекомендації по лікуванню та діагностиці для лікарів, масовий доступ до груп пацієнтів

- проєкт DocCoin [82] для з'єднання за допомогою смарт-контрактів користувача з будь-яким медичним фахівцем світу, який може проконсультувати, призначити лікування і виписати ліки

- платформа TrustedHealth [83] для телемедицини, яка базується на блокчейні; система може зв'язати пацієнта з будь-яким медичним фахівцем з усього світу

- система PointNurse [84], основним напрямком діяльності якої є телемедицина; дозволяє медсестрам і членам команди підтримки проводити прямі консультації з первинної медико-санітарної допомоги, здійснювати оцінку здоров'я, зручно розподіляти між собою обов'язки

4) діагностика – проєкти в галузі новітніх технологій, спрямовані на виявлення хвороб з використанням блокчейну:

- блокчейн-інфраструктура SKYCHAIN [85], призначена для розташування, навчання та використання штучного інтелекту в сфері охорони здоров'я, а також для того, щоб зробити інтелектуальні діагностичні системи більш доступними для споживача, використовуючи блокчейн для забезпечення безпечних транзакцій між ключовими сторонами

- система DeepRadiology [86], що використовує глибоке машинне навчання для обробки зображень, отриманих методами радіоопромінення;

- IT-платформа eHealthFirst [87] для персоналізованого управління медичними картами на базі блокчейну з використанням штучного інтелекту, машинного навчання та природомовної обробки; забезпечує первинну діагностику і формування на її основі оптимального алгоритму діагностики, лікування та профілактики

5) використання блокчейну для залучення коштів – проекти, що шукають фінансування для реалізації своїх ідей:

- платформа SolveCare [88] для децентралізації послуг у сфері охорони здоров'я, яка дозволяє постачальникам медичних послуг та страховим компаніям взаємодіяти з клієнтами без посередників;

- система Luven [89] для діагностування раку на ранніх стадіях та проект, який підтримує розвиток цієї методики;

- пристрій Health Monitor [90] для неінвазивної діагностики діабету, виразки шлунку і раку легень;

- проект Elcoin [91], який одночасно займається розробкою медичного і косметологічного обладнання та децентралізованої системи на блокчейні для розширення доступності медичних послуг, підвищення їх якості та надійності.

Проведене дослідження використання блокчейн-технології у сфері охорони здоров'я показало, що наразі практично всі описані проекти – це прототипи, які перебувають на стадії розробки. Більшість з цих прототипів знаходяться на етапі альфа-тестування, що не дає можливості подивитися готовий продукт. Але багато проектів мають відкритий код і відкриті для нових учасників.

Найпопулярнішим напрямком для застосування технології blockchain в медицині є зберігання і управління даними, для якого розробляється найбільша кількість проектів, що пропонують рішення по роботі з великими даними. Незважаючи на це, перспективними напрямками також можна вважати контроль ланцюжків поставки і залучення коштів на стадіях R&D (Research & Development).

## 1.4 Висновки. Постановка задачі

На сьогодні процеси прийняття рішень у сфері охорони здоров'я є трудомісткими та складними. Продуктивність праці медичних працівників може бути збільшена завдяки використанню інформаційних технологій. Саме інформаційні технології можуть зменшити кількість медичних помилок, надати більш надійні рішення та зменшити витрати на охорону здоров'я. Сьогодні медичні інформаційні технології повинні відповідати 4 вимогам: ефективність, безпека, новизна та економічна вигода. Сфера охорони здоров'я в Україні давно потребує змін, і безліч можливостей блокчейн-технології (blockchain) можуть допомогти їй очолити трансформацію цієї сфери та забезпечити відповідність зазначеним 4-м вимогам. Таким чином, підвищена увага до технології розподілених реєстрів привела до розуміння потенціалу застосування блокчейн-технології в системі охорони здоров'я. Отже, наразі актуальною задачею є потреба у керуванні медичними даними на основі блокчейн-технологій.

Метою даного дослідження є підвищення ефективності керування медичними даними шляхом розроблення методів керування медичними даними на основі блокчейн-технологій.

Для досягнення поставленої мети слід розв'язати наступні задачі:

1) аналіз відомих методів та рішень для керування медичними даними на основі блокчейн-технологій;

2) моделювання процесу керування медичними даними;

3) розроблення методу оцінювання достатності медичних даних;

4) розроблення методу виконання транзакцій над медичними даними;

5) розроблення архітектури системи керування медичними даними на основі блокчейн-технологій;

б) проведення експериментів із керування медичними даними на основі блокчейн-технологій.

## **2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ**

### **2.1 Моделювання руху інформаційних потоків в процесі керування медичними даними**

Наразі має місце стрімкий розвиток інформаційних систем та мережевих технологій закладів охорони здоров'я, кіберфізичних медичних систем. Однак дані, використовувані в цих системах та технологіях, можуть піддаватися загрозі витоку, фальсифікації та підробки під час їх передачі, зберігання та обміну [92].

Медична допомога стала невід'ємною частиною життя людей. Наразі має місце різке збільшення обсягу медичних даних (наприклад, медичних карток). Точність та повнота медичних даних є однією із найважливіших вимог як пацієнтів, так і лікарів. Захист конфіденційності та безпечне зберігання медичних даних є вирішальними питаннями під час надання медичних послуг. Безпечне зберігання та повнота особистих медичних карт давно хвилює людство. Якщо медичні дані будуть вкрадені, підроблені або видалені, це може призвести до затримки прогресу лікування і навіть становити загрозу життю пацієнта [93].

Електронні медичні картки є зручним інструментом для зберігання та аналізу медичних даних. Обмін електронними медичними записами та картками між різними організаціями охорони здоров'я має велике позитивне значення для досліджень щодо запобігання захворюванням та епідеміям/пандеміям, приводить до кращої якості медичної допомоги, мінімізації часу реагування в надзвичайних ситуаціях та більш точного контролю критичних медичних подій. Однак електронні медичні картки містять велику кількість конфіденційної інформації, тому досі дуже важко обмінюватись медичною інформацією між різними медичними установами, хоча обмін даними між різними медичними установами вже є тенденцією розвитку медицини та сфери медичних послуг. Обмін великою кількістю інформації між різними організаціями охорони здоров'я є складним з точки зору безпеки, конфіденційності та навантаження на мережу, особливо для великомасштабних систем охорони здоров'я. Витік даних в електронних

медичних картках може призвести до порушення конфіденційності даних пацієнта (наприклад, його стану здоров'я, діагнозу, тощо) [94-96].

Поява технології блокчейн надає нову ідею для вирішення цієї проблеми. Як хеш-ланцюжок з характеристиками децентралізації, перевірки та незмінності, технологія блокчейн може використовуватись для безпечного зберігання персональних медичних даних. Технологія блокчейн є децентралізованою, безпечною, надійною, призначеною для колективного обслуговування і захищеною від підробок, тому вона підходить для захисту та обміну медичними даними. Блокчейн, як нова технологія, широко використовується для вирішення проблем ефективності та безпеки обміну медичними даними. Блокчейн є безпечним у застосуванні, оскільки він шифрує та перевіряє медичні дані у випадку злому чи витоку інформації. Завдяки таким особливостям технологія блокчейн на сьогоднішній день отримує величезні переваги для медичних даних [97].

За допомогою блокчейну користувачі можуть зберігати важливі медичні дані, оригінальність яких можна перевірити, якщо є підозра на підробку. Крім того, можуть бути використані криптографічні алгоритми для забезпечення конфіденційності медичних даних (наприклад, зловмисник не зможе прочитати текст, якщо він вкрав дані) [98].

Як правило, більшість даних в електронних медичних картках залишаються незмінними після їх завантаження в систему. Таким чином, блокчейн потенційно може використовуватися для полегшення обміну медичними даними. Різні медичні організації та окремі особи (наприклад, лікарі, лікарні, медичні лабораторії та страхові компанії) можуть отримати доступ до електронних медичних карток, що зберігаються в блокчейні, з більш високим рівнем довіри. Блокчейн-рішення пропонують ефективні підходи до надійного управління медичними даними, коли зберігаються та обробляються конфіденційні дані пацієнтів. Звісно, для успішного впровадження технології блокчейн в управління медичними даними важливо отримати згоду лікарів і пацієнтів. Наразі багато інституційних та промислових закладів вже визнали важливість технології для сектора охорони здоров'я, а також сформулювали основні ідеї, концепції та основні варіанти використання [99].

Перш ніж виконати моделювання процесу керування медичними даними, слід виконати моделювання руху інформаційних потоків в процесі керування медичними даними з використанням блокчейн-технологій.

В процесі керування медичними даними з використанням блокчейн-технологій медичні дані будуть розташовуватись в блоках блокчейну. Тому для початку розглянемо структуру блоку блокчейну. Враховуючи, що заголовок блоку блокчейну містить дату та час, версію, метадані, цифрові підписи сторін, власний зашифрований код, хеш попереднього блоку, представимо такий блок у наступному вигляді – рисунок 2.1.

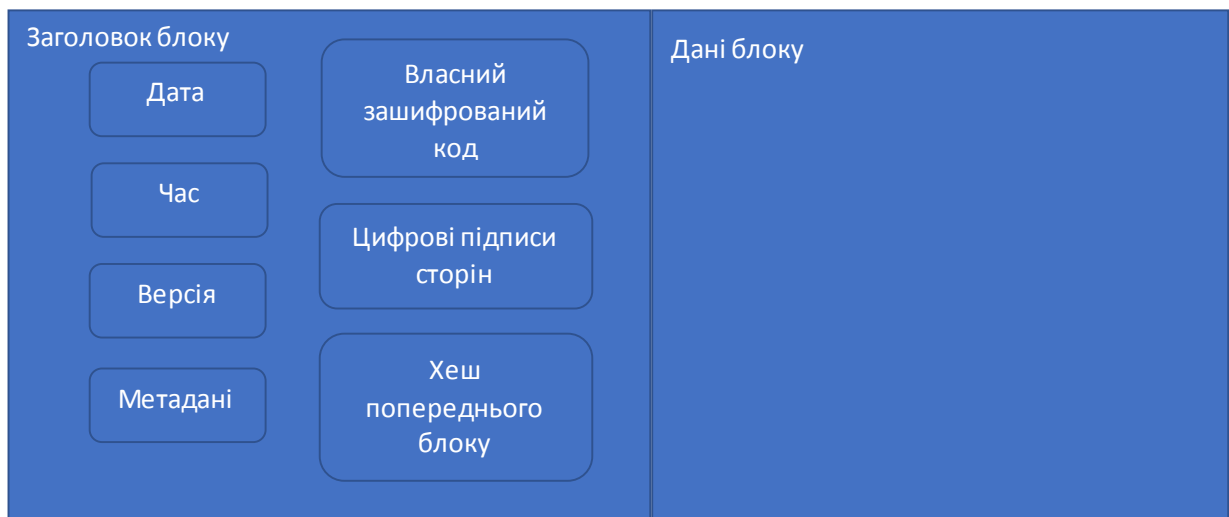


Рисунок 2.1 – Структура блоку блокчейну

Представимо тоді блок блокчейну у формалізованому вигляді – у вигляді кортежу його елементів:

$$B = \langle H, D \rangle = \langle (d, t, v, md, ec, ds, hb), D \rangle, \quad (2.1)$$

де  $H$  – заголовок блоку,  $D$  – дані блоку,  $d$  – дата,  $t$  – час,  $v$  – версія,  $md$  – метадані,  $ec$  – власний зашифрований код,  $ds$  – цифрові підписи сторін,  $hb$  – хеш попереднього блоку.

Блокчейн – це ланцюг із блоків. Кожен блок пов'язаний з попереднім та наступним блоком. Блоки нерозривно зчеплені один з одним, що виключає можливість зміни блоку або вставки між двома блоками.

Враховуючи вищенаведену інформацію, представимо фрагмент блокчейну у наступному вигляді – рисунок 2.2.



Рисунок 2.2 – Фрагмент блокчейну

Представимо тоді такий фрагмент блокчейну у формалізованому вигляді – у вигляді множини кортежів, які представляють блоки блокчейну:

$$\begin{aligned}
 BCH &= \{B_1, B_2, \dots, B_{n-1}, B_n, B_{n+1}, \dots\} = \\
 &= \{ \langle (d_1, t_1, v_1, md_1, ec_1, ds_1), D_1 \rangle \\
 &\quad \langle (d_2, t_2, v_2, md_2, ec_2, ds_2, hb_1), D_2 \rangle \dots, \\
 &\quad \langle (d_{n-1}, t_{n-1}, v_{n-1}, md_{n-1}, ec_{n-1}, ds_{n-1}, hb_{n-2}), D_{n-1} \rangle, \quad (2.2) \\
 &\quad \langle (d_n, t_n, v_n, md_n, ec_n, ds_n, hb_{n-1}), D_n \rangle \\
 &\quad \langle (d_{n+1}, t_{n+1}, v_{n+1}, md_{n+1}, ec_{n+1}, ds_{n+1}, hb_n), D_{n+1} \rangle, \\
 &\quad \dots \}
 \end{aligned}$$

де номер елемента  $hb$  вказує, що це хеш саме попереднього блоку.

Блоки блокчейну зберігаються у вузлах, які допомагають синхронізувати та своєчасно оновлювати дані для всіх учасників. Крім блоків, у вузлах зберігаються комплекси математичних завдань для зміни блоку – так звані Proof-of-Work tasks, призначені для ускладнення процесу доказу і забезпечення безпеки блокчейну.

В мережі блокчейну зберігається також смарт-контракт – набір правил для прискорення транзакцій, які виконуються в автоматичному режимі.

Враховуючи вищевикладене, представимо приклад мережі блокчейну у наступному вигляді – рисунок 2.3.

Представимо вузол блокчейну у наступному формалізованому вигляді:

$$\begin{aligned}
 BCH = & \langle \{ \langle (d_1, t_1, v_1, md_1, ec_1, ds_1), D_1 \rangle \\
 & \langle (d_2, t_2, v_2, md_2, ec_2, ds_2, hb_1), D_2 \rangle, \dots, \\
 & \langle (d_{n-1}, t_{n-1}, v_{n-1}, md_{n-1}, ec_{n-1}, ds_{n-1}, hb_{n-2}), D_{n-1} \rangle, \quad (2.3) \\
 & \langle (d_n, t_n, v_n, md_n, ec_n, ds_n, hb_{n-1}), D_n \rangle \\
 & \langle (d_{n+1}, t_{n+1}, v_{n+1}, md_{n+1}, ec_{n+1}, ds_{n+1}, hb_n), D_{n+1} \rangle, \dots \}, T \rangle
 \end{aligned}$$

де  $T$  – множина Proof-of-Work tasks.

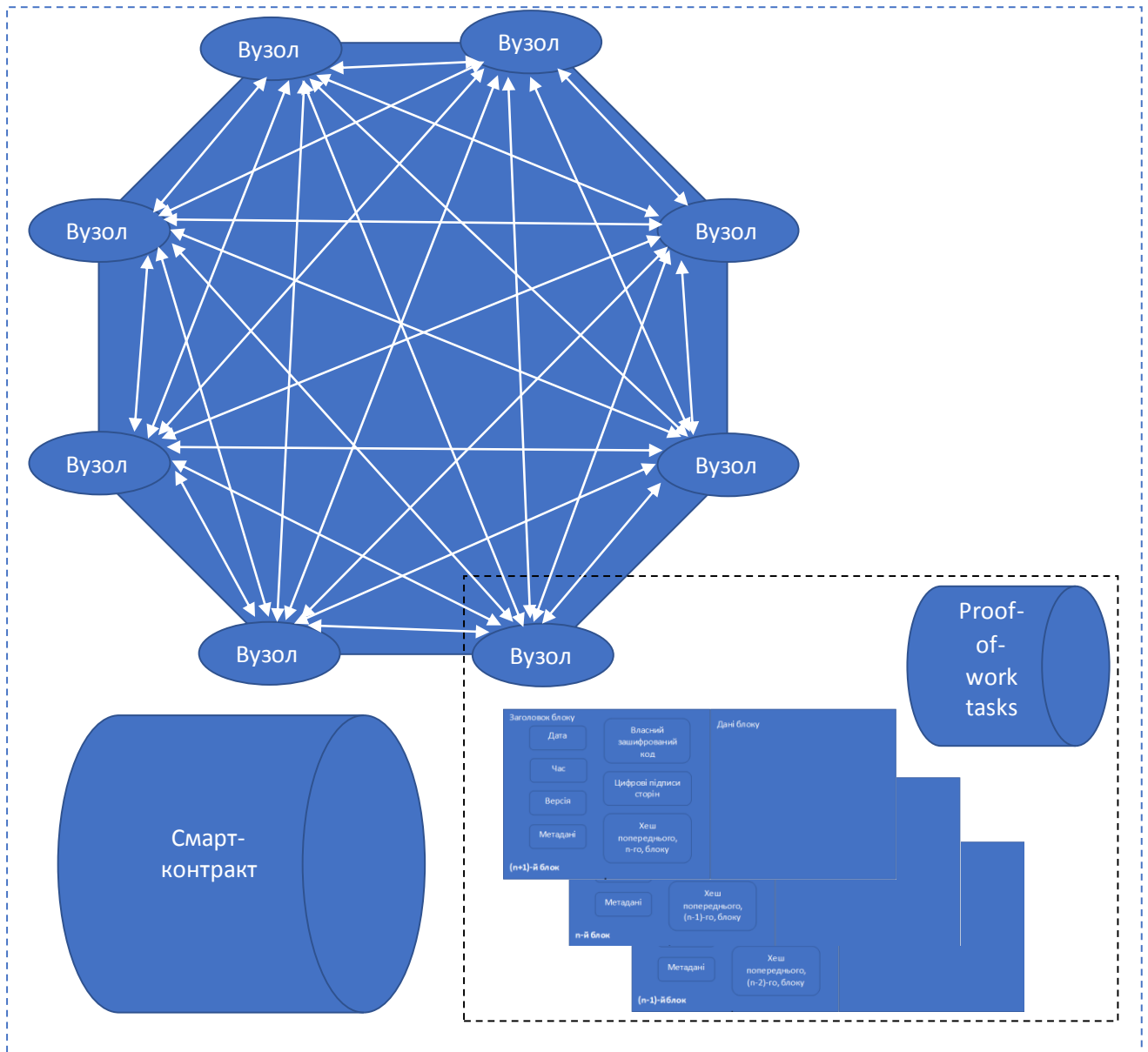


Рисунок 2.3 – Мережа блокчейну

Медичні дослідження вимагають інтеграції різних інструментів та джерел даних. Наприклад, до них можуть належати інструменти секвенування, дані з електронних медичних карт, записи про фізичну активність, отримані з IoT-пристроїв, а також інструменти роботи з великими даними та методи глибокого навчання.

До основних викликів належить як відсутність загального формату даних, і складності зі своїми отриманням у часі. Блокчейн може дозволити створити великі масиви даних із різних джерел та забезпечити їх зв'язок між собою. Крім цього, технічні можливості блокчейну забезпечать взаємодію між постачальниками та споживачами даних, а також зможуть захистити конфіденційність пацієнтів та безпеку самих даних.

В процесі керування медичними даними слід поєднати наявні в медичних установах медичні дані, якими слід обмінюватись з іншими медичними (і не тільки) установами, із мережею блокчейну з метою організації захисту медичних даних, а також оцінити репутацію медичної установи (як майнера) та розробити процедуру (порядок) виконання транзакцій.

Структура і зміст інформаційних потоків в процесі керування медичними даними представлені на рисунку 2.4.

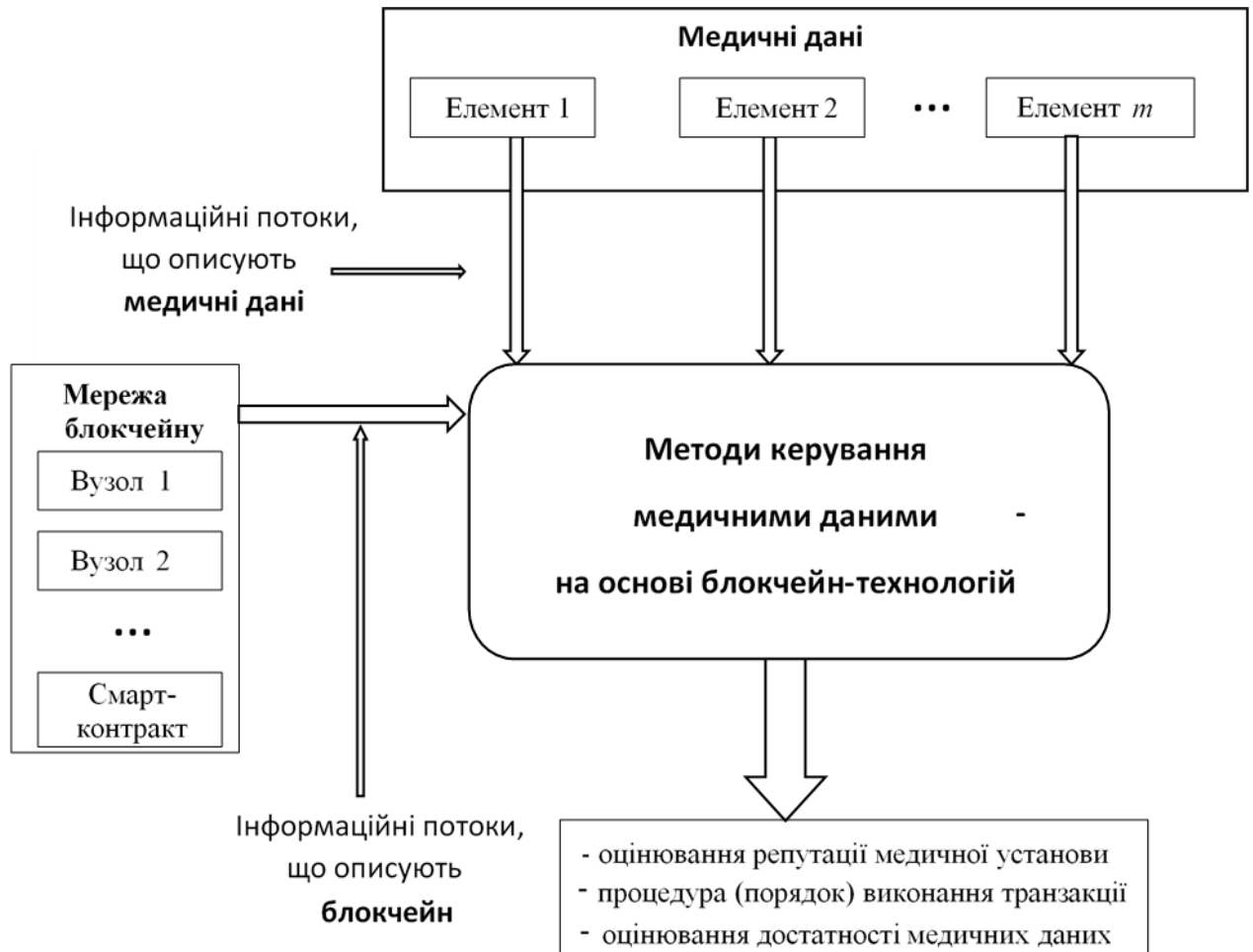


Рисунок 2.4 – Структура і зміст інформаційних потоків в процесі керування медичними даними

На основі проведеного моделювання інформаційних потоків в процесі керування медичними даними виконаємо моделювання процесу керування медичними даними.

## 2.2 Моделювання процесу керування медичними даними: оцінювання достатності

Зазвичай, медичними даними вважають тільки ті дані, що отримують при вимірюванні характеристик пацієнта. Кількість характеристик пацієнта чимала (і не залежить, чи йде мова про хвору або здорову людину).

Для більшості медичних даних характерні наступні особливості: нечіткість; неузгодженість термінології; велика кількість якісних ознак, які суб'єктивно оцінюють стан хворого; відсутність єдиних алгоритмів опису стану пацієнта; відсутність єдиних алгоритмів опису діагностичного і лікувального процесів; недостатній рівень стандартизації медичної документації; значна різноманітність медичних даних.

Враховуючи особливості побудови блокчейну та моделювання руху інформаційних потоків в процесі керування медичними даними, виконане у підрозділі 2.1, слід оцінити достатність медичних даних, перш ніж заносити їх в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну. Розглянемо процес оцінювання достатності медичних даних на прикладі оцінювання достатності інформації (наявності всіх істотних умов) у договорі про надання медичних послуг.

При здійсненні медичної діяльності, лікувальний заклад щодня зіштовхується з необхідністю документарного врегулювання відносин з контрагентами, починаючи з питань забезпечення необхідним для роботи обладнанням, медикаментами, співпрацею з іншими лікувальними закладами і закінчуючи безпосередньою реалізацією основного виду діяльності – надання медичних послуг пацієнтам. Однією з найпоширеніших підстав виникнення правовідносин з надання медичних послуг є договір про надання медичних послуг [100]. Цей правочин виконує роль основного правового механізму реалізації прав і законних інтересів його учасників (фізичних осіб, медичних закладів, лікарів) і стимулювання економічної доцільності приватної медичної діяльності.

Договір про надання медичних послуг можна розглядати як домовленість, згідно якої одна сторона (лікар, медичний заклад) зобов'язується надати відповідну медичну послугу за зверненням іншої сторони (пацієнта), спрямовану на відновлення та підтримання його здоров'я, а пацієнт зобов'язується сплатити за неї грошову суму, визначену в договорі.

Договір про надання медичних послуг має термін чинності; визначає права і обов'язки сторін; базується на приватній автономії; є формою опосередкування відносин між лікарем і пацієнтом; уможливорює договірну цивільну

відповідальність лікаря (медичного закладу). В договорі можуть бути передбачені конкретні види медичних послуг. За своєю природою договори про надання медичних послуг є двосторонніми. Дані договори можуть укладатись на визначений або на невизначений строк.

У сучасному цивільному законодавстві сторонами договору про надання медичних послуг є виконавець та замовник. Аналіз ст.901 Цивільного Кодексу України дає підстави стверджувати, що і виконавцем, і замовником можуть бути фізичні (громадяни України, іноземні громадяни та особи без громадянства) і юридичні особи (підприємства, установи, організації усіх форм власності і господарювання), оскільки стаття не містить жодних обмежень щодо суб'єктного складу зобов'язання. Пацієнтом і відповідно стороною договору може бути також неповнолітній. Однак один з подружжя не може укласти договір замість іншого.

До істотних умов договору надання медичних послуг належать:

1) предмет договору – предметом договору виступають дії з надання медичної послуги, тобто вчинення лікарем (медичною установою) певних дій щодо надання медичних послуг стосовно профілактики, діагностики, лікування, реабілітації; слід особливо відзначити, що предметом у договорі буде не послуга, а сам процес надання послуги (дії виконавця);

2) мета укладення договору про надання медичних послуг – метою укладення договору є не лише результат, а й процес, внаслідок якого досягається результат, що, в свою чергу, є мотивом укладення договорів про надання медичних послуг;

3) ціна договору – ціна медичної послуги, як правило, встановлюється надавачем послуги (лікарем або медичною організацією) в односторонньому порядку, виходячи із її характеру, обсягу та враховуючи ринкові ціни на аналогічні послуги; при цьому, виконавці платних медичних послуг не можуть ігнорувати положення цивільного законодавства України щодо публічності правовідносин з надання медичних послуг; фізична особа може погодитися з ціною встановленою конкретним суб'єктом надання медичних послуг і, відповідно, здійснити волевиявлення для укладення договору або ж звернутися до іншого послугодавця;

4) умова про право на доступну, своєчасну, достовірну та повну інформацію про стан здоров'я пацієнта – у чинному Цивільному кодексі України міститься стаття (ст.285), що передбачає право фізичної особи на інформацію про стан здоров'я;

5) якість послуги – лікар та пацієнт по-різному оцінюють якість наданої медичної послуги; пацієнт оцінює якість медичної допомоги з позицій стану свого здоров'я після лікування та ставлення до нього лікаря; лікарі оцінюють якість надання медичної допомоги насамперед за технічною майстерністю, досягненням бажаного результату лікування; якість медичної послуги залежить від наступних чинників: профіль медичного закладу, професійна компетенція лікаря та його сумлінне ставлення до своїх обов'язків, правильність обраних методів лікування, оснащеність медичного закладу необхідною сучасною медичною апаратурою;

б) умови припинення договору – припинення договору про надання медичних послуг може відбутись при настанні однієї з підстав: смерть однієї із сторін, за взаємною згодою, після припинення маніпуляцій, вибір іншого лікаря внаслідок втрати довіри до лікаря чи лікувального закладу;

7) строк дії договору;

8) строк дії зобов'язань – строк дії договору може закінчитись, а зобов'язання продовжує існувати (наприклад, коли через деякий час пацієнт звертається до медичного закладу із проханням виправити недоліки, що були допущені під час надання медичних послуг).

Представимо тоді договір надання медичних послуг з позиції необхідності наявності в ньому всіх істотних умов у наступному формалізованому вигляді – як множину всіх його істотних умов:

$$CMS = \{sc, ae, pc, rc, ra, prc, ir, qs, mip, pcd, tm, nmme, ct, ctm, to\}, \quad (2.4)$$

де  $sc$  – предмет договору,  $ae$  – інформація про процес надання послуги (дії виконавця),  $pc$  – мета укладення договору,  $rc$  – інформація про результат

договору, *ra* – інформація про процес досягнення результату, *prc* – ціна договору, *ir* – умова про право на доступну, своєчасну, достовірну та повну інформацію про стан здоров'я пацієнта, *qs* – якість послуги, *mip* – інформація про профіль медичного закладу, *pcd* – інформація про професійну компетенцію лікаря, *tm* – інформація про методи лікування, *nmte* – інформація про оснащеність медичного закладу необхідною сучасною медичною апаратурою, *ct* – умови припинення договору, *ctm* – строк дії договору, *to* – строк дії зобов'язань.

Враховуючи вищевикладене, все більшої уваги на сьогодні потребує питання укладання договору про надання медичних послуг, зокрема, перевірка наявності у договорі всіх істотних умов. Відсутність істотних умов в договорі про надання медичних послуг може призвести до виникнення ряду проблем:

- відсутність або некоректне визначення предмета договору про надання медичних послуг;
- помилки у визначенні правового статусу сторін (нерідко в договорах упускають умови, які потрібно було б вказати – як правило, права сторін);
- неможливість запропонувати власні умови договору.

Враховуючи, що всі наведені вище істотні умови є обов'язковими, правила для визначення достатності інформації у договорі про надання медичних послуг мають вигляд [100]:

1) якщо в договорі про надання медичних послуг наявний пункт «Предмет договору», то:  $sd=sd+1$  та  $a[1,1]=0$ , інакше  $a[1,1]=1$ ;

2) якщо в договорі наявна інформація про процес надання послуги (дії виконавця), то  $sd=sd+1$  та  $a[1,2]=0$ , інакше  $a[1,2]=1$ ;

3) якщо в договорі наявний пункт «Мета укладення договору», то  $sd=sd+1$  та  $a[1,3]=0$ , інакше  $a[1,3]=1$ ;

4) якщо в договорі наявна інформація про результат договору, то  $sd=sd+1$  та  $a[1,4]=0$ , інакше  $a[1,4]=1$ ;

5) якщо в договорі наявна інформація про процес досягнення результату, то  $sd=sd+1$  та  $a[1,5]=0$ , інакше  $a[1,5]=1$ ;

6) якщо в договорі наявний пункт «Ціна договору», то  $sd=sd+1$  та  $a[1,6]=0$ , інакше  $a[1,6]=1$ ;

7) якщо в договорі наявна умова про право на доступну, своєчасну, достовірну та повну інформацію про стан здоров'я пацієнта, то  $sd=sd+1$  та  $a[1,7]=0$ , інакше  $a[1,7]=1$ ;

8) якщо в договорі наявний пункт «Якість послуги», то  $sd=sd+1$  та  $a[1,8]=0$ , інакше  $a[1,8]=1$ ;

9) якщо в договорі наявна інформація про профіль медичного закладу, то  $sd=sd+1$  та  $a[1,9]=0$ , інакше  $a[1,9]=1$ ;

10) якщо в договорі наявна інформація про професійну компетенцію лікаря, то  $sd=sd+1$  та  $a[1,10]=0$ , інакше  $a[1,10]=1$ ;

11) якщо в договорі наявна інформація про методи лікування, то  $sd=sd+1$  та  $a[1,11]=0$ , інакше  $a[1,11]=1$ ;

12) якщо в договорі наявна інформація про оснащеність медичного закладу необхідною сучасною медичною апаратурою, то  $sd=sd+1$  та  $a[1,12]=0$ , інакше  $a[1,12]=1$ ;

13) якщо в договорі наявний пункт «Умови припинення договору», то  $sd=sd+1$  та  $a[1,13]=0$ , інакше  $a[1,13]=1$ ;

14) якщо в договорі наявний пункт «Строк дії договору», то  $sd=sd+1$  та  $a[1,14]=0$ , інакше  $a[1,14]=1$ ;

15) якщо в договорі наявний пункт «Строк дії зобов'язань», то  $sd=sd+1$  та  $a[1,15]=0$ , інакше  $a[1,15]=1$ .

В елементи другого рядка матриці  $a[]$  записуються необхідні істотні умови договору про надання медичних послуг, а саме:

$a[2,1]=$ «предмет договору»;

$a[2,2]=$ «інформація про процес надання послуги (дії виконавця)»;

$a[2,3]=$ «мета укладення договору»;

$a[2,4]=$ «інформація про результат договору»;

$a[2,5]=$ «інформація про процес досягнення результату»;

$a[2,6]=$ «ціна договору»;

$a[2,7]$ =«умова про право на доступну, своєчасну, достовірну та повну інформацію про стан здоров'я пацієнта»;

$a[2,8]$ =«якість послуги»;

$a[2,9]$ =«інформація про профіль медичного закладу»;

$a[2,10]$ =«інформація про професійну компетенцію лікаря»;

$a[2,11]$ =«інформація про методи лікування»;

$a[2,12]$ =«інформація про оснащеність медичного закладу необхідною сучасною медичною апаратурою»;

$a[2,13]$ =«умови припинення договору»;

$a[2,14]$ =«строк дії договору»;

$a[2,15]$ =«строк дії зобов'язань».

Метод визначення достатності інформації у договорі про надання медичних послуг складається з наступних кроків [100]:

1) Аналіз договору з використанням кожного з розроблених правил для визначення достатності інформації у договорі про надання медичних послуг та підрахунок лічильника  $sd$ ;

2) Якщо  $sd=15$ , то приймається рішення про достатність інформації у договорі про надання медичних послуг (оскільки всі істотні умови договору про надання медичних послуг є обов'язковими і наявні у договорі) і занесення його даних в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну;

3) Якщо  $sd < 15$ , то: приймається рішення про недостатність інформації у договорі про надання медичних послуг, і, отже, договір потребує доопрацювання перед занесенням його даних в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну; користувачу надаються відсутні в договорі істотні умови – якщо елемент матриці  $a[1,j]=1$  ( $j=1..15$ ), то користувачу виводиться відповідний елемент матриці  $a[2,j]$  як керівництво, які істотні умови слід додати в договір для можливості його завантаження в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну.

За аналогічним принципом можна оцінювати достатність будь-яких медичних даних перед завантаженням їх в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну –

головною умовою для цього є розуміння того, що саме (які саме обов'язкові елементи) має бути представлено у цих даних.

Процес оцінювання достатності медичних даних полягає у:

1) аналізі медичних даних на предмет відшукування всіх наперед визначених необхідних елементів медичних даних;

2) прийнятті рішення про достатність або недостатність інформації – якщо всі наперед визначені необхідні елементи медичних даних наявні, то приймається рішення про достатність інформації і можливість занесення їх в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну; якщо не всі наперед визначені необхідні елементи медичних даних наявні, то приймається рішення про недостатність інформації і доповнення даних перед занесенням їх в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну;

3) для можливості швидкого доповнення даних виводяться підказки стосовно того, які саме необхідні елементи медичних даних відсутні, як керівництво, які елементи даних слід додати для можливості їх завантаження в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну.

Додатково може бути обчислена кількісна оцінка достатності медичних даних за формулою:

$$smd = \frac{amd}{md}, \quad (2.5)$$

де  $amd$  – кількість доступних елементів медичних даних;  $md$  – необхідна кількість елементів медичних даних.

### 2.3 Моделювання процесу керування медичними даними: виконання транзакцій

Блокчейн – це система зберігання записів, в якій безліч незалежних джерел підтверджують достовірність запису, перш ніж він буде доданий в ланцюжок даних. Після того, як дані додані, вони не можуть бути змінені, і запис

поширюється різними вузлами мережі. Додавання нового запису (блоку) у послідовність блокчейна вимагає встановлення його справжності безліччю учасників, підключених до мережі блокчейн. Ці блоки даних зв'язуються один з одним, утворюючи ланцюжок. Всі учасники блокчейну можуть бачити всі транзакції, що здійснюються, але особи всіх учасників приховані.

Технологія блокчейн використовує алгоритм присвоєння кожному блоку зашифрованого хеш-коду (унікального рядка з літер та цифр, що іноді називають «цифровим відбитком»). Крім хеш-коду, кожен блок містить сукупність попередніх транзакцій з мітками часу, а також хеш-код попереднього блоку, який служить незмінною сполучною ланкою між наступними один за одним блоками ланцюжка.

Шифрування і тимчасові мітки в сукупності дозволяють технології блокчейн автоматично перевіряти незмінність цієї послідовності хеш-кодів, що постійно збільшується. Ця операція не дозволяє вставляти нові блоки не по порядку, унеможливаючи зміну або фальсифікацію даних транзакцій.

Транзакції розміщуються в блоках і підтверджуються валідаторами, які перевіряють якість та справжність даних, завантажених користувачами (пацієнтами). Непідтверджена транзакція не може вважатися закінченою – до збереження в блокчейні вона може бути скасована або змінена. У блокчейнах з підтримкою смарт-контрактів та мереж другого рівня транзакції можуть бути вкладені одна в іншу.

Блокчейн транзакція – це передача фактів, які збираються в блоки. У свою чергу, блокчейн є мережею з блоками, які містять цифрову інформацію про транзакції. Кожна транзакція в блокчейні фактично є командою, виконання якої призводить до зміни стану всієї мережі.

Якщо в блокчейні дозволені складніші контракти, кожен з яких несе в собі міні-базу даних та реалізує методи зміни мережі (смарт-контракти), то такі програми виконують роль, ідентичну юридичним угодам, але в такому разі вони закріплюються за сторонами технічно.

Транзакція у блокчейні з технічного погляду – атомарна подія, дозволена базовим протоколом. Інакше кажучи, транзакція – це подія, у міру проведення якої оновлюється інформація в блокчейні. Єдина відмінність полягає в тому, що така зміна спектра даних стосується не певного комп'ютера, а всіх підключених до блокчейн-мережі пристроїв у всій планеті.

У блоках блокчейну зберігаються такі дані про транзакції:

- дані транзакцій – дата, час, передані дані;
- дані про учасників транзакції – адреса відправника та одержувача;
- дані про кожен блок – це унікальний код (хеш), завдяки якому блоки можна розрізнити між собою.

Всі блоки містять запис транзакцій з позначкою часу, причому кожен новий блок пов'язаний з попереднім, завдяки чому створюється безперервний ланцюжок.

Основна ідея застосування блокчейну в медицині, наприклад, для управління ланцюжками постачання, полягає в тому, що кожна транзакція, пов'язана з рецептурним препаратом, об'єднує на блокчейні всі зацікавлені сторони: виробників, дистриб'юторів, лікарів, пацієнтів та фармацевтів. У цьому випадку будь-які зміни або спроба підробки рецепту будуть одразу виявлені.

Сама ж транзакція складається з трьох елементів: вхід, вихід та дані транзакції. Вхід транзакції – адреса, з якої здійснюється надсилання даних. Вихід транзакції – адреса, на яку надійдуть дані. Дані транзакції – це передані медичні дані.

Слід зазначити, що в міру трансляції транзакції в блокчейні ніхто не може змінити хід подій, оскільки можливості скасування або повернення не існує. До того ж, дані транзакції блокчейн неможливо змінити, не кажучи вже про їх видалення.

Саме завдяки цим характеристикам блокчейн транзакції мають величезну перевагу. Постійний характер технології блокчейн робить її ідеальним варіантом для реалізації в різних сферах.

У реальних блокчейн-мережах за певний період відбувається кілька транзакцій. І записи про транзакції включаються до одного блоку.

Досить важливим є облік транзакцій – фіксація переходів активу або права на нього від однієї людини до іншої.

Транзакції проходять практично миттєво, але на їхнє підтвердження може знадобитися час. Необхідний час визначає алгоритм консенсусу конкретної блокчейн-мережі.

Якщо деякі учасники мережі вимикають комп'ютери і частина транзакцій у них не відобразиться або їх записи виявляться некоректними, це не вплине на роботу мережі. Процедура консенсусу, тобто досягнення згоди, дозволить відновити правильну інформацію.

Непідтверджена транзакція – це транзакція, яка була включена до блоку, і, отже, не підлягала обробці. Для проведення транзакцій, як правило, потрібне принаймні одне підтвердження з боку учасників мережі (майнерів). Більшість блокчейн транзакцій завершується протягом одного-двох днів.

Причини виникнення непідтверджених транзакцій:

- транзакція була щойно ініційована – в середньому мережі потрібно не менше 10 хвилин, щоб включити блокчейн транзакцію в блок;
- відсутня оплата комісії за транзакцію або вона надто низька;
- мережа перевантажена – через обмежену пропускну здатність мережа просто не може обробляти транзакції з достатньою швидкістю.

Виходячи з вищезазначеного, процес транзакції в блокчейні складається з наступних кроків:

- 1) користувач ініціює транзакцію (надсилає блок);
- 2) блок транслюється кожному учаснику блокчейн-мережі для перевірки;
- 3) блок порівнюється з кожним екземпляром реєстру; якщо всі екземпляри реєстру співпадають, то транзакція затверджується;
- 4) виконання транзакції завершується, і блок додається як остання частина ланцюжка блокчейну.

Процес перевірки блокчейн-транзакції складається з наступних кроків:

- 1) зайти на сайт браузера транзакцій – <https://www.blockchain.com/explorer>;

2) у верхній частині інтерфейсу в полі пошуку ввести хеш транзакції або адресу, з якої була ініційована транзакція, або ідентифікатор транзакції (TXID);

3) обрати необхідний блокчейн;

4) натиснути "Пошук";

5) відстежити транзакцію у блокчейні.

Таким чином, за допомогою сервісу, зазначеного вище, можна дізнатися, на якому етапі знаходиться відправлена блокчейн транзакція.

До існуючих обмежень застосування блокчейну в медицині (з точки зору виконання транзакцій) можна віднести питання масштабованості, затримки передачі даних, взаємодії між різними системами, безпеки даних та конфіденційності. Наприклад, через відсутність стандартів питання сумісності різних рішень стають проблемою зберігання медичних даних на блокчейні. Великі обсяги медичних даних призводять до уповільнення обміну та обмежує межі масштабованості. Крім цього, потрібен доступ до даних. Але окремі медичні установи не готові ділитися даними, більш того, не всі пацієнти хочуть управляти власними медичними даними.

Розглянемо особливості транзакцій при роботі з медичними даними.

Медична екосистема передбачає чотири групи користувачів:

- користувачі (пацієнти) – самі пацієнти або уповноважені треті особи (медичні центри, наприклад), які завантажують медичні дані до системи;
- валідатори – перевіряють якість та справжність даних, завантажених користувачами;
- клієнти (лікарі) – вивчають дані пацієнтів, складають звіти про стан здоров'я;
- фармацевтичні та дослідницькі компанії, які можуть отримати доступ до знеособлених даних користувачів.

Дані блоку  $D$  є множиною записів:  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_k\}$ . Індивідуальний запис в множині медичних даних сприймається як система із трьох елементів (тріада) – тип, час і якість, що представлено в наступному формалізованому вигляді у вигляді трійок:

$$d_i = \langle dtp_i, dtm_i, dq_i \rangle, \quad (2.6)$$

де  $dtp_i$  - тип даних (тип даних може бути динамічним – наприклад, аналіз крові, або статичним – геном, відбитки пальців);  $dtm_i$  - час даних, дата, коли ці дані було отримано;  $dq_i$  - якість даних, де враховується «термін придатності» інформації чи аналізів – чим вона вища, тим цінніша інформація; наприклад, результат перевірки на холестерин діє півроку, а генетичний тест – все життя;  $i = 1..k$ .

Робота починається з того, що користувачі завантажують дані в хмарне сховище, де вони перевіряються та анонімізуються – видаляється ідентифікатор пацієнта – а потім шифруються методом симетричного шифрування. Далі, за допомогою алгоритму Шаміра, ключі відправляються зберігачам (це один з видів повних вузлів блокчейна) по прямим аутентифікованих каналах зв'язку, щоб ті за необхідності змогли розшифрувати дані користувача.

Одночасно з цим генерується службова транзакція, яка повідомляє інших учасників екосистеми про завантаження даних у хмару. Ця транзакція містить відкритий ключ, інформацію про тип даних та посилання на них у хмарному сховищі. Після електронного підпису інформація може бути записана у блокчейн.

До рішення, додавати транзакцію у блокчейн чи ні, учасники мережі приходять за допомогою алгоритму консенсусу. Вузли-валідатори перевіряють інформацію та генерують службову транзакцію, в якій містяться хеші даних та результат валідації. Якщо дані пройшли перевірку, вони записуються в блокчейн, а їх власник отримує токени, кількість яких визначається смарт-контрактом. Після цього інформація про пацієнта стає доступною для інших учасників.

Потім, якщо ці дані будуть потрібні лікарю для проведення досліджень або постановки діагнозу, він формує запит і відправляє його валідаторам. Вони додають запит у блокчейн і повідомляють зберігачам, що потрібно надіслати лікареві криптографічні ключі для розшифровки даних із хмари. Так само процес виглядає для фармацевтичних компаній, дослідницьких інститутів, державних медичних установ, а також наглядових органів.

Тоді процес виконання транзакцій над медичними даними (занесення інформації до блокчейну) складається з наступних кроків:

- 1) завантаження даних користувачами (пацієнтами) в хмарне середовище;
- 2) перевірка (в т.ч. на достатність) та анонімізація (видалення ідентифікатора пацієнта) даних;
- 3) шифрування даних методом симетричного шифрування;
- 4) відправка ключів зберігачам по прямих аутентифікованих каналах зв'язку;
- 5) генерація службової транзакції (з відкритим ключем, інформацією про тип даних та посиланням на дані у хмарному середовищі), яка повідомляє інших учасників екосистеми про завантаження даних у хмару;
- 6) прийняття рішення про можливість додавання транзакції у блокчейн за допомогою алгоритму консенсусу;
- 7) перевірка інформації валідаторами;
- 8) генерація службової транзакції (з хешами даних та результатом валідації);
- 9) якщо дані пройшли перевірку, то відбувається запис інформації у блокчейн, і інформація про пацієнта стає доступною для інших учасників, інакше користувачу надається відмова у записі інформації до блокчейну.

А процес виконання транзакцій над медичними даними (отримання інформації з блокчейну) складається з наступних кроків:

- 1) якщо лікарю для проведення досліджень або постановки діагнозу необхідні певні дані, то відбувається формування запиту до валідаторів;
- 2) додавання запиту валідаторами у блокчейн;
- 3) повідомлення валідаторами зберігачів, що потрібно надіслати лікареві криптографічні ключі для розшифровки даних із хмари;
- 4) отримання даних – якщо отримано дозвіл від валідаторів та зберігачів.

Процес виконання транзакцій над медичними даними (занесення інформації до блокчейну та отримання інформації з блокчейну) представимо у вигляді схеми – рисунок 2.5.



Рисунок 2.5 – Процес виконання транзакцій над медичними даними

## 2.4 Висновки

У розділі 2 кваліфікаційної роботи проведено моделювання руху інформаційних потоків в процесі керування медичними даними, а також

моделювання процесу керування медичними даними, а саме оцінювання достатності даних та виконання транзакцій над медичними даними.

Наукову новизну представляють розроблені моделі блоку блокчейну, фрагменту блокчейну та вузла блокчейну, представлені у формалізованому та схематичному вигляді, а також моделі процесу керування медичними даними (оцінювання достатності даних та виконання транзакцій над медичними даними), які є теоретичним підґрунтям для розроблення методу керування медичними даними на основі блокчейн-технологій.

Практичне значення отриманих в розділі результатів полягає у:

- розробленні схеми мережі блокчейну, яка візуалізує взаємозв'язки між вузлами, блоками, смарт-контрактом та proof-of-work завданнями блокчейну;
- розробленні правил для визначення достатності медичних даних, які забезпечують аналіз медичних даних на предмет відшукування всіх наперед визначених необхідних елементів медичних даних; прийняття рішення про достатність або недостатність інформації; виведення візуалізованих підказок, яких елементів даних не вистачає, для забезпечення можливості швидкого доповнення даних; кількісну оцінку достатності медичних даних.

### 3 МЕТОДИ КЕРУВАННЯ МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЙ

#### 3.1 Метод оцінювання достатності медичних даних

Інформація – будь-який факт, поняття або значення, отримані з даних, а також контекст, обраний зі знань, або контекст, асоційований із знаннями. Дані – подання інформації у деякому формалізованому вигляді, придатному для передачі, інтерпретації або обробки.

Як і будь-який об'єкт, інформація має властивості (об'єкти різняться за своїми властивостями). Характерною особливістю інформації, що відрізняють її від інших об'єктів природи та суспільства, є відзначений вище дуалізм: на властивості інформації впливають як властивості даних, що становлять її змістовну частину, так і властивості методів, що взаємодіють з даними в ході інформаційного процесу.

Адекватність – ступінь відповідності інформації, отриманої споживачем, тому, що автор вклав у її зміст (тобто дані). Адекватність інформації іноді помилково плутають із її достовірністю. Це абсолютно різні властивості.

Актуальність – ступінь відповідності інформації поточному моменту часу.

Відтворюваність та передаваність. Відтворюваність інформації тісно пов'язана з її передаваністю і не є її незалежною базовою властивістю. Якщо передаваність означає, що слід вважати істотними просторові відносини між частинами системи, між якими передається інформація, то відтворюваність характеризує невичерпність інформації, тобто що при копіюванні інформація залишається тотожною самій собі.

Дискретність – інформація складається з окремих фактичних даних, що передаються у вигляді окремих повідомлень.

Достатність – змістовна повнота набору показників для прийняття рішення. Достатність (повнота) інформації означає, що містить мінімальний, але достатній для прийняття правильного рішення склад (набір показників). Поняття повноти інформації пов'язане з її змістом (семантикою) та прагматикою. Як неповна, тобто недостатня для прийняття правильного рішення, так і надмірна інформація знижує

ефективність прийнятих користувачем рішень. Повнота інформації багато в чому характеризує якість інформації та визначає достатність даних для прийняття рішень або для створення нових даних з урахуванням наявних. Чим повніші дані, тим ширший діапазон методів, які можна використовувати, тим простіше підібрати метод, що вносить мінімум похибок у хід інформаційного процесу.

Достовірність – відповідність інформації об'єктивній реальності (як поточній, так і минулій) навколишнього світу. На достовірність інформації впливає як достовірність даних, так і адекватність методів, використаних при її отриманні.

Доступність – міра можливості отримати ту чи іншу інформацію. На доступність впливає доступність даних та доступність адекватних методів для їх інтерпретації.

Запам'ятовуваність. Запам'ятовувану інформацію називатимемо макроскопічною (маючи на увазі просторові масштаби запам'ятовуючої комірки і час запам'ятовування).

Надмірність. Нерідко надмірність інформації людина суто психологічно сприймає як її якість, тому що вона дозволяє їй менше напружувати свою увагу і менше втомлюватись. Звичайний текст, надрукований українською мовою, має надмірність близько 20-25%. Надмірність інформації, що міститься в тексті, дозволяє здогадуватися про значення нерозбірливих символів. Візуальна інформація має дуже велику надмірність – понад 90%. Надмірність відеоінформації – до 98–99 %. Ця надмірність дозволяє нам розсіювати увагу, що часто сприймається як відпочинок під час перегляду фільму. Будь-яке скорочення надмірності даних обов'язково тягне за собою скорочення спектра потенційних способів їхнього використання. В інформаційних технологіях питання надмірності даних та достатності методів – це завжди питання тонкого та непростого балансу.

Об'єктивність – незалежність від будь-чиєї думки. Об'єктивною прийнято вважати ту інформацію, у яку методи вносять менший суб'єктивний елемент.

Захищеність – неможливість несанкціонованого використання чи зміни.

Ергономічність – зручність форми чи обсягу з погляду споживача.

Перед завантаженням будь-яких медичних даних в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну варто оцінити їх достатність. Головною умовою для цього є розуміння того, які саме обов'язкові елементи мають бути представлені у цих даних, оскільки під достатністю медичних даних будемо розуміти наявність в них всіх необхідних інформаційних елементів.

Враховуючи, що дані блоку  $D$  є множиною записів:  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_k\}$ , а індивідуальний запис в множині медичних даних сприймається як система із трьох елементів, що представлено формулою (2.6), тоді еталонні медичні дані представимо у вигляді множини:

$$D_{st} = \{ \langle dtp_{1_{st}}, dtm_{1_{st}}, dq_{1_{st}} \rangle, \langle dtp_{2_{st}}, dtm_{2_{st}}, dq_{2_{st}} \rangle, \dots, \langle dtp_{k_{st}}, dtm_{k_{st}}, dq_{k_{st}} \rangle \}, \quad (3.1)$$

де  $dtp_{i_{st}}$  - тип даних;  $dtm_{i_{st}}$  - час даних;  $dq_{i_{st}}$  - якість даних,  $i=1..k$ ,  $k$  - кількість записів в множині медичних даних, які готуються до занесення у блок блокчейну.

Наявна ж множина медичних даних, які плануються до занесення у блок блокчейну, можуть бути представлені у вигляді матриці:

$$D_{av} = \begin{pmatrix} dtp_{1_{av}} & dtm_{1_{av}} & dq_{1_{av}} \\ dtp_{2_{av}} & dtm_{2_{av}} & dq_{2_{av}} \\ \dots & \dots & \dots \\ dtp_{i_{av}} & dtm_{i_{av}} & dq_{i_{av}} \\ \dots & \dots & \dots \\ dtp_{k_{av}} & dtm_{k_{av}} & dq_{k_{av}} \end{pmatrix}, \quad (3.2)$$

де елементи  $dtp_{i_{av}}$ ,  $dtm_{i_{av}}$ ,  $dq_{i_{av}}$  ( $i=1..k$ ;  $k$  - кількість записів в множині медичних даних, які готуються до занесення у блок блокчейну) можуть бути відсутні, якщо медичні дані у множині є недостатніми.

Враховуючи, що всі наведені у формулі (3.1) елементи медичних даних є обов'язковими з точки зору достатності медичних даних, то *правила для визначення достатності медичних даних* мають вигляд:

1) якщо в  $i$ -му записі даних множини  $D_{av}$  ( $i=1..k$ ) наявна інформація про тип даних (наявний елемент  $dtp_{i_{av}}$ ), то:  $sctp = sctp + 1$  та  $b[i,1]=1$ , інакше  $b[i,1]=0$ ;

2) якщо в  $i$ -му записі даних множини  $D_{av}$  ( $i=1..k$ ) наявна інформація про час даних (наявний елемент  $dtm_{i_{av}}$ ), то:  $sdtm = sdtm + 1$  та  $b[i,2]=1$ , інакше  $b[i,2]=0$ ;

3) якщо в  $i$ -му записі даних множини  $D_{av}$  ( $i=1..k$ ) наявна інформація про якість даних (наявний елемент  $dq_{i_{av}}$ ), то:  $sdq = sdq + 1$  та  $b[i,3]=1$ , інакше  $b[i,3]=0$ .

Матриця  $B$  матиме наступний узагальнений вигляд – таблиця 3.1:

Таблиця 3.1 – Матриця  $B$ , в якій накопичуються ознаки наявності/відсутності того чи іншого елемента запису в множині медичних даних

	1 (тип даних $dtp_{av}$ )	2 (час даних $dtm_{av}$ )	3 (якість даних $dq_{av}$ )
1	0 (за відсутності такого елемента) або 1 (за наявності такого елемента)	0 (за відсутності такого елемента) або 1 (за наявності такого елемента)	0 (за відсутності такого елемента) або 1 (за наявності такого елемента)
2	0 або 1	0 або 1	0 або 1
...	...	...	...
$i$	0 або 1	0 або 1	0 або 1
...	...	...	...
$k$	0 або 1	0 або 1	0 або 1

Наприклад, якщо реальні медичні дані складаються з 10 записів, причому в 1 записі відсутній елемент «час даних», в другому записі відсутні елементи «тип даних» і «якість даних», в третьому записі відсутні елементи «час даних» і «якість даних», в четвертому записі відсутній елемент «тип даних», в п'ятому записі наявні всі три елементи, в шостому записі відсутній елемент «якість даних», в сьомому записі наявні всі три елементи, у восьмому записі відсутні елементи «тип даних», «час даних», у дев'ятому записі наявні всі три елементи, а у десятому записі відсутній елемент «час даних», то матриця  $B$  має наступний вигляд – таблиця 3.2:

Таблиця 3.2 – Матриця  $B$  для описаного прикладу

	1 (тип даних $dtp_{av}$ )	2 (час даних $dtm_{av}$ )	3 (якість даних $dq_{av}$ )
1	1	0	1
2	0	1	0
3	1	0	0
4	0	1	1
5	1	1	1
6	1	1	0
7	1	1	1
8	0	0	1
9	1	1	1
10	1	0	1

Враховуючи особливості формування матриці  $B$  (таблиці 3.1 і 3.2), правила для формування рекомендацій щодо доповнення множини медичних даних мають вигляд:

1) якщо  $b[i,1]=0$ , то користувачу надається рекомендація щодо доповнення  $i$ -го запису даних блоку ( $i=1..k$ ) інформацією про тип даних;

2) якщо  $b[i,2]=0$ , то користувачу надається рекомендація щодо доповнення  $i$ -го запису даних блоку ( $i=1..k$ ) інформацією про час даних;

3) якщо  $b[i,3]=0$ , то користувачу надається рекомендація щодо доповнення  $i$ -го запису даних блоку ( $i=1..k$ ) інформацією про якість даних.

Тоді метод оцінювання достатності медичних даних складається з наступних кроків:

1) аналіз множини медичних даних  $D_{av}$  перед занесенням їх у розділ «Дані блоку» блоку блокчейну з використанням кожного з розроблених правил для визначення достатності медичних даних та підрахунок лічильників  $sdt_p$ ,  $sdt_m$ ,  $sdq$ ;

2) обчислення кількісної оцінки достатності медичних даних за формулою:

$$sfmd = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{sdt_p}{k} + \frac{sdt_m}{k} + \frac{sdq}{k} \right); \quad (3.3)$$

3) якщо  $sdt_p = k$  та  $sdt_m = k$  та  $sdq = k$  та  $sfmd = 1$ , то приймається рішення про достатність медичних даних в множині  $D_{av}$  (оскільки всі елементи множини медичних даних є обов'язковими з точки зору достатності медичних даних і наявні у множині  $D_{av}$  медичних даних, які готуються до занесення у блок блокчейну) і занесення даних множини  $D_{av}$  в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну;

4) якщо  $sdt_p < k$  або  $sdt_m < k$  або  $sdq < k$  або  $sfmd < 1$ , то: приймається рішення про недостатність медичних даних у множині  $D_{av}$ ; така множина медичних даних потребує доопрацювання перед занесенням цих даних в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну; користувачу надаються рекомендації щодо доповнення множини медичних даних – згідно із правилами для формування рекомендацій щодо доповнення множини медичних даних  $D_{av}$  – як керівництво, яку інформацію слід додати у множину медичних даних  $D_{av}$  для можливості їх

завантаження в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну; відбувається доповнення множини медичних даних  $D_{av}$ ; відбувається повернення на крок 1 Методу.

Схема методу оцінювання достатності медичних даних має наступний вигляд – рисунок 3.1.

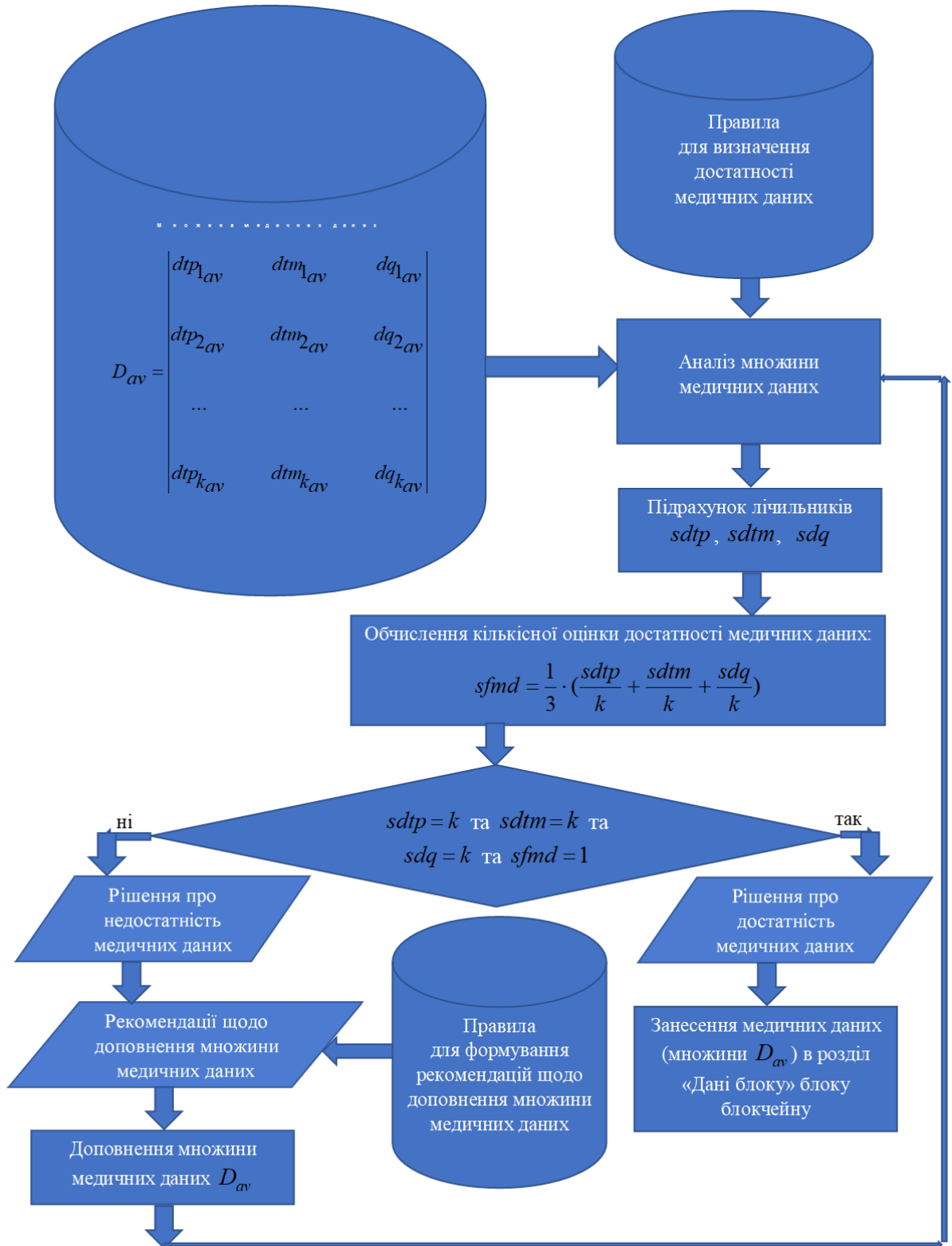


Рисунок 3.1 – Схема методу оцінювання достатності медичних даних

Розроблений метод оцінювання достатності медичних даних забезпечує: можливість аналізу множини медичних даних на предмет їх достатності; можливість кількісного оцінювання достатності медичних даних; в разі недостатності медичних даних у множині, формування рекомендацій щодо доповнення множини медичних даних  $D_{av}$  – як керівництво, яку інформацію слід додати у множину медичних даних  $D_{av}$  для можливості їх завантаження в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну.

### 3.2 Метод виконання транзакцій над медичними даними

Після перевірки медичних даних на предмет достатності з використанням методу, розробленого в підрозділі 3.1, за умови отримання висновку про достатність медичних даних в множині  $D_{av}$  і занесення даних множини  $D_{av}$  в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну, відбувається занесення медичних даних до блокчейну за наступною процедурою.

Спочатку в хмарне сховище користувачі завантажують дані, які анонімізуються, а потім шифруються методом симетричного шифрування. Далі ключі відправляються зберігачам прямими аутентифікованими каналами зв'язку для забезпечення можливості розшифрувати дані користувача. В цей же час відбувається генерація службової транзакції, що містить відкритий ключ, інформацію про тип даних та посилання на них у хмарному сховищі і яка повідомляє інших учасників екосистеми про завантаження даних у хмару. Інформація може бути записана у блокчейн після накладання електронного підпису.

Потім, якщо для проведення досліджень або постановки діагнозу ці дані знадобляться лікарю, він сформує запит, який відправляється валідаторам. Валідатори додають запит у блокчейн із повідомленням зберігачів, що лікареві потрібні криптографічні ключі для дешифрування даних із хмарного середовища. Аналогічно процес отримання інформації виглядає для дослідницьких інститутів, фармацевтичних компаній, державних медичних установ.

Тоді метод виконання транзакцій над медичними даними складається з наступних кроків:

I етап – занесення інформації до блокчейну:

- 1) завантаження даних користувачами (пацієнтами) в хмарне середовище;
- 2) анонімізація (видалення ідентифікатора пацієнта) даних;
- 3) шифрування даних методом симетричного шифрування;
- 4) відправка ключів зберігачам по прямим аутентифікованих каналах зв'язку;

5) генерація службової транзакції (з відкритим ключем, інформацією про тип даних та посиланням на дані у хмарному середовищі), яка повідомляє інших учасників екосистеми про завантаження даних у хмару;

6) прийняття рішення про можливість додавання медичних даних у блокчейн за допомогою алгоритму консенсусу (блок порівнюється з кожним екземпляром реєстру; якщо всі екземпляри реєстру співпадають, то транзакція затверджується);

- 7) перевірка інформації валідаторами;
- 8) генерація службової транзакції (з хешами даних та результатом валідації);
- 9) якщо дані пройшли перевірку, то відбувається запис інформації у блокчейн, і інформація про пацієнта стає доступною для інших учасників, інакше користувачу надається відмова у записі інформації до блокчейну;

II етап – отримання інформації з блокчейну:

10) якщо лікарю для проведення досліджень або постановки діагнозу необхідні певні дані, то відбувається формування запиту до валідаторів;

11) додавання запиту валідаторами у блокчейн;

12) повідомлення валідаторами зберігачів, що потрібно надіслати лікареві криптографічні ключі для розшифровки даних із хмари;

13) отримання даних – якщо отримано дозвіл від валідаторів та зберігачів.

Метод виконання транзакцій над медичними даними (занесення інформації до блокчейну та отримання інформації з блокчейну) представимо у вигляді схеми – рисунок 3.2.

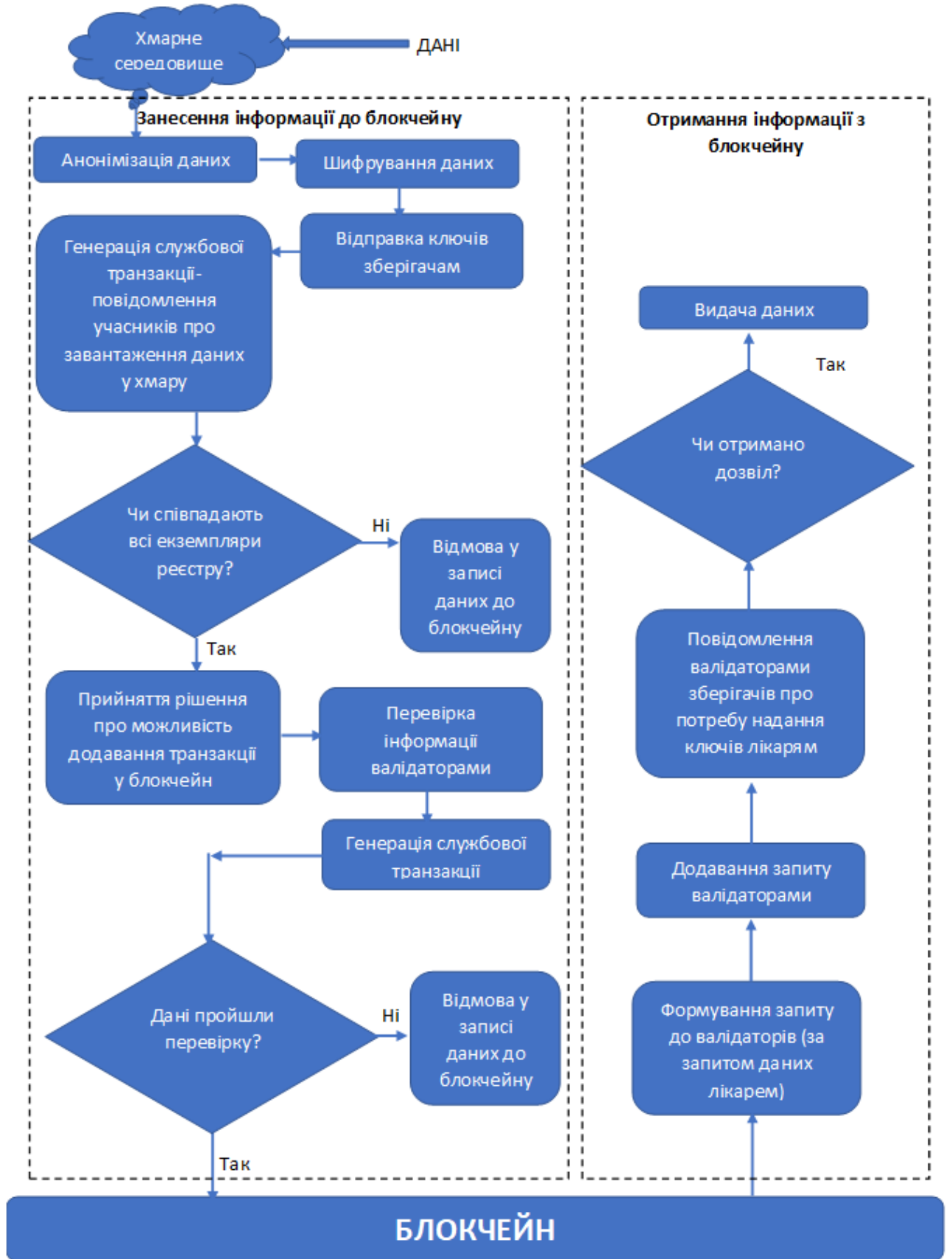


Рисунок 3.2 – Схема методу виконання транзакцій над медичними даними

Оцінимо тепер репутацію медичної установи – як майнера блокчейну. Для цього введемо наступні позначення:

$lb$  - довжина поточного блокчейну;

$sbl$  - розмір блоку поточного блокчейну;

$kbl$  - кількість блоків у блокчейні;

$krtr$  - кількість транзакцій реєстру в блокчейні;

$kmtr$  - кількість медичних транзакцій в блокчейні;

$mtr_i$  - кількість медичних транзакцій в  $i$ -му блоці, одержувачем яких є розглядувана медична установа (майнер);

$rtr_i$  - кількість транзакцій реєстру в  $i$ -му блоці, одержувачем яких є розглядувана медична установа (майнер);

$f$  - логічна змінна (якщо дана медична установа зарекомендувала себе чесним майнером, то  $f = 1$ , інакше  $f = 0$ );

$(\alpha, \lambda)$  - параметри репутації системи.

Враховуючи введені позначення, *вдосконалений метод оцінювання репутації медичної установи (як майнера блокчейну)* складається з наступних кроків:

- 1) ввести значення довжини поточного блокчейну  $lb$ ;
- 2) ввести значення розміру блоку в поточному блокчейні  $sbl$ ;
- 3) визначити кількість блоків у поточному блокчейні:  $kbl = \frac{lb}{sbl}$ ;
- 4) підрахувати кількість медичних транзакцій у блокчейні  $kmtr$ ;
- 5) підрахувати кількість транзакцій реєстру в блокчейні  $krtr$ ;
- 6) ввести кількість медичних транзакцій  $mtr_i$  для кожного блоку, одержувачем яких є розглядувана медична установа;
- 7) ввести кількість транзакцій реєстру  $rtr_i$  для кожного блоку, одержувачем яких є розглядувана медична установа;
- 8) ввести оцінку майнера в форматі логічної змінної  $f$ : якщо дана медична установа зарекомендувала себе чесним майнером, то  $f = 1$ , інакше  $f = 0$ ;
- 9) ввести параметри репутації системи  $(\alpha, \lambda)$ ;

$$10) \text{ розрахувати середнє значення } mean_{rtr} = \frac{\sum_{i=1}^{kbl} rtr_i}{krtr};$$

$$11) \text{ розрахувати середнє значення } mean_{mtr} = \frac{\sum_{i=1}^{kbl} mtr_i}{kmtr};$$

$$12) \text{ розрахувати стандартне відхилення } \sigma_{rtr} = \sqrt{\frac{1}{kbl} \cdot \left( \frac{\sum_{i=1}^{kbl} rtr_i}{sbl} - \frac{\sum_{i=1}^{kbl} rtr_i}{krtr} \right)^2};$$

$$13) \text{ розрахувати стандартне відхилення } \sigma_{mtr} = \sqrt{\frac{1}{kbl} \cdot \left( \frac{\sum_{i=1}^{kbl} mtr_i}{sbl} - \frac{\sum_{i=1}^{kbl} mtr_i}{kmtr} \right)^2};$$

$$14) \text{ розрахувати значення } q_1 = \frac{mean_{rtr}}{1 + \sigma_{rtr}};$$

$$15) \text{ розрахувати значення } q_2 = \frac{mean_{mtr}}{1 + \sigma_{mtr}};$$

$$16) \text{ визначити } x = q_1 \cdot q_2 \cdot lb;$$

$$17) \text{ визначити } f(x) = \frac{1}{2} \cdot \left( 1 + \frac{x - \alpha}{\lambda + |x - \alpha|} \right);$$

18) розрахувати та оцінити репутацію медичної установи (як майнера блокчейну):  $R = \min(1, f \cdot f(x))$ ;

19) прийняття рішення щодо репутації медичної установи – чим більшим є значення  $R$ , тим вищою є репутація та довіра до медичної установи як до майнера блокчейну.

Метод оцінювання репутації медичної установи (як майнера блокчейну) представимо у вигляді схеми – рисунок 3.3.

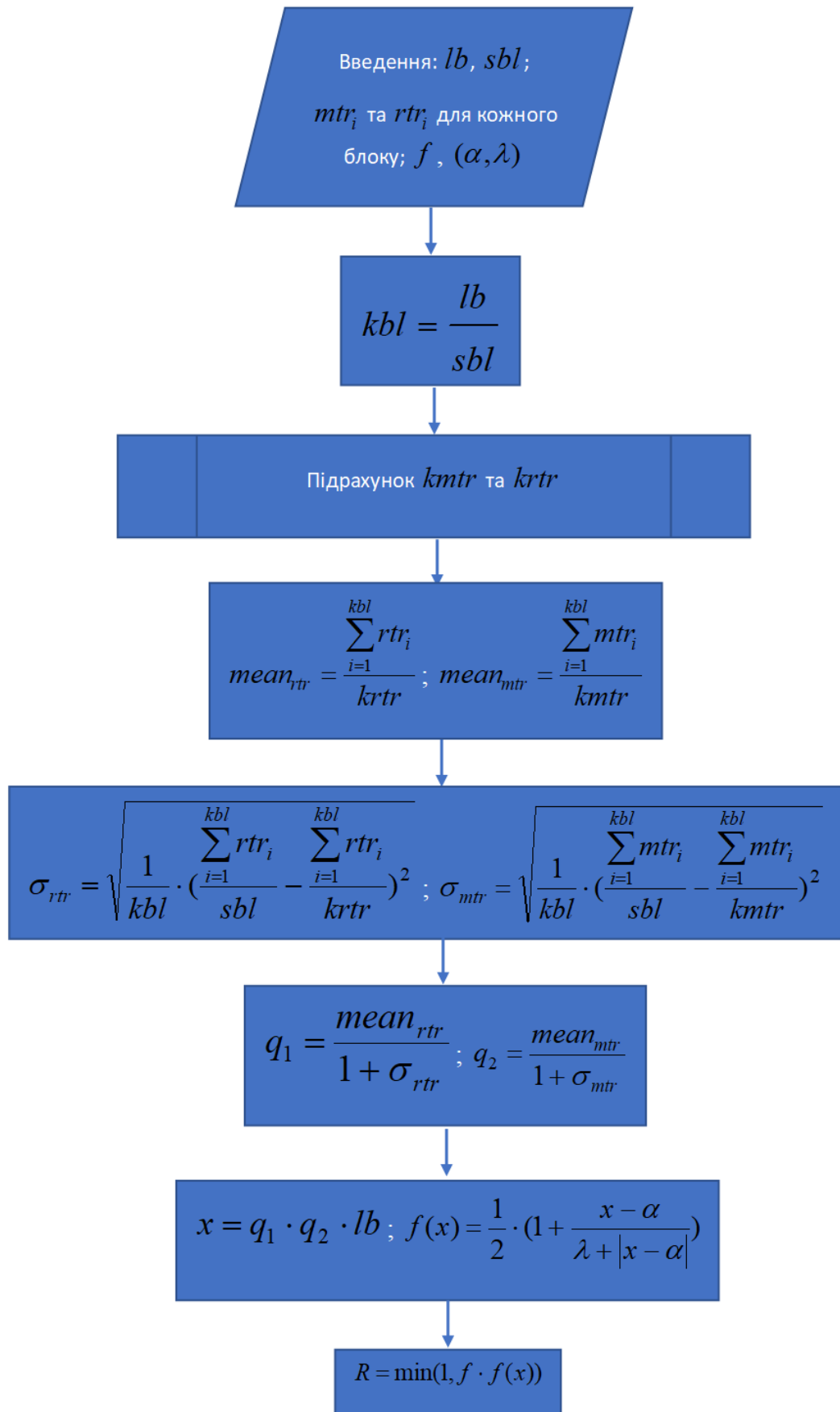


Рисунок 3.3 – Схема методу оцінювання репутації медичної установи (як майнера блокчейну)

Блокчейн все ще є відносно новою технологією, тому не дивно, що з одного боку є ентузіасти, які вважають, що це революція, схожа на інший Інтернет, і що вона суттєво вплине на бізнес, промисловість, суспільство, а з іншого боку, можна почути менш оптимістичні думки про те, що недостатня зрілість, відсутність юридичних рішень чи проблеми з масштабованістю є проблемою широкого впровадження технології. Для реалізації рішень, що ґрунтуються на блокчейні, важливо розуміти, що це за технологія і що може запропонувати потенційна компанія сьогодні – з усіма її можливостями та обмеженнями.

Використання смарт-контракту в блокчейні може вивільняти кошти, передавати інформацію, реєструвати та вставляти дані – все у запрограмованому, автономному режимі. Це може вплинути на такі елементи, як: цифрова ідентифікація, голосування, управління, відстеження активів, відстеження ланцюжка поставок, а також особистість та репутація постачальника.

Репутація медичної установи (як майнера блокчейну) є важливим показником, оскільки блоки записують перевірені валідатори, що завчасно обираються та по факту є модераторами системи. Саме для визначення таких валідаторів мають цінність не кількість токенів, а репутація, тобто блокчейн за певним алгоритмом, з врахуванням репутації, обирає валідатора, який запише наступний блок. Репутація зростає з активним життям у екосистемі блокчейну та взаємодії з іншими учасниками. Чим краща репутація – тим більший шанс на створення наступного блоку.

Отже, вперше розроблено метод виконання транзакцій над медичними даними, який складається з етапів занесення інформації до блокчейну та отримання інформації з блокчейну. Розроблений метод виконання транзакцій над медичними даними забезпечує: можливість прийняття рішення про додавання транзакції та медичних даних від пацієнта у блокчейн; можливість прийняття рішення про видачу даних з блокчейну за запитом від лікаря.

Крім цього, вдосконалено метод оцінювання репутації медичної установи (як майнера блокчейну), який дозволяє розрахувати і оцінити репутацію медичної установи.

### 3.3 Алгоритми керування медичними даними на основі блокчейн-технології

Як було доведено вище, варто оцінити достатність медичних даних перед їх завантаженням у розділ «Дані блоку» блоку блокчейну. Під достатністю медичних даних розуміємо наявність всіх необхідних інформаційних елементів у множині даних.

Враховуючи, що дані блоку  $D$  є множиною записів, а кожний запис у множині медичних даних представляється як система із трьох елементів (формула (2.6)), тоді множина медичних даних, які плануються до занесення у розділ «Дані блоку» блоку блокчейну, може бути представлений у вигляді матриці  $D_{av}$  (формула (3.2)),

де елементи  $dtp_{i_{av}}$ ,  $dtm_{i_{av}}$ ,  $dq_{i_{av}}$  можуть бути відсутні, якщо існує недостатність медичних даних у множині.

Враховуючи, що всі елементи медичних даних є обов'язковими з точки зору їх достатності, у підрозділі 3.1 були розроблені правила для визначення достатності медичних даних та правила для формування рекомендацій щодо доповнення множини медичних даних, а також розроблено метод оцінювання достатності медичних даних, який дозволяє аналізувати медичні дані на предмет їх достатності; кількісно оцінити достатність медичних даних; якщо, згідно із розробленими правилами для визначення достатності медичних даних, сформувано висновок про недостатність медичних даних у множині, то, згідно із розробленими правилами для формування рекомендацій щодо доповнення множини медичних даних, формуються рекомендації для доповнення множини медичних даних  $D_{av}$  - користувачу надаються підказки, яку інформацію варто додати у множини медичних даних  $D_{av}$  для їх безперешкодного завантаження в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну.

Блок-схема алгоритму оцінювання достатності медичних даних представлена на рисунку 3.4.

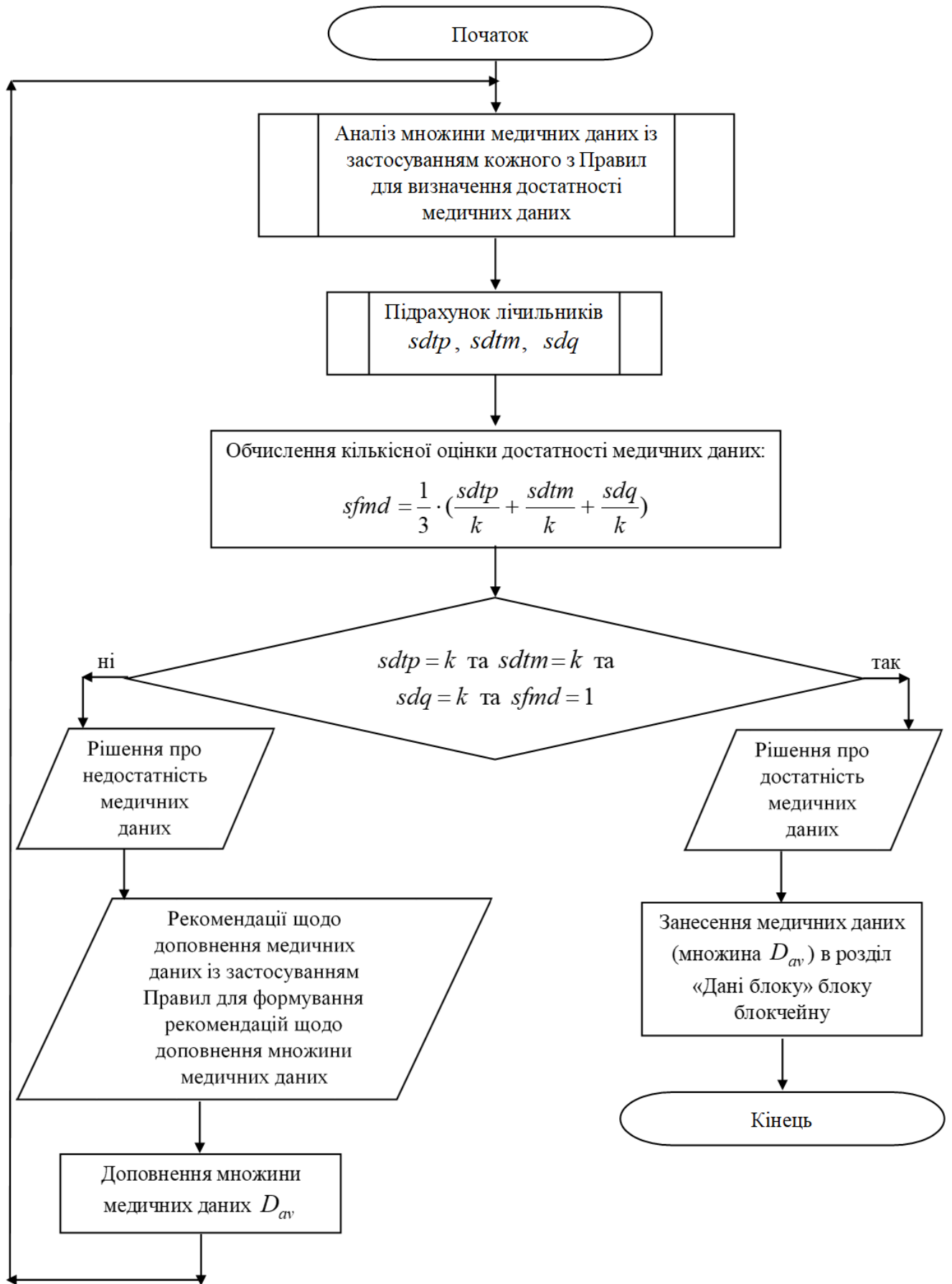


Рисунок 3.4 – Блок-схема алгоритму оцінювання достатності медичних даних

Після перевірки достатності медичних даних з використанням методу оцінювання достатності медичних даних, за умови, що отримано висновок про достатність медичних даних в множині  $D_{av}$  і про можливість занесення даних множини  $D_{av}$  в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну, може бути виконано занесення медичних даних до блокчейну згідно із I етапом методу виконання транзакцій над медичними даними, розробленого в підрозділі 3.2. Якщо медичні дані знадобляться лікарю для постановки діагнозу або проведення додаткових досліджень, то лікар сформує запит, який буде опрацьовано згідно із II етапом методу виконання транзакцій над медичними даними, розробленого в підрозділі 3.2. Блок-схема алгоритму виконання транзакцій над медичними даними (занесення інформації до блокчейну та отримання інформації з блокчейну) представлена на рисунку 3.5.

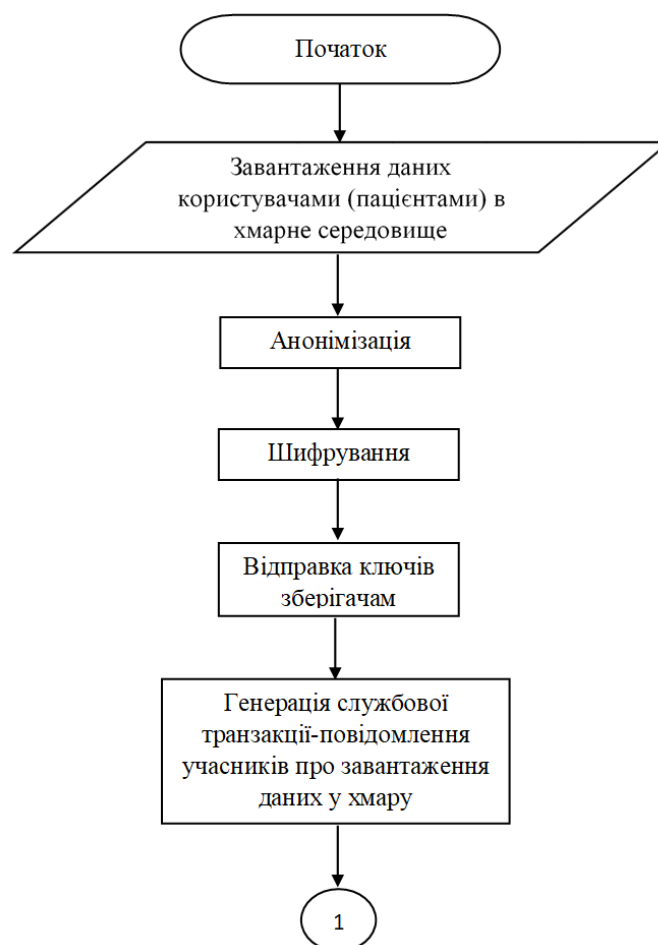


Рисунок 3.5 – Блок-схема алгоритму виконання транзакцій над медичними даними,  
аркуш 1

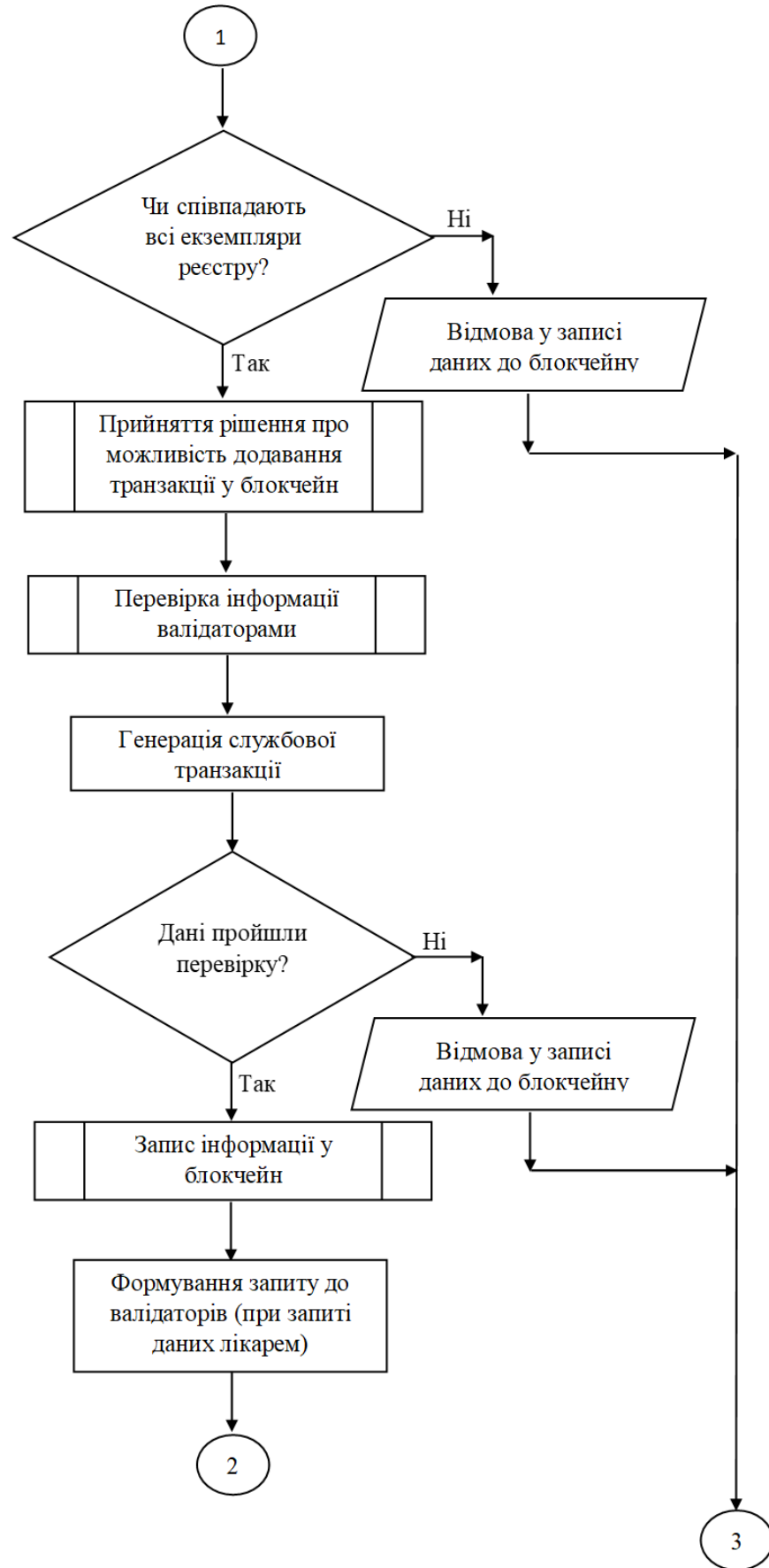


Рисунок 3.5 – Блок-схема алгоритму виконання транзакцій над медичними даними, аркуш 2

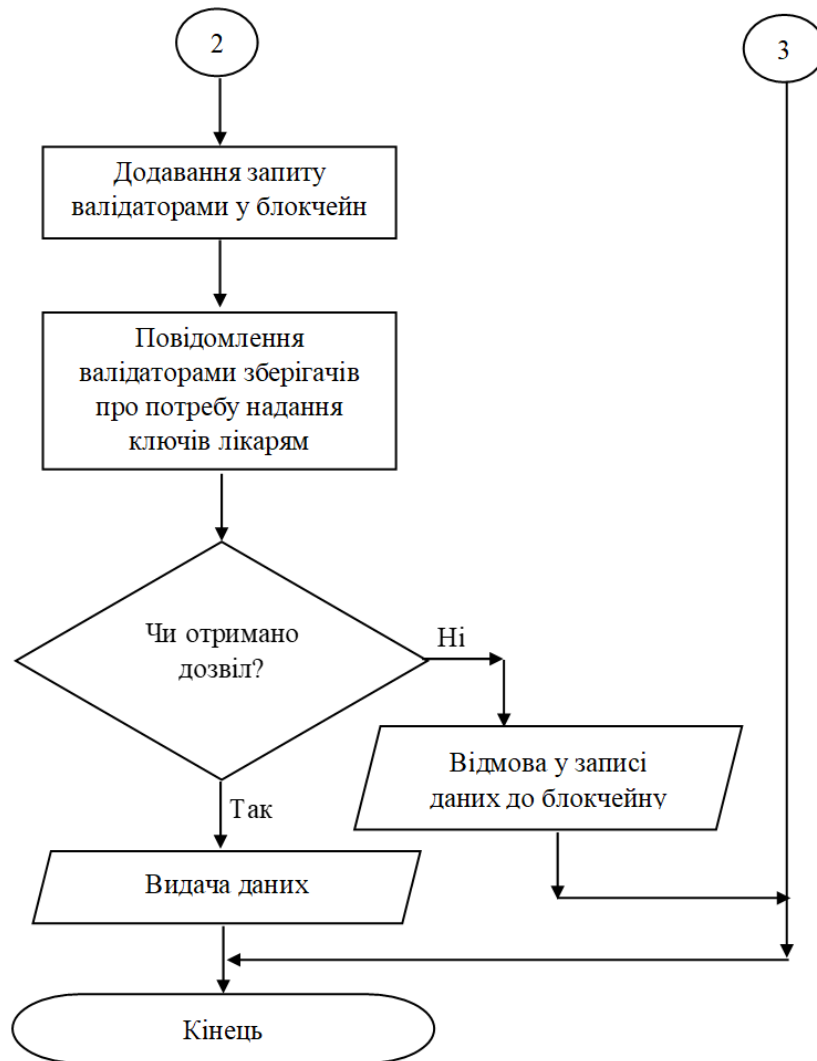


Рисунок 3.5 – Блок-схема алгоритму виконання транзакцій над медичними даними, аркуш 3

Важливим показником при роботі з медичними даними на основі блокчейн-технології є репутація медичної установи (як майнера блокчейну), оскільки блокчейн за певним алгоритмом, з врахуванням репутації, обирає валідатора, який запише наступний блок. Чим краща репутація – тим більший шанс на створення наступного блоку.

Оцінювання репутації медичної установи як майнера блокчейну відбувається за вдосконаленим методом оцінювання репутації медичної установи, розробленим у підрозділі 3.2.

Блок-схема алгоритму оцінювання репутації медичної установи як майнера блокчейну представлена на рисунку 3.6.

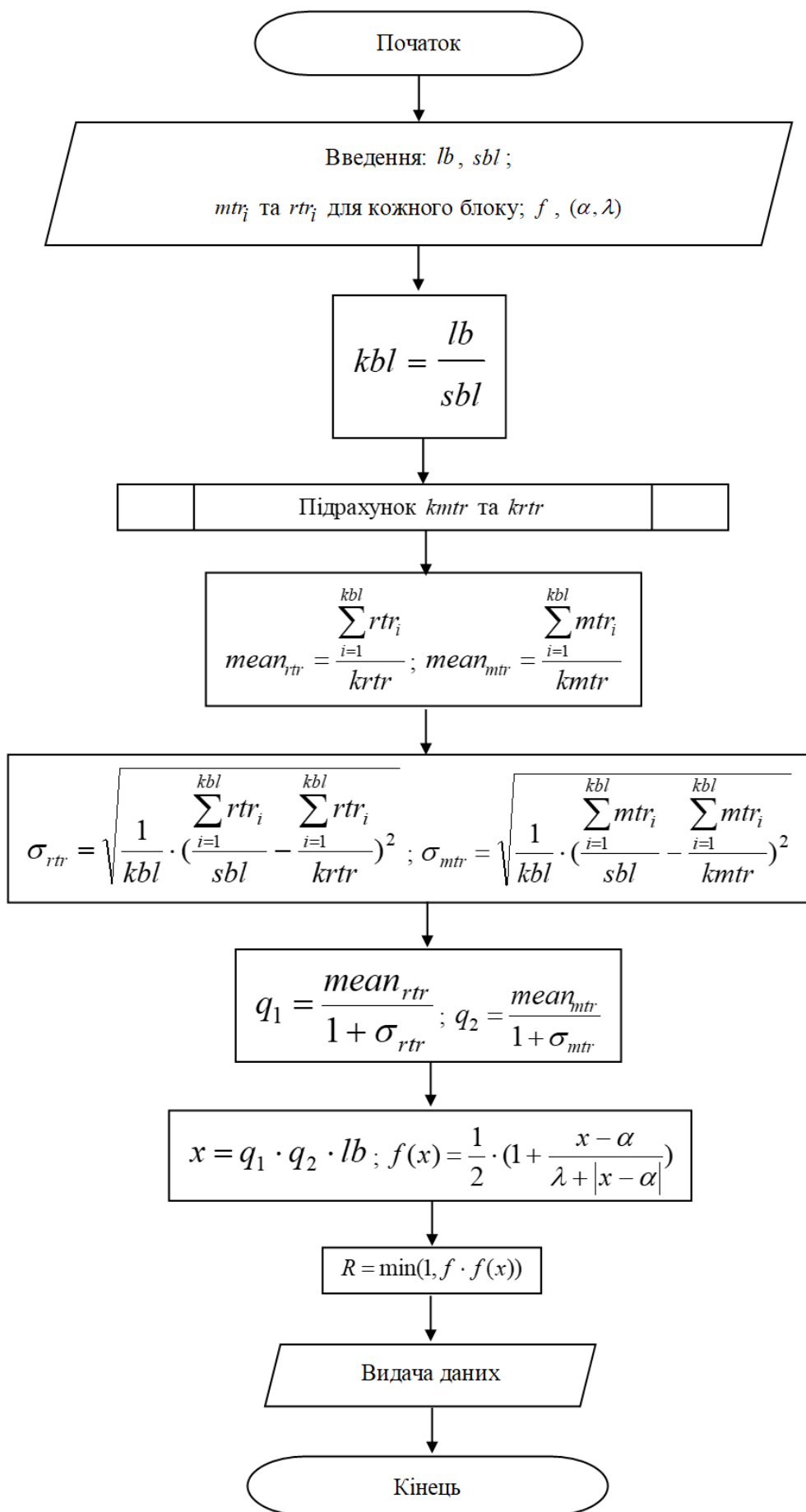


Рисунок 3.6 – Блок-схема алгоритму оцінювання репутації медичної установи

Отже, в підрозділі розроблено блок-схему алгоритму оцінювання достатності медичних даних, блок-схему алгоритму виконання транзакцій над медичними даними, який складається з етапів занесення інформації до блокчейну та отримання інформації з блокчейну, а також блок-схему алгоритму оцінювання репутації медичної установи.

### 3.4 Висновки

Достатність – змістовна повнота набору показників для прийняття рішення. Достатність (повнота) інформації означає, що вона містить мінімальний, але достатній для прийняття правильного рішення склад (набір показників). Поняття достатності інформації пов'язане з її змістом (семантикою) та прагматикою. Як неповна, тобто недостатня для прийняття правильного рішення, так і надмірна інформація знижує ефективність прийнятих користувачем рішень. Повнота та достатність інформації багато в чому характеризують якість інформації та визначають достатність даних для прийняття рішень або для створення нових даних з урахуванням наявних. Чим повніші дані, тим ширший діапазон методів, які можна використовувати, тим простіше підібрати метод, що вносить мінімум похибок у хід інформаційного процесу.

В розділі вперше розроблено метод та алгоритм оцінювання достатності медичних даних, який забезпечує: можливість аналізу множини медичних даних на предмет їх достатності; можливість кількісного оцінювання достатності медичних даних; в разі недостатності медичних даних у множині, формування рекомендацій щодо доповнення множини медичних даних  $D_{av}$  – як керівництво, яку інформацію слід додати у множину медичних даних  $D_{av}$  для можливості їх завантаження в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну.

Крім цього, в розділі вперше розроблено метод та алгоритм виконання транзакцій над медичними даними, який складається з етапів занесення інформації до блокчейну та отримання інформації з блокчейну. Розроблений метод виконання транзакцій над медичними даними забезпечує: можливість прийняття рішення про

додавання транзакції та медичних даних від пацієнта у блокчейн; можливість прийняття рішення про видачу даних з блокчейну за запитом від лікаря.

Важливим показником при роботі з медичними даними на основі блокчейн-технології є репутація медичної установи (як майнера блокчейну), оскільки блокчейн за певним алгоритмом, з врахуванням репутації, обирає валідатора, який запише наступний блок. Чим краща репутація – тим більший шанс на створення наступного блоку.

В розділі також одержав подальшого розвитку метод та алгоритм оцінювання репутації медичної установи (як майнера блокчейну), який дозволяє розрахувати і оцінити репутацію медичної установи.

## 4 КЕРУВАННЯ МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЙ

### 4.1 Система керування медичними даними на основі блокчейн-технологій

Перш ніж перейти до розроблення архітектури своєї системи для керування медичними даними, розглянемо архітектури відомих систем керування медичними даними на основі блокчейн-технологій.

Так, у роботі [93] представлено концепцію верифікації галузі охорони здоров'я за допомогою блокчейну та штучного інтелекту – рисунок 4.1, а також хмарна архітектура інтелектуальних агентів на основі згорткових нейронних мереж для збільшення показників медичних даних (рисунок 4.2), яка перевіряє медичні дані за допомогою алгоритмів штучного інтелекту в багатовимірних масивах; після перевірки дані розміщуються в блок блокчейну, потім в смарт-контракти і розподіляються окремо за допомогою консенсусних алгоритмів.

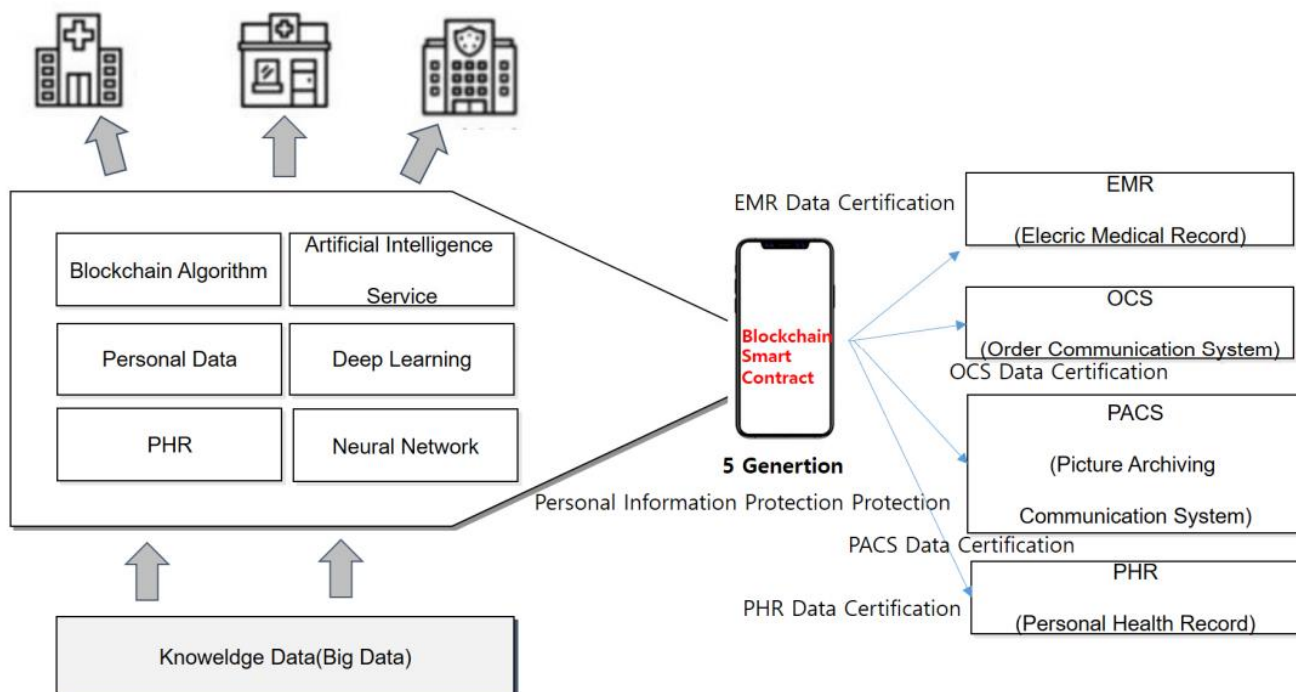


Рисунок 4.1 – Концепція верифікації галузі охорони здоров'я за допомогою блокчейну та штучного інтелекту [93]

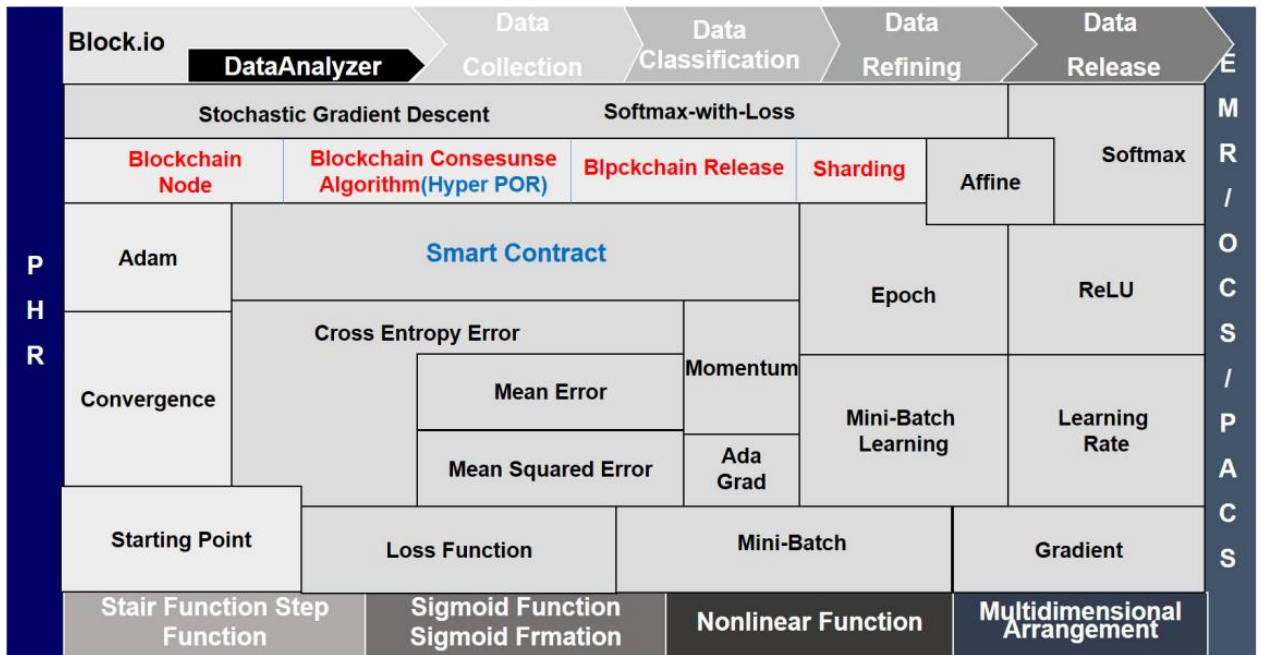


Рисунок 4.2 – Хмарна архітектура інтелектуальних агентів на основі згорткових нейронних мереж для збільшення показників медичних даних [93]

На рисунку 4.3 показано архітектуру системи, де блокчейн консорціум представлено як проміжне програмне забезпечення з певним рівнем довіри, а кожен медичний заклад виступає вузлом-учасником платформи [94].

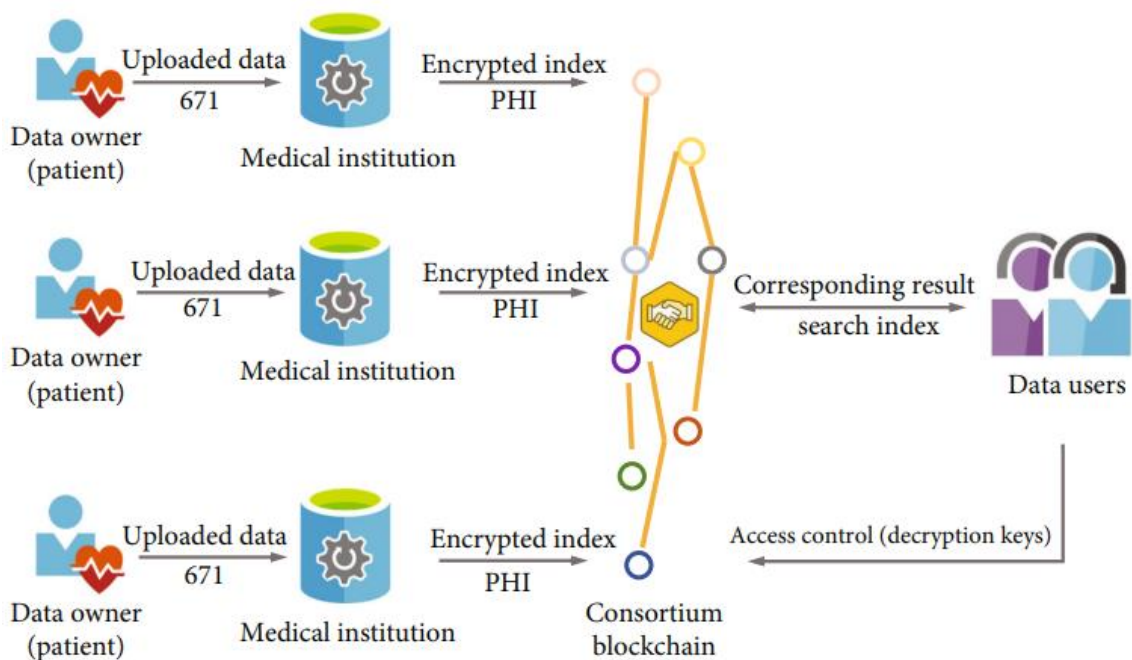


Рисунок 4.3 – Архітектура системи блокчейн-консорціуму медичних закладів [94]

Наступна архітектура системи на основі блокчейну складається з 3-х рівнів – рівня отримання даних, рівня зберігання даних, рівня обміну даними – рисунок 4.4 [95].

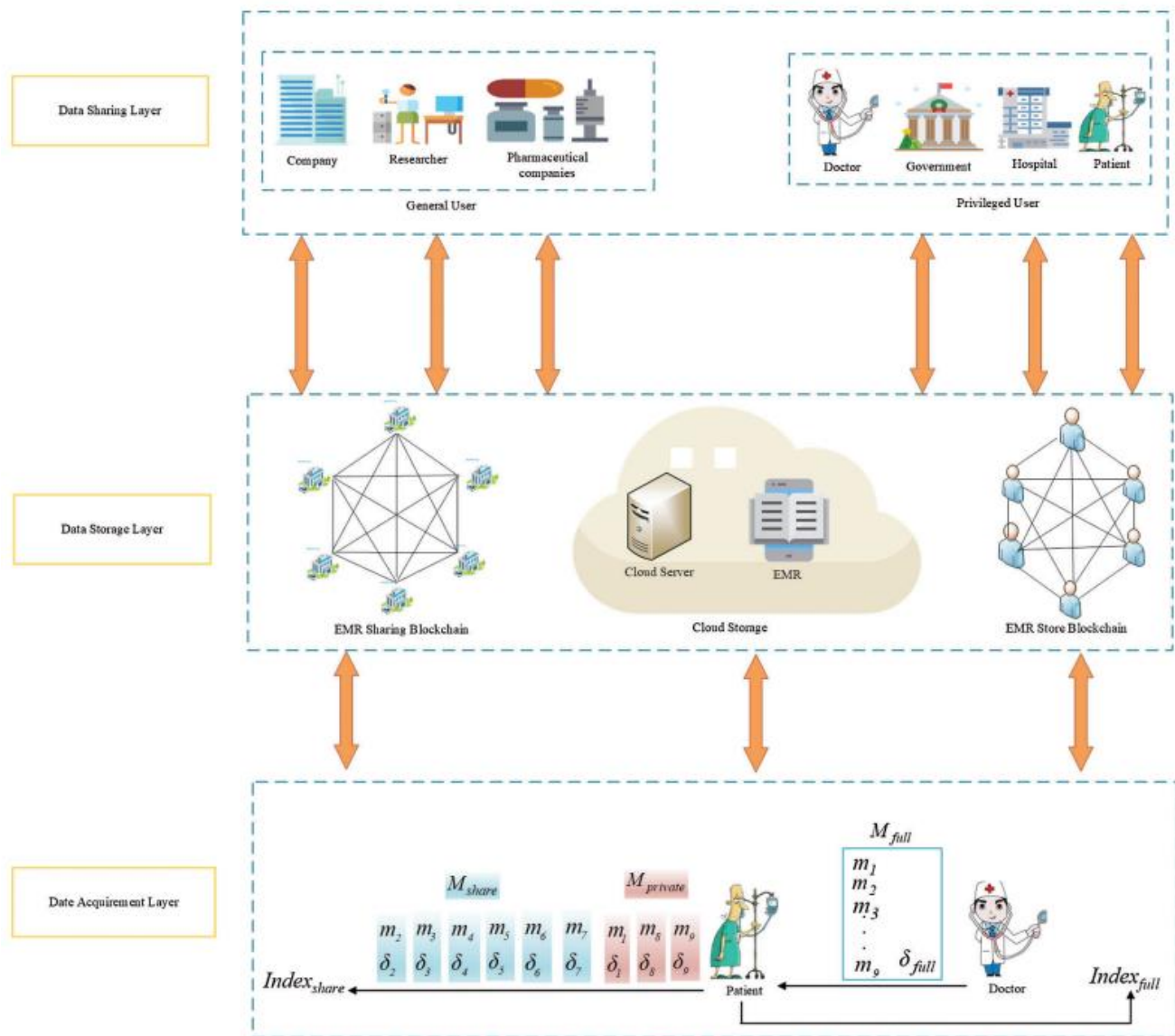


Рисунок 4.4 – Архітектура тривірневої системи на основі блокчейн-технологій [95]

У [96] представлена архітектура контролю доступу до медичних даних на основі блокчейну (рисунок 4.5). Щоб гарантувати, що політика та обмін дозволами є загальнодоступними в блокчейні, а також для економії ресурсів блокчейну, ці два ключові параметри зберігається у блокчейні. Інші медичні дані все ще зберігаються на сервері медичного закладу, а також сервер медичного закладу бере на себе

роботу аутентифікації до контролю доступу. Після того, як користувач надішле запит на доступ, модуль керування безпекою даних проаналізує запит на доступ, призначить ролі, проаналізує завдання та запитає доступ до медичних даних.

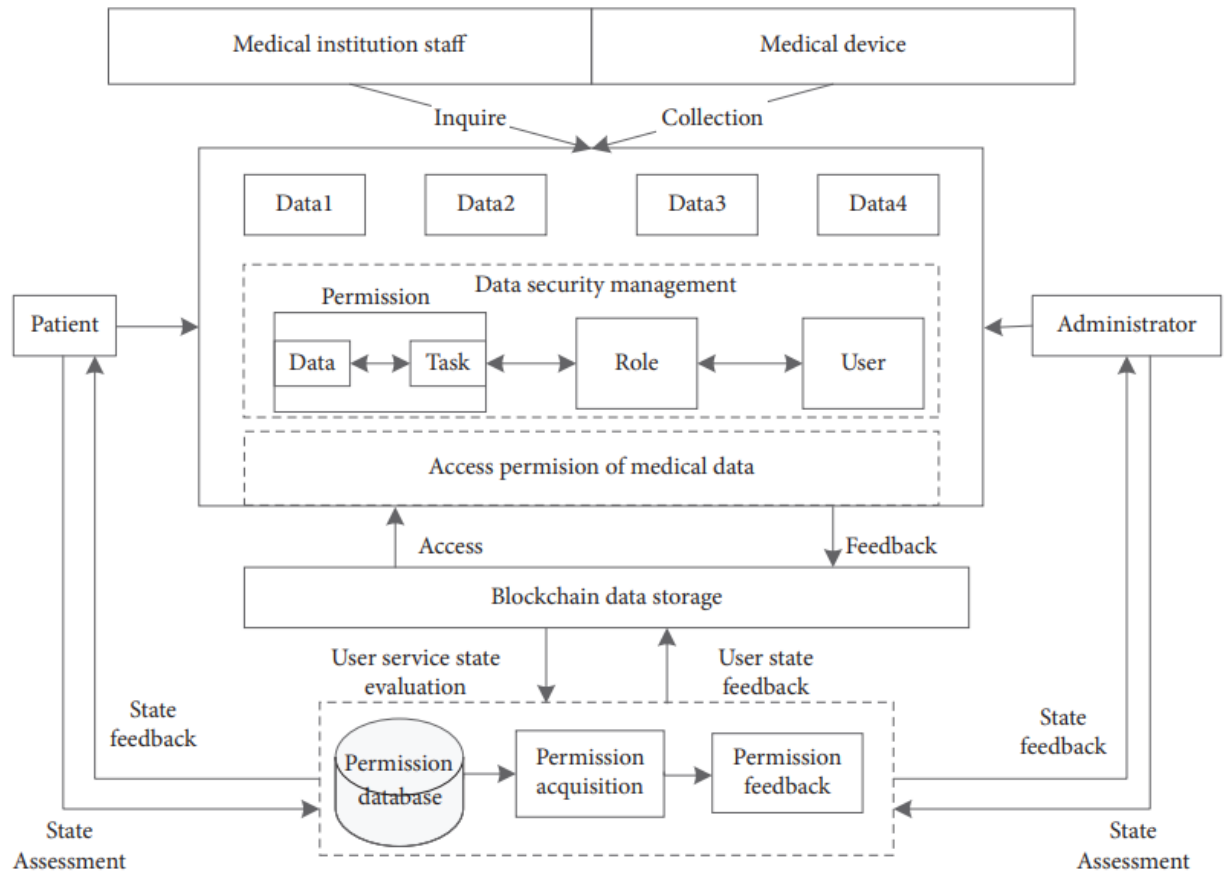


Рисунок 4.5 – Архітектура контролю доступу до медичних даних на основі блокчейну [96]

Для підвищення ефективності та безпеки обміну електронними медичними картками між системами контролю медичної інформації коректному управлінню даними сприятиме єдиний і сумісний підхід – наприклад, схема спільного використання електронних медичних карток на основі гібридної архітектури блокчейну [97]. Як показано на рисунку 4.6, усі учасники консорціуму пов'язані разом із набором правил і попередньо визначеними смарт-контрактами. Тільки уповноважені організації можуть отримати доступ до чутливих частин електронних медичних карток, щоб поставити медичний діагноз і скласти плани лікування.

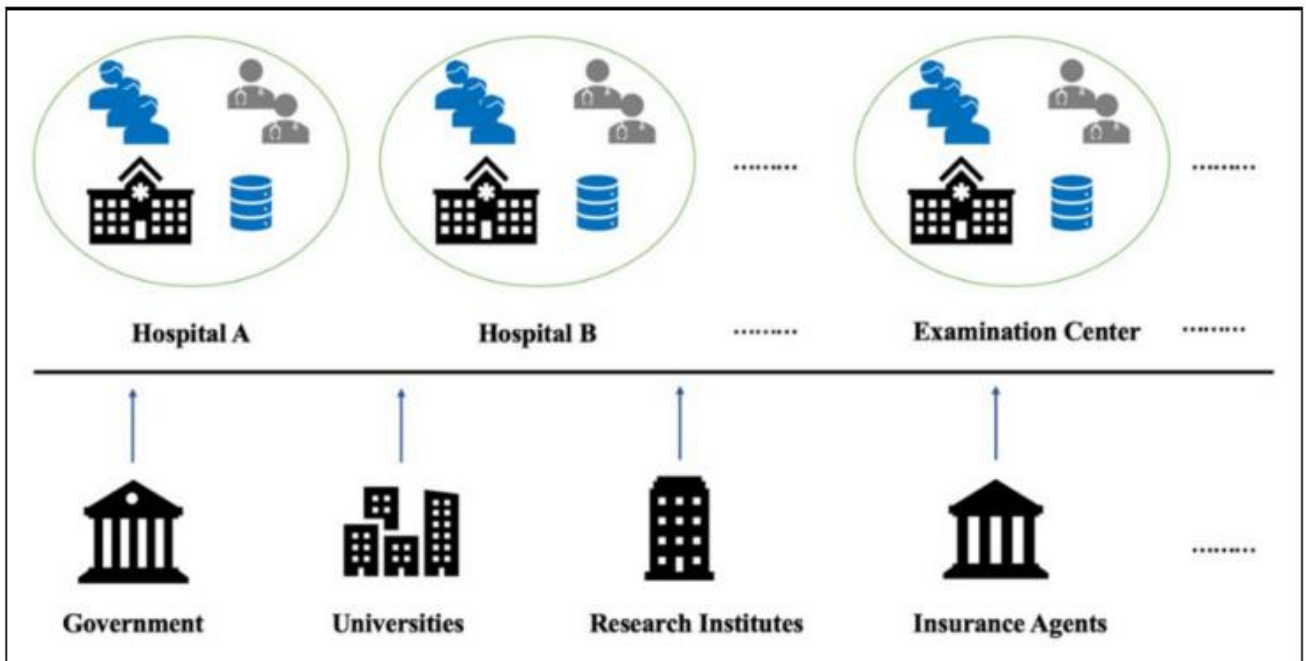


Рисунок 4.6 – Схема спільного використання електронних медичних карток на основі гібридної архітектури блокчейну [97]

Мережевий сервіс *DynamiChain* на основі блокчейну та великих даних для галузі охорони здоров'я представлено на рисунку 4.7. Запропонована медична блокчейн-мережа була спеціалізована для обробки великих даних огляду здоров'я, які складаються з тестів *Inbody*, аналізів крові та наборів даних функціональних тестів [98].

Три організації – постачальники даних, користувачі даних і лікарня – утворюють консорціум у *DynamiChain* (рисунок 4.8). В основному постачальники даних можуть встановлювати свої правила динамічної згоди. Лікарні можуть зберігати записи передачі медичних даних і керувати передачею даних загального огляду здоров'я. Користувачі даних можуть порівнювати хеші даних огляду здоров'я та читати дані огляду відповідно. До консорціуму приєднуються всі три організації через один канал. Організації встановлюють власний одноранговий пристрій у своєму центрі обробки даних. Додаткову участь у консорціумі можна встановити за допомогою блоку конфігурації, що зберігається в службі замовлення [98].

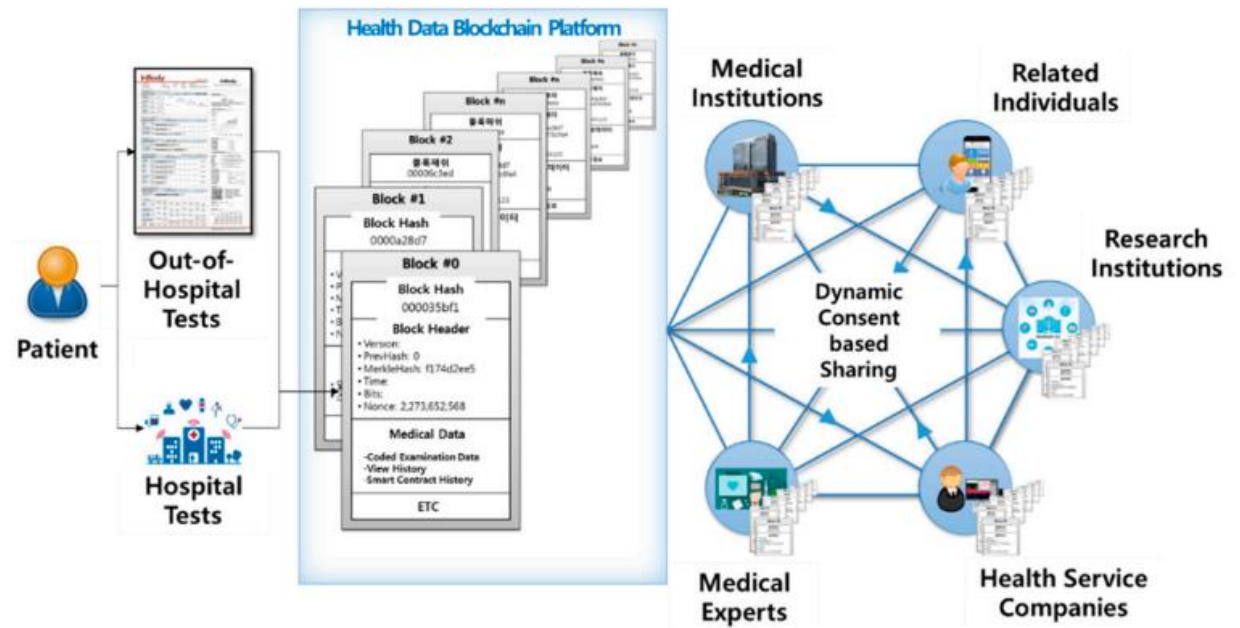


Рисунок 4.7 – Мережевий сервіс ДинаміСhаіn на основі блокчейну та великих даних для галузі охорони здоров'я [98]

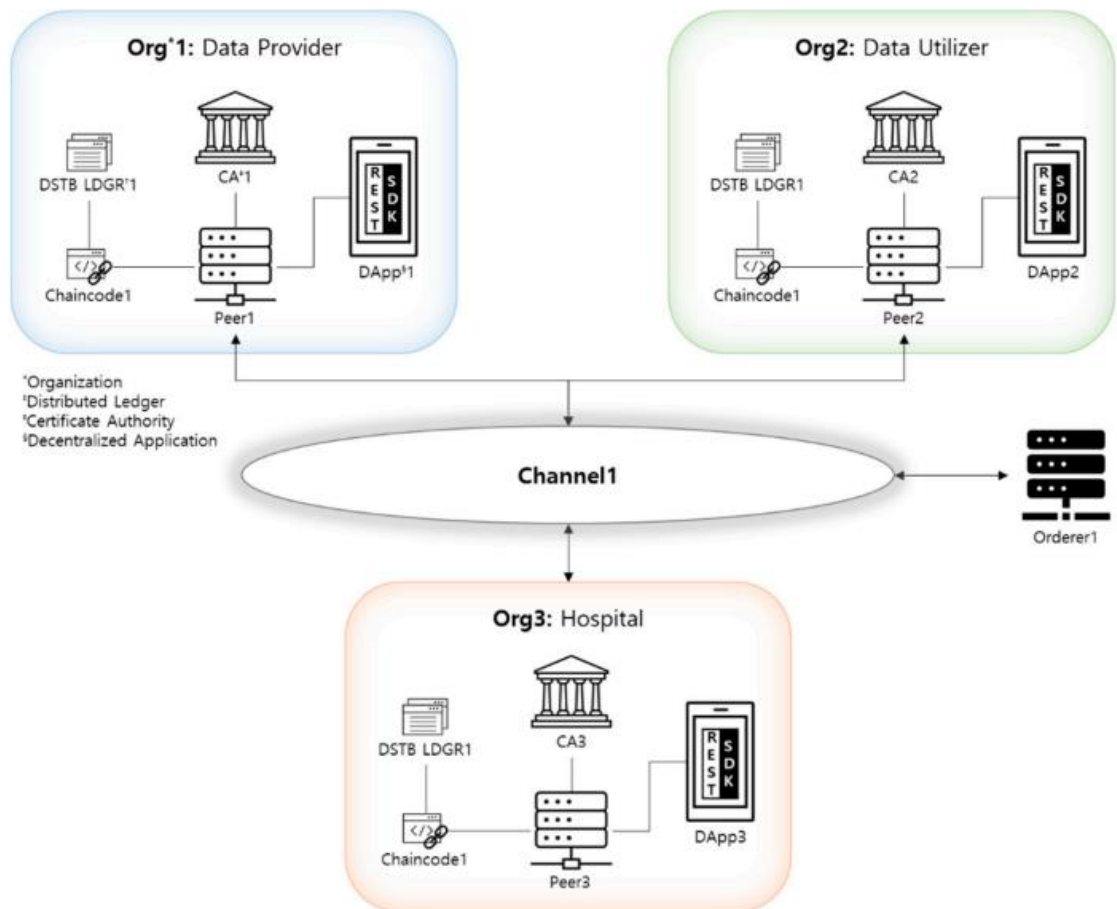


Рисунок 4.8 – Блокчейн-консорціум з 3-х організацій у ДинаміСhаіn [98]

Детальний робочий процес блокчейн-мережі SPChain представлено на рисунку 4.9. Кожна організація (наприклад, пацієнти та медичні установи) у SPChain має обліковий запис блокчейну. Система складається з етапів налаштування, реєстрації, завантаження, мітки, спільного доступу та пошуку [99].

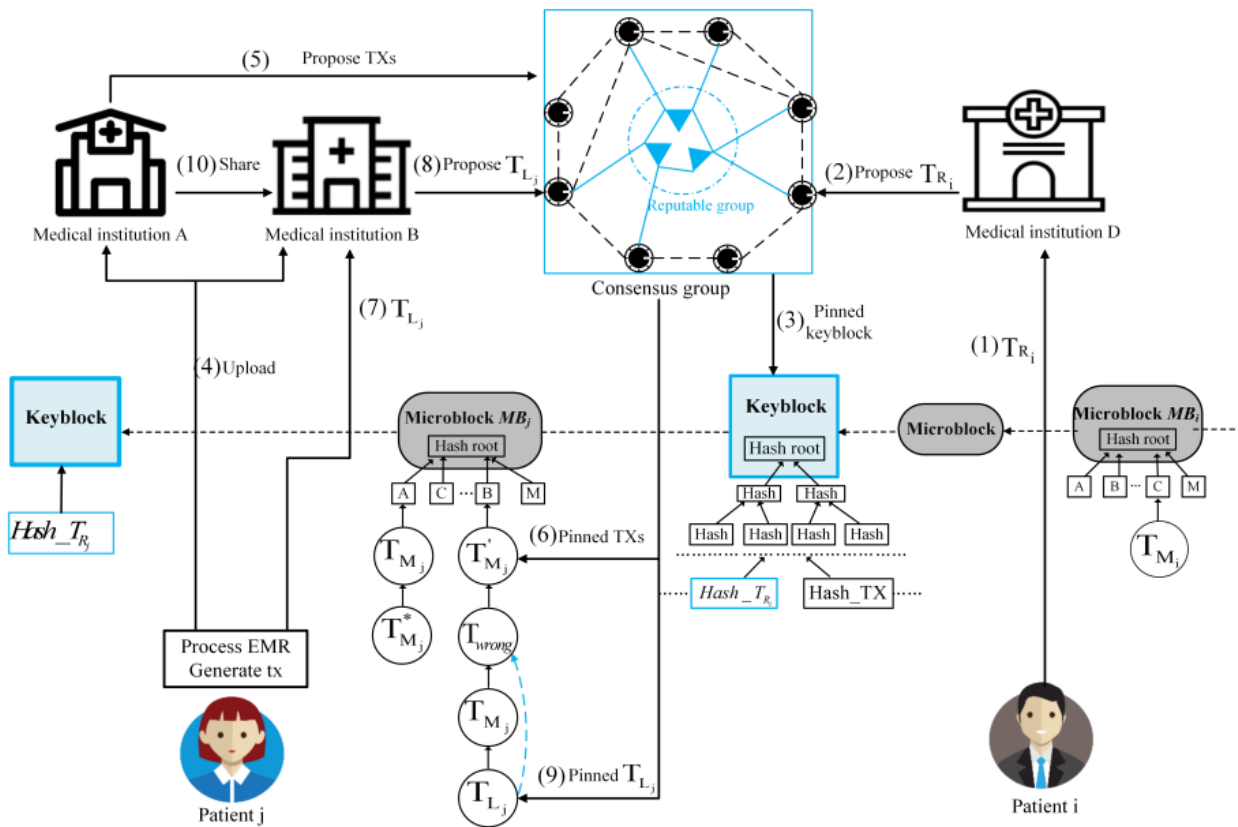


Рисунок 4.9 – Детальний робочий процес блокчейн-мережі SPChain [99]

На основі проведеного аналізу архітектур відомих систем керування медичними даними на основі блокчейн-технологій, розробимо архітектуру системи для керування медичними даними на основі розроблених у розділі 3 методів та алгоритмів оцінювання достатності медичних даних (блок оцінювання достатності медичних даних), виконання транзакцій над медичними даними (блок виконання транзакцій над медичними даними), оцінювання репутації медичної установи як майнера блокчейну (блок оцінювання репутації медичної установи).

Архітектура системи для керування медичними даними представлена на рисунку 4.10.

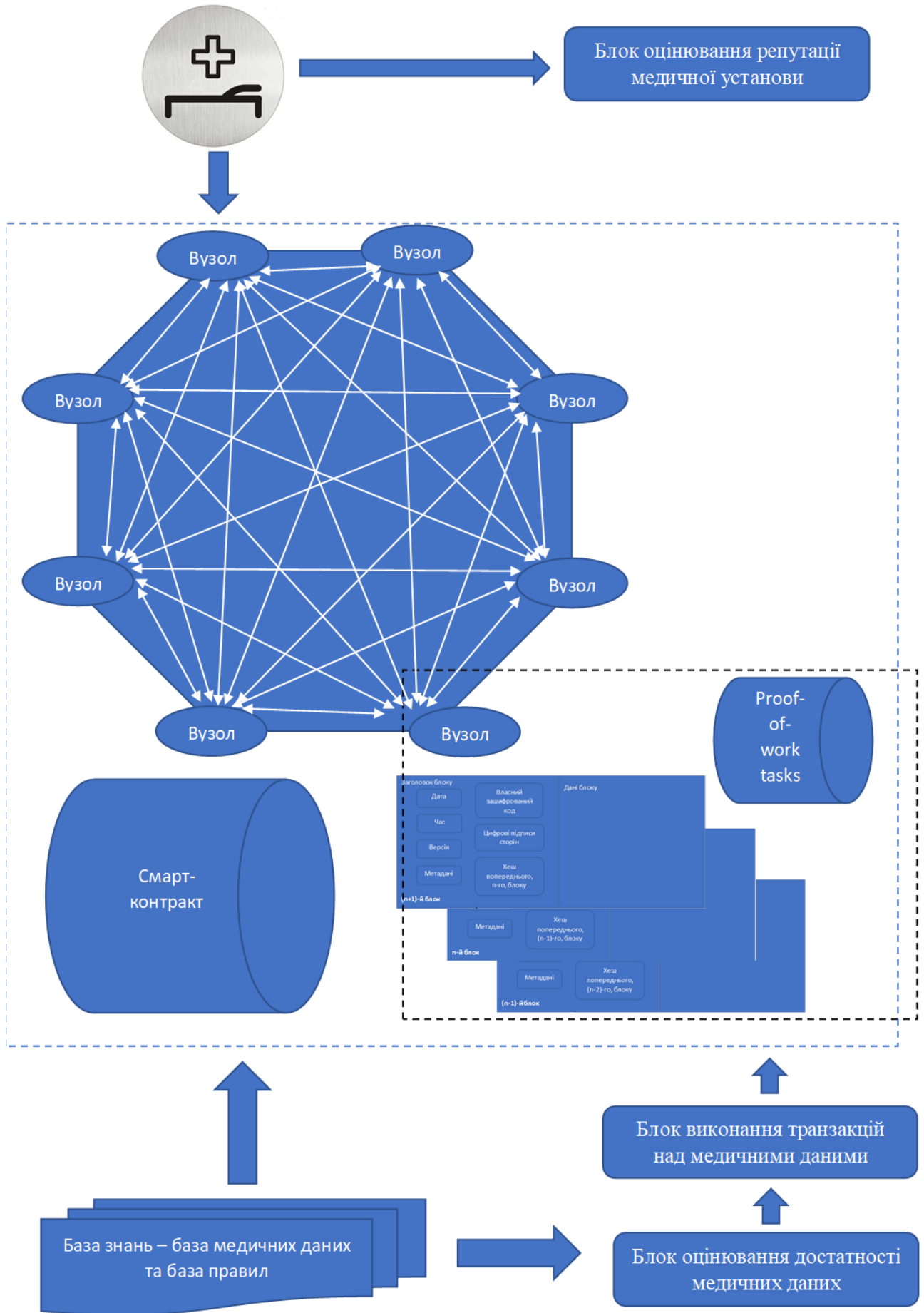


Рисунок 4.10 – Архітектура системи для керування медичними даними

## 4.2 Експерименти із керування медичними даними на основі блокчейн-технологій

Проведемо експерименти із керування медичними даними на основі блокчейн-технологій з використанням розроблених у розділі 3 методів та алгоритмів оцінювання достатності медичних даних, виконання транзакцій над медичними даними, оцінювання репутації медичної установи (як майнера блокчейну).

Для першого експерименту оцінимо достатність множини даних медичних карт амбулаторних хворих амбулаторії сімейної медицини, які плануються до занесення блоку даних блоку блокчейну.

Проаналізуємо таку множину даних з використанням кожного з розроблених правил для визначення достатності медичних даних та підрахуємо лічильники  $sdt_p$ ,  $sdt_m$ ,  $sdq$ .

Розглядувана множина медичних даних складається з 10 записів, причому в першому записі відсутній елемент «час даних», в другому записі відсутні елементи «тип даних» і «якість даних», в третьому записі відсутні елементи «час даних» і «якість даних», в четвертому записі відсутній елемент «тип даних», в п'ятому записі наявні всі три елементи, в шостому записі відсутній елемент «якість даних», в сьомому записі наявні всі три елементи, у восьмому записі відсутні елементи «тип даних», «час даних», у дев'ятому записі наявні всі три елементи, а у десятому записі відсутній елемент «час даних», тому матриця  $B_1$  має наступний вигляд – таблиця 4.1.

Лічильники  $sdt_p$ ,  $sdt_m$ ,  $sdq$  в такому випадку мають наступні значення:  
 $sdt_p = 7$ ,  $sdt_m = 6$ ,  $sdq = 7$ .

Таблиця 4.1 – Матриця  $B_I$  для множини даних медичних карт амбулаторних хворих амбулаторії сімейної медицини (експеримент 1)

	1 (тип даних $dtp_{av}$ )	2 (час даних $dtm_{av}$ )	3 (якість даних $dq_{av}$ )
1	1	0	1
2	0	1	0
3	1	0	0
4	0	1	1
5	1	1	1
6	1	1	0
7	1	1	1
8	0	0	1
9	1	1	1
10	1	0	1

Далі обчислимо кількісну оцінку достатності медичних даних за формулою (3.3), враховуючи, що множина даних медичних карт амбулаторних хворих амбулаторії сімейної медицини, які плануються до занесення блоку даних блоку блокчейну, складається із 10 записів, тобто  $k_1 = 10$ :

$$sfmd_1 = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{sdp_1}{k_1} + \frac{sdtm_1}{k_1} + \frac{sdq_1}{k_1} \right) = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{7}{10} + \frac{6}{10} + \frac{7}{10} \right) = 0.67$$

Оскільки  $sdp < k$  та  $sdtm < k$  та  $sdq < k$  та  $sfmd < 1$ , то: приймається рішення про недостатність медичних даних у множині  $D_{av}$  медичних карт амбулаторних хворих амбулаторії сімейної медицини. Отже, розглядувана множина медичних даних потребує доопрацювання перед занесенням цих даних в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну.

Користувачу надаються рекомендації щодо доповнення множини медичних даних – згідно із правилами для формування рекомендацій щодо доповнення множини медичних даних  $D_{av}$  – як керівництво, яку інформацію слід додати у множини медичних даних  $D_{av}$  для можливості їх завантаження в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну. Для розглядуваної множини даних медичних карт амбулаторних хворих амбулаторії сімейної медицини рекомендації є наступними: доповнити 1-й запис елементом «час даних», доповнити 2-й запис елементами «тип даних» і «якість даних», доповнити 3-й запис елементами «час даних» і «якість даних», доповнити 4-й запис елементом «тип даних», доповнити 6-й запис елементом «якість даних», доповнити 8-й запис елементами «тип даних», «час даних», доповнити 10-й запис елементом «час даних».

Якщо медична установа все ще зацікавлена у завантаженні своїх даних до блоку блокчейну, то вона виконає доповнення множини медичних даних  $D_{av}$ , після чого слід виконати повернення на крок 1 Методу оцінювання достатності медичних даних, тобто виконати аналіз оновленої множини медичних даних.

Для експерименту 1 розглядувана множина медичних даних була доповнена, після чого ця множина даних знов була проаналізована з використанням кожного з розроблених правил для визначення достатності медичних даних та були підраховані лічильники  $sntp$ ,  $sntm$ ,  $sndq$ .

Після доопрацювання в першому записі відсутній елемент «час даних», в другому записі відсутній елемент «якість даних», в третьому записі відсутній елемент «якість даних», в усіх інших записах наявні всі три елементи, тому матриця  $B_1$  має наступний вигляд – таблиця 4.2.

Лічильники  $sntp$ ,  $sntm$ ,  $sndq$  в такому випадку мають наступні значення:  $sntp_1 = 10$ ,  $sntm_1 = 9$ ,  $sndq_1 = 8$ .

Далі обчислимо кількісну оцінку достатності медичних даних за формулою (3.3):

$$sfmd_1 = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{sdt p_1}{k_1} + \frac{sdt m_1}{k_1} + \frac{sdq_1}{k_1} \right) = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{10}{10} + \frac{9}{10} + \frac{8}{10} \right) = 0.9$$

Таблиця 4.2 – Матриця  $B_1$  для доопрацьованої множини даних медичних карт амбулаторних хворих амбулаторії сімейної медицини (експеримент 1)

	1 (тип даних $dtp_{av}$ )	2 (час даних $dtm_{av}$ )	3 (якість даних $dq_{av}$ )
1	1	0	1
2	1	1	0
3	1	1	0
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1
9	1	1	1
10	1	1	1

Наразі  $sdt p = k$ , проте  $sdt m < k$  та  $sdq < k$  та  $sfmd < 1$ , тому знову приймається рішення про недостатність медичних даних у множині  $D_{av}$  медичних карт амбулаторних хворих амбулаторії сімейної медицини. Отже, розглядувана множина медичних даних знову потребує доопрацювання перед занесенням цих даних в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну.

Користувачу надаються рекомендації щодо доповнення множини медичних даних – згідно із правилами для формування рекомендацій щодо доповнення множини медичних даних  $D_{av}$ . Для розглядуваної доопрацьованої множини даних медичних карт амбулаторних хворих амбулаторії сімейної медицини рекомендації є наступними: доповнити 1-й запис елементом «час даних», доповнити 2-й запис елементом «якість даних», доповнити 3-й запис елементом «якість даних».

Медична установа, проаналізувавши отримані висновки та рекомендації, прийняла рішення завантажувати множину даних медичних карт амбулаторних хворих амбулаторії сімейної медицини до блоку блокчейну без подальшого доопрацювання.

Для *другого експерименту* оцінимо достатність множини облікових даних кабінету функціональної діагностики амбулаторії сімейної медицини, які плануються до занесення блоку даних блоку блокчейну.

Проаналізуємо таку множину даних з використанням кожного з розроблених правил для визначення достатності медичних даних та підрахуємо лічильники *sdt*, *sdtm*, *sdq*.

Розглядувана множина медичних даних складається з 20 записів, причому в першому записі відсутній елемент «час даних», в другому записі відсутні елементи «тип даних» і «якість даних», в третьому записі відсутні елементи «час даних» і «тип даних», в четвертому записі відсутній елемент «тип даних», в п'ятому записі відсутні елементи «тип даних» і «якість даних», в шостому записі відсутні елементи «тип даних» і «час даних», в сьомому записі відсутні елементи «час даних» і «якість даних», у восьмому записі відсутній елемент «якість даних», у дев'ятому записі наявні всі три елементи, у десятому записі відсутні елементи «тип даних» і «якість даних», в одинадцятому записі відсутні елементи «тип даних» і «час даних», у дванадцятому записі відсутній елемент «тип даних», у тринадцятому записі відсутній елемент «якість даних», у чотирнадцятому записі відсутні елементи «тип даних» і «час даних», у п'ятнадцятому записі відсутні елементи «час даних» і «якість даних», у шістнадцятому записі відсутні елементи «тип даних» і «час даних», у сімнадцятому записі відсутній елемент «час даних», у вісімнадцятому записі відсутній елемент «час даних», у дев'ятнадцятому записі відсутні елементи «час даних» і «якість даних», у двадцятому записі відсутні елементи «тип даних» і «якість даних», тому матриця  $B_2$  має наступний вигляд – таблиця 4.3.

Лічильники  $sdp$ ,  $sdtm$ ,  $sdq$  в такому випадку мають наступні значення:  
 $sdp_2 = 9$ ,  $sdtm_2 = 9$ ,  $sdq_2 = 11$ .

Таблиця 4.3 – Матриця  $B_2$  для множини облікових даних кабінету функціональної діагностики амбулаторії сімейної медицини (експеримент 2)

	1 (тип даних $dtp_{av}$ )	2 (час даних $dtm_{av}$ )	3 (якість даних $dq_{av}$ )
1	1	0	1
2	0	1	0
3	0	0	1
4	0	1	1
5	0	1	0
6	0	0	1
7	1	0	0
8	1	1	0
9	1	1	1
10	0	1	0
11	0	0	1
12	0	1	1
13	1	1	0
14	0	0	1
15	1	0	0
16	0	0	1
17	1	0	1
18	1	0	1
19	1	0	0
20	0	1	0

Далі обчислимо кількісну оцінку достатності медичних даних за формулою (3.3), враховуючи, що множина облікових даних кабінету функціональної діагностики амбулаторії сімейної медицини, які плануються до занесення блоку даних блоку блокчейну, складається із 20 записів, тобто  $k_2 = 20$ :

$$sfmd_2 = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{sctp_2}{k_2} + \frac{sctm_2}{k_2} + \frac{sdq_2}{k_2} \right) = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{9}{20} + \frac{9}{20} + \frac{11}{20} \right) = 0.48$$

Оскільки  $sctp < k$  та  $sctm < k$  та  $sdq < k$  та  $sfmd < 1$ , то: приймається рішення про недостатність медичних даних у множині  $D_{av}$  облікових даних кабінету функціональної діагностики амбулаторії сімейної медицини. Отже, розглядувана множина медичних даних потребує доопрацювання перед занесенням цих даних в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну.

Користувачу надаються рекомендації щодо доповнення множини медичних даних – згідно із правилами для формування рекомендацій щодо доповнення множини медичних даних  $D_{av}$  – як керівництво, яку інформацію слід додати у множину медичних даних  $D_{av}$  для можливості їх завантаження в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну. Для розглядуваної множини облікових даних кабінету функціональної діагностики амбулаторії сімейної медицини рекомендації є наступними: доповнити 1-й запис елементом «час даних», доповнити 2-й запис елементами «тип даних» і «якість даних», доповнити 3-й запис елементами «час даних» і «тип даних», доповнити 4-й запис елементом «тип даних», доповнити 5-й запис елементами «тип даних» і «якість даних», доповнити 6-й запис елементами «тип даних» і «час даних», доповнити 7-й запис елементами «час даних» і «якість даних», доповнити 8-й запис елементом «якість даних», доповнити 10-й запис елементами «тип даних» і «якість даних», доповнити 11-й запис елементами «тип даних» і «час даних», доповнити 12-й запис елементом «тип даних», доповнити 13-й запис елементом «якість даних», доповнити 14-й запис елементами «тип даних» і «час даних», доповнити 15-й запис елементами «час даних» і «якість

даних», доповнити 16-й запис елементами «тип даних» і «час даних», доповнити 17-й запис елементом «час даних», доповнити 18-й запис елементом «час даних», доповнити 19-й запис елементами «час даних» і «якість даних», доповнити 20-й запис елементами «тип даних» і «якість даних»,.

Якщо медична установа все ще зацікавлена у завантаженні своїх даних до блоку блокчейну, то вона виконає доповнення множини медичних даних  $D_{av}$ , після чого слід виконати повернення на крок 1 Методу оцінювання достатності медичних даних, тобто виконати аналіз оновленої множини медичних даних.

Для експерименту 2 розглядувана множина медичних даних була доповнена, після чого ця множина даних знов була проаналізована з використанням кожного з розроблених правил для визначення достатності медичних даних та були підраховані лічильники  $sdp$ ,  $sdtm$ ,  $sdq$ .

Після доопрацювання в другому записі відсутній елемент «тип даних», в третьому записі відсутній елемент «час даних», в п'ятому записі відсутній елемент «якість даних», в шостому записі відсутній елемент «час даних», в сьомому записі відсутній елемент «якість даних», у десятому записі відсутній елемент «тип даних», в одинадцятому записі відсутній елемент «час даних», у чотирнадцятому записі відсутній елемент «тип даних», у п'ятнадцятому записі відсутній елемент «якість даних», у шістнадцятому записі відсутній елемент «тип даних», у дев'ятнадцятому записі відсутній елемент «якість даних», у двадцятому записі відсутні елементи «тип даних» і «якість даних», в усіх інших записах наявні всі три елементи, тому матриця  $B_2$  має наступний вигляд – таблиця 4.4.

Лічильники  $sdp$ ,  $sdtm$ ,  $sdq$  в такому випадку мають наступні значення:  $sdp_2 = 15$ ,  $sdtm_2 = 17$ ,  $sdq_2 = 15$ .

Далі обчислимо кількісну оцінку достатності медичних даних за формулою (3.3):

$$sfmd_2 = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{sdp_2}{k_2} + \frac{sdtm_2}{k_2} + \frac{sdq_2}{k_2} \right) = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{15}{20} + \frac{17}{20} + \frac{15}{20} \right) = 0.78$$

Оскільки  $sdt_p < k$  та  $sdt_m < k$  та  $sdq < k$  та  $sfmd < 1$ , тому знову приймається рішення про недостатність медичних даних у множині  $D_{av}$  облікових даних кабінету функціональної діагностики амбулаторії сімейної медицини. Отже, розглядувана множина медичних даних знову потребує доопрацювання перед занесенням цих даних в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну.

Користувачу надаються рекомендації щодо доповнення множини медичних даних – згідно із правилами для формування рекомендацій щодо доповнення множини медичних даних  $D_{av}$ . Для розглядуваної доопрацьованої множини облікових даних кабінету функціональної діагностики амбулаторії сімейної медицини рекомендації є наступними: доповнити 2-й запис елементом «тип даних», доповнити 3-й запис елементом «час даних», доповнити 5-й запис елементом «якість даних», доповнити 6-й запис елементом «час даних», доповнити 7-й запис елементом «якість даних», доповнити 10-й запис елементом «тип даних», доповнити 11-й запис елементом «час даних», доповнити 14-й запис елементом «тип даних», доповнити 15-й запис елементом «якість даних», доповнити 16-й запис елементом «тип даних», доповнити 19-й запис елементом «якість даних», доповнити 20-й запис елементами «тип даних» і «якість даних».

Медична установа, проаналізувавши отримані висновки та рекомендації, прийняла рішення про ще одне доповнення множини облікових даних кабінету функціональної діагностики амбулаторії сімейної медицини. Розглядувана множина медичних даних була доповнена, після чого ця множина даних знов була проаналізована з використанням кожного з розроблених правил для визначення достатності медичних даних та були підраховані лічильники  $sdt_p$ ,  $sdt_m$ ,  $sdq$ .

Таблиця 4.4 – Матриця  $B_2$  для доопрацьованої множини облікових даних кабінету функціональної діагностики амбулаторії сімейної медицини (експеримент 2)

	<i>1</i> (тип даних $dtp_{av}$ )	<i>2</i> (час даних $dtm_{av}$ )	<i>3</i> (якість даних $dq_{av}$ )
<i>1</i>	1	1	1
<i>2</i>	0	1	1
<i>3</i>	1	0	1
<i>4</i>	1	1	1
<i>5</i>	1	1	0
<i>6</i>	1	0	1
<i>7</i>	1	1	0
<i>8</i>	1	1	1
<i>9</i>	1	1	1
<i>10</i>	0	1	1
<i>11</i>	1	0	1
<i>12</i>	1	1	1
<i>13</i>	1	1	1
<i>14</i>	0	1	1
<i>15</i>	1	1	0
<i>16</i>	0	1	1
<i>17</i>	1	1	1
<i>18</i>	1	1	1
<i>19</i>	1	1	0
<i>20</i>	0	1	0

Після другого доопрацювання в усіх записах наявні всі три елементи, тому матриця  $B_2$  тепер має наступний вигляд – таблиця 4.5.

Таблиця 4.5 – Матриця  $B_2$  для вдруге доопрацьованої множини облікових даних кабінету функціональної діагностики амбулаторії сімейної медицини (експеримент 2)

	<i>1</i> (тип даних $dtp_{av}$ )	<i>2</i> (час даних $dtm_{av}$ )	<i>3</i> (якість даних $dq_{av}$ )
<i>1</i>	1	1	1
<i>2</i>	1	1	1
<i>3</i>	1	1	1
<i>4</i>	1	1	1
<i>5</i>	1	1	1
<i>6</i>	1	1	1
<i>7</i>	1	1	1
<i>8</i>	1	1	1
<i>9</i>	1	1	1
<i>10</i>	1	1	1
<i>11</i>	1	1	1
<i>12</i>	1	1	1
<i>13</i>	1	1	1
<i>14</i>	1	1	1
<i>15</i>	1	1	1
<i>16</i>	1	1	1
<i>17</i>	1	1	1
<i>18</i>	1	1	1
<i>19</i>	1	1	1
<i>20</i>	1	1	1

Лічильники  $sdp$ ,  $sdtm$ ,  $sdq$  в такому випадку мають наступні значення:

$$sdp_2 = 20, sdtm_2 = 20, sdq_2 = 20.$$

Далі обчислимо кількісну оцінку достатності медичних даних за формулою (3.3):

$$sfmd_2 = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{sctp_2}{k_2} + \frac{sctm_2}{k_2} + \frac{sdq_2}{k_2} \right) = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{20}{20} + \frac{20}{20} + \frac{20}{20} \right) = 1$$

Оскільки  $sctp = k$  та  $sctm = k$  та  $sdq = k$  та  $sfmd = 1$ , тому тепер приймається рішення про достатність медичних даних у множині  $D_{av}$  облікових даних кабінету функціональної діагностики амбулаторії сімейної медицини. Отже, розглядувана множина медичних даних може бути занесена в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну.

Оцінимо тепер репутацію медичної установи (наприклад, двох різних амбулаторій сімейної медицини) – як майнера блокчейну, використовуючи вдосконалений метод оцінювання репутації медичної установи (як майнера блокчейну).

Для першого експерименту значення довжини поточного блокчейну  $lb = 110$ ; значення розміру блоку в поточному блокчейні  $sbl = 10$ ; тоді кількість

блоків у поточному блокчейні:  $kbl = \frac{lb}{sbl} = \frac{110}{10} = 11$ ; кількість медичних транзакцій

у блокчейні  $kmtr = 40$ ; кількість транзакцій реєстру в блокчейні  $krtr = 50$ ;

кількість медичних транзакцій для кожного блоку, одержувачем яких є розглядувана медична установа,

$mtr_1 = 2, mtr_2 = 1, mtr_3 = 2, mtr_4 = 3, mtr_5 = 4, mtr_6 = 3, mtr_7 = 1,$

$mtr_8 = 5, mtr_9 = 1, mtr_{10} = 5, mtr_{11} = 3$ ; кількість транзакцій реєстру для кожного

блоку, одержувачем яких є розглядувана медична установа,

$rtr_1 = 3, rtr_2 = 5, rtr_3 = 2, rtr_4 = 1, rtr_5 = 3, rtr_6 = 4, rtr_7 = 6, rtr_8 = 1, rtr_9 = 7, rtr_{10} = 1, rtr_{11} = 2$ ;

оцінка майнера в форматі логічної змінної  $f = 1$ , оскільки дана медична установа

зарекомендувала себе чесним майнером; параметри репутації системи ( $\alpha = 0.75, \lambda = 0.85$ ).

Тоді середнє значення  $mean_{rtr} = \frac{\sum_{i=1}^{kbl} rtr_i}{krtr} = \frac{35}{50} = 0.7$ ; середнє значення

$mean_{mtr} = \frac{\sum_{i=1}^{kbl} mtr_i}{kmtr} = \frac{30}{40} = 0.75$ ; стандартне відхилення

$\sigma_{rtr} = \sqrt{\frac{1}{kbl} \cdot \left( \frac{\sum_{i=1}^{kbl} rtr_i}{sbl} - \frac{\sum_{i=1}^{kbl} rtr_i}{krtr} \right)^2} = \sqrt{\frac{1}{11} \cdot \left( \frac{35}{10} - \frac{35}{50} \right)^2} = 0.85$ ; стандартне відхилення

$\sigma_{mtr} = \sqrt{\frac{1}{kbl} \cdot \left( \frac{\sum_{i=1}^{kbl} mtr_i}{sbl} - \frac{\sum_{i=1}^{kbl} mtr_i}{kmtr} \right)^2} = \sqrt{\frac{1}{11} \cdot \left( \frac{30}{10} - \frac{30}{40} \right)^2} = 0.68$ ; значення

$q_1 = \frac{mean_{rtr}}{1 + \sigma_{rtr}} = \frac{0.7}{1 + 0.85} = 0.38$ ; значення  $q_2 = \frac{mean_{mtr}}{1 + \sigma_{mtr}} = \frac{0.75}{1 + 0.68} = 0.45$ ; значення

$x = q_1 \cdot q_2 \cdot lb = 0.38 \cdot 0.45 \cdot 110 = 18.81$ .

Визначимо  $f(x) = \frac{1}{2} \cdot \left( 1 + \frac{x - \alpha}{\lambda + |x - \alpha|} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left( 1 + \frac{18.81 - 0.75}{0.85 + |18.81 - 0.75|} \right) = 0.98$ . Тоді

репутацію медичної установи (як майнера блокчейну):

$R = \min(1, f \cdot f(x)) = \min(1, 1 \cdot 0.98) = 0.98$ . Отже, репутація та довіра до медичної установи (сімейної амбулаторії №1) як до майнера блокчейну в даному випадку є високою.

Для другого експерименту значення довжини поточного блокчейну  $lb = 1020$ ; значення розміру блоку в поточному блокчейні  $sbl = 102$ ; тоді кількість

блоків у поточному блокчейні:  $kbl = \frac{lb}{sbl} = \frac{1020}{102} = 10$ ; кількість медичних

транзакцій у блокчейні  $kmtr = 70$ ; кількість транзакцій реєстру в блокчейні

$krtr = 85$ ; кількість медичних транзакцій для кожного блоку, одержувачем яких є розглядувана медична установа,  $mtr_1 = 3, mtr_2 = 5, mtr_3 = 8, mtr_4 = 3, mtr_5 = 2,$

$mtr_6 = 4, mtr_7 = 6, mtr_8 = 5, mtr_9 = 10, mtr_{10} = 1$ ; кількість транзакцій реєстру для кожного блоку, одержувачем яких є розглядувана медична установа,

$$rtr_1 = 10, rtr_2 = 9, rtr_3 = 7, rtr_4 = 5, rtr_5 = 3, rtr_6 = 5, rtr_7 = 6, rtr_8 = 2, rtr_9 = 4, rtr_{10} = 1;$$

оцінка майнера в форматі логічної змінної  $f = 0$ , оскільки дана медична установа досі не зарекомендувала себе чесним майнером; параметри репутації системи ( $\alpha = 0.75, \lambda = 0.85$ ).

$$\text{Тоді середнє значення } mean_{rtr} = \frac{\sum_{i=1}^{kbl} rtr_i}{krtr} = \frac{52}{85} = 0.61; \text{ середнє значення}$$

$$mean_{mtr} = \frac{\sum_{i=1}^{kbl} mtr_i}{kmtr} = \frac{47}{70} = 0.67; \quad \text{стандартне відхилення}$$

$$\sigma_{rtr} = \sqrt{\frac{1}{kbl} \cdot \left( \frac{\sum_{i=1}^{kbl} rtr_i}{sbl} - \frac{\sum_{i=1}^{kbl} rtr_i}{krtr} \right)^2} = \sqrt{\frac{1}{10} \cdot \left( \frac{52}{102} - \frac{52}{85} \right)^2} = 0.03; \quad \text{стандартне відхилення}$$

$$\sigma_{mtr} = \sqrt{\frac{1}{kbl} \cdot \left( \frac{\sum_{i=1}^{kbl} mtr_i}{sbl} - \frac{\sum_{i=1}^{kbl} mtr_i}{kmtr} \right)^2} = \sqrt{\frac{1}{10} \cdot \left( \frac{47}{102} - \frac{47}{70} \right)^2} = 0.06; \quad \text{значення}$$

$$q_1 = \frac{mean_{rtr}}{1 + \sigma_{rtr}} = \frac{0.61}{1 + 0.03} = 0.59; \quad \text{значення} \quad q_2 = \frac{mean_{mtr}}{1 + \sigma_{mtr}} = \frac{0.67}{1 + 0.06} = 0.63; \quad \text{значення}$$

$$x = q_1 \cdot q_2 \cdot lb = 0.59 \cdot 0.63 \cdot 1020 = 379.13.$$

$$\text{Визначимо } f(x) = \frac{1}{2} \cdot \left( 1 + \frac{x - \alpha}{\lambda + |x - \alpha|} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left( 1 + \frac{379.13 - 0.75}{0.85 + |379.13 - 0.75|} \right) = 0.99.$$

Тоді репутацію медичної установи (як майнера блокчейну):  
 $R = \min(1, f \cdot f(x)) = \min(1, 0 \cdot 0.99) = 0$ . Отже, репутація та довіра до медичної установи (сімейної амбулаторії №2) як до майнера блокчейну в даному випадку є надзвичайно низькою.

### 4.3 Висновки

В розділі проведено аналіз архітектур відомих систем керування медичними даними на основі блокчейн-технологій, а також розроблено архітектуру системи для керування медичними даними на основі розроблених у розділі 3 методів та алгоритмів оцінювання достатності медичних даних (блок оцінювання достатності медичних даних), виконання транзакцій над медичними даними (блок виконання транзакцій над медичними даними), оцінювання репутації медичної установи як майнера блокчейну (блок оцінювання репутації медичної установи).

В цьому розділі також проведено експерименти із керування медичними даними на основі блокчейн-технологій з використанням розроблених у розділі 3 методів та алгоритмів – експерименти з оцінювання достатності медичних даних (отриманих для прикладу від двох різних амбулаторій сімейної медицини), а також експерименти з оцінювання репутації медичної установи (наприклад, двох різних амбулаторій сімейної медицини) – як майнера блокчейну.

## ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень реалізовано підвищення ефективності керування медичними даними шляхом розроблення методів керування медичними даними на основі блокчейн-технологій.

У першому розділі проведено аналіз відомих методів та рішень для керування медичними даними на основі блокчейн-технологій, зокрема, проаналізовано відомі методи та інформаційні технології для керування медичними даними, проведено дослідження типів та можливостей блокчейн-технологій, виконано дослідження застосування блокчейн-технологій при побудові інформаційних технологій для керування медичними даними. На основі проведеного аналізу були зроблені висновки щодо актуальності та необхідності підвищення ефективності керування медичними даними шляхом розроблення методів керування медичними даними на основі блокчейн-технологій та виконано постановку задачі дипломної роботи.

У другому розділі проведено моделювання процесу керування медичними даними, зокрема, проведено моделювання руху інформаційних потоків в процесі керування медичними даними, моделювання процесу керування медичними даними з точки зору оцінювання достатності медичних даних та виконання транзакцій над медичними даними.

У третьому розділі розроблено методи керування медичними даними на основі блокчейн-технологій, зокрема, розроблено метод оцінювання достатності медичних даних, метод виконання транзакцій над медичними даними, алгоритми керування медичними даними на основі блокчейн-технологій.

У четвертому розділі показано особливості керування медичними даними на основі блокчейн-технологій. Розроблено архітектуру системи керування медичними даними на основі блокчейн-технологій, проведено експерименти із керування медичними даними на основі блокчейн-технологій – експерименти з оцінювання достатності медичних даних (отриманих для прикладу від двох різних

амбулаторій сімейної медицини), а також експерименти з оцінювання репутації медичної установи (наприклад, двох різних амбулаторій сімейної медицини).

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розробленні методів керування медичними даними на основі блокчейн-технологій, котрі дозволяють оцінити множину медичних даних та занести їх в блокчейн (за умови дотримання всіх необхідних вимог):

1) вперше розроблені моделі блоку блокчейну, фрагменту блокчейну та вузла блокчейну, представлені у формалізованому та схематичному вигляді, а також моделі процесу керування медичними даними (оцінювання достатності даних та виконання транзакцій над медичними даними), які є теоретичним підґрунтям для розроблення методу керування медичними даними на основі блокчейн-технологій;

2) вперше розроблено метод оцінювання достатності медичних даних, який забезпечує: можливість аналізу множини медичних даних на предмет їх достатності; можливість кількісного оцінювання достатності медичних даних; в разі недостатності медичних даних у множині, формування рекомендацій щодо доповнення множини медичних даних – як керівництво, яку інформацію слід додати у множину медичних даних для можливості їх завантаження в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну;

3) вперше розроблено метод виконання транзакцій над медичними даними, який складається з етапів занесення інформації до блокчейну та отримання інформації з блокчейну. Розроблений метод виконання транзакцій над медичними даними забезпечує: можливість прийняття рішення про додавання транзакції та медичних даних від пацієнта у блокчейн; можливість прийняття рішення про видачу даних з блокчейну за запитом від лікаря.

Практична значущість отриманих результатів полягає у:

1) розробленні схеми мережі блокчейну, яка візуалізує взаємозв'язки між вузлами, блоками, смарт-контрактом та proof-of-work завданнями блокчейну;

2) розробленні правил для визначення достатності медичних даних, які забезпечують аналіз медичних даних на предмет відшукання всіх наперед

визначених необхідних елементів медичних даних; прийняття рішення про достатність або недостатність інформації; виведення візуалізованих підказок, яких елементів даних не вистачає, для забезпечення можливості швидкого доповнення даних; кількісну оцінку достатності медичних даних;

3) розробленні архітектури системи керування медичними даними на основі блокчейн-технологій, а також у проєктуванні та реалізації її окремих модулів.

За темою дипломної роботи опублікована одна стаття у закордонному науковому виданні, що індексується в наукометричній базі Scopus, 1 тези доповіді, подано до друку одну статтю у закордонному науковому виданні, що індексується в наукометричній базі Scopus (додаток А), та взято участь у 4-th International Conference on Informatics & Data-Driven Medicine (November 19-21 2021, Valencia, Spain), а також у Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні системи та технології в медицині», що проходила 25-26 листопада 2021 р. в НАУ «ХАІ» (м. Харків):

1) Т. Hovorushchenko, Ye. Hnatchuk, A. Herts, A. Moskalenko, V. Osyadlyi. Theoretical and Applied Principles of Information Technology for Supporting Medical Decision-Making Taking into Account the Legal Basis. CEUR-WS. 2021. Vol. 3038. Pp. 172-181.

2) Т. Hovorushchenko, A. Moskalenko, V. Osyadlyi. Methods of Medical Data Management Based on Blockchain Technologies. Journal of Reliable Intelligent Environments. Special issue on Smart Technologies and its Application for Medical/Healthcare Services. 2022.

3) Москаленко А.О., Говорущенко Т.О., Осядлий В.В. Дослідження рішень для автоматизації роботи лікарів на основі блокчейн-технологій // Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні системи та технології в медицині» ISM–2021 (Харків, 25-26 листопада 2021). С. 42-44.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Adams C., Allen J., Flack F. Data custodians and the decision-making process: releasing data for research. *Journal of Law and Medicine*. 2018. Vol. 26. Issue 2. Pp.433-453.
2. Melnykova N., Shakhovska N., Melnykov V., Melnykova K., Lishchuk-Yakymovych K. Personalized data analysis approach for assessing necessary hospital bed-days built on condition space and hierarchical predictor. *Big Data and Cognitive Computing*. 2021. Vol. 5. Issue 3. Paper 37.
3. Grytsenko O., Pukach P., Suberlyak O., Shakhovska N., Karovič V. Usage of mathematical modeling and optimization in development of hydrogel medical dressings production. *Electronic (Switzerland)*. 2021. Vol. 10. Issue 5. Pp. 1-10.
4. Berezsky O., Dubchak L., Batryn N., Datsko T., Berezska K., Pitsun O., Batko Y. Fuzzy system for breast disease diagnosing based on image analysis. *CEUR-WS*. 2019. Vol. 2488. Pp. 69-83.
5. Mitchell C., Ploem C. Legal challenges for the implementation of advanced clinical digital decision support systems in Europe. *Journal of Clinical and Translational Research*. 2018. Vol. 3. Pp. 424-430.
6. Iftikhar P., Kuijpers M., Khayyatt A., Iftikhar A., De Sa M. Artificial intelligence: A new paradigm in obstetrics and gynecology research and clinical practice. *Cureus*. 2020. Vol. 12. Issue 2. Paper e7124.
7. Hovorushchenko T., Pomorova O. Information Technology of Evaluating the Sufficiency of Information on Quality in the Software Requirements Specifications. *CEUR-WS*. 2018. Vol. 2104. Pp. 555-570.
8. Drozd A., Drozd M., Antonyuk V. Features of Hidden Fault Detection in Pipeline Components of Safety-Related System. *CEUR-WS*. 2015. Vol. 1356. Pp. 476–485.
9. Hovorushchenko T. Methodology of Evaluating the Sufficiency of Information for Software Quality Assessment According to ISO 25010. *Journal of Information and Organizational Sciences*. 2018. Vol. 42. Issue 1. Pp. 63-85.

10. Drozd O., Zashcholkin K., Martynyuk O., Ivanova O., Drozd J. Development of Checkability in FPGA Components of Safety-Related Systems. *CEUR-WS*. 2020. Vol. 2762. Pp. 30-42.

11. Hovorushchenko T., Pavlova O. Evaluating the Software Requirements Specifications Using Ontology-Based Intelligent Agent. *2018 International Scientific and Technical Conference "Computer Science and Information Technologies": Proceedings*. Lviv (Ukraine), 2018. Vol. 1. Pp. 215-218.

12. Izonin I., Tkachenko R., Kryvinska N., Zub K., Mishchuk O., Lisovych T. Recovery of Incomplete IoT Sensed Data using High-Performance Extended-Input Neural-Like Structure. *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 160. Pp. 521–526.

13. Hovorushchenko T., Pavlova O., Medzaty D. Ontology-Based Intelligent Agent for Determination of Sufficiency of Metric Information in the Software Requirements. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 1020. Pp. 447-460.

14. Tkachenko R., Izonin I., Kryvinska N., Chopyak V., Lotoshynska N., Danylyuk D. Piecewise-linear Approach for Medical Insurance Costs Prediction using SGTm Neural-Like Structure. *CEUR-WS*. 2018. Vol. 2255. Pp. 170–179.

15. Cresswell K., Majeed A., Bates D., Sheikh A. Computerised decision support systems for healthcare professionals: An interpretative review. *The Journal of Innovation in Health Informatics*. 2012. Vo. 20. Issue 2. Pp. 115-128.

16. Collen M., Ball M. Medical informatics: past and future. *History of medical informatics in the United States*. 2015. Pp. 725-748.

17. Knight K. Who is the patient? Tensions between advance care planning and shared decision-making. *Journal of Evaluation in Clinical Practice*. 2019. Vol. 25. Issue 6. Pp. 1217-1225.

18. Денисюк В., Денисюк О. Доказова внутрішня медицина. Вінниця: «Інше видавництво», 2011. 928 с.

19. Healthcare Industry interest in Blockchain is heating up, Black Book Survey, Q3. Web-site. URL:

<https://www.newswire.com/files/16/40/321b6089f1b01dfd80433bffb0df.pdf> (Last accessed: January 15, 2022).

20. Hovorushchenko T., Pavlova O., Bodnar M. Development of an intelligent agent for analysis of nonfunctional characteristics in specifications of software requirements. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 1. Issue 2. Pp. 6-17.

21. Khodambashi S., Gulla J., Abrahamsson P., Moser F. Design and development of a mobile decision support system: guiding clinicians regarding law in the practice of psychiatry in emergency department. *IEEE 30-th International Symposium on Computer-Based Medical Systems: Proceedings*. Thessaloniki (Greece), 2017. Pp. 67-72.

22. Khan I., Sher M., Khan J., Saqlain S., Ghani A., Naqvi H., Ashraf M. Conversion of legal text to a logical rules set from medical law using the medical relational model and the world rule model for a medical decision support system. *Informatics-Basel*. 2016. Vol. 3. Issue 1. Paper 2.

23. Varghese J., Schulze S., Suenninghausen F., Dugas M. Standardized quality assurance forms for organ transplantations with multilingual support, open access and UMLS coding. *Studies in Health Technology and Informatics*. 2015. Vol. 212. Pp. 15-22.

24. Rakus-Andersson E., Jain L. Computational intelligence in medical decisions making. *Recent Advances in Decision Making*. 2009. Vol. 222. Pp. 145-159.

25. Nisal A., Diwekar U., Bhalerao V. Personalized medicine for in vitro fertilization procedure using modeling and optimal control. *Journal of Theoretical Biology*. 2020. Vol. 487. Paper 110105.

26. Delbon P. The protection of health in the care and trust relationship between doctor and patient: Competence, professional autonomy and responsibility of the doctor and decision-making autonomy of the patient. *Journal of Public Health Research*. 2018. Vol. 7. Issue 3. Pp. 97-100.

27. Bouvet R. The primacy of the patient's wishes in the medical decision-making procedure established by French law. *European Journal of Health Law*. 2018. Vol. 25. Issue 4. Pp. 426-440.
28. Davoody N., Koch S., Krakau I., Hagglund M. Accessing and sharing health information for post-discharge stroke care through a national health information exchange platform - a case study. *BMC Medical Informatics and Decision Making*. 2019. Vol. 19. Paper 95.
29. AMBOSS: Principles of medical law and ethics. Web-site. URL: [https://www.amboss.com/us/knowledge/Principles\\_of\\_medical\\_law\\_and\\_ethics](https://www.amboss.com/us/knowledge/Principles_of_medical_law_and_ethics) (Last accessed: January 15, 2022).
30. Dugas M., Neuhaus P., Meidt A., Doods J., Storck M., Bruland P., Varghese J. Portal of medical data models: information infrastructure for medical research and healthcare. *Database: The Journal of Biological Databases and Curation*. 2016. Paper bav121.
31. Jin D. Artificial intelligence in radiology. *Artificial Intelligence in Medicine*. 2021. Pp. 265-289.
32. Heinrichs B., Eickhoff S. B. Your evidence? Machine learning algorithms for medical diagnosis and prediction. *Human Brain Mapping*. 2020. Vol. 41, No. 6. Pp. 1435-1444.
33. Puttagunta M., Ravi S. Medical image analysis based on deep learning approach. *Multimedia Tools and Applications*. 2021. Vol. 80, No. 16. Pp. 24365-24398.
34. Chandra T., Verma K. Pneumonia detection on chest X-Ray using machine learning paradigm. *3rd International Conference on Computer Vision and Image Processing: Proceedings*. Singapore, 2019. Pp. 21-33.
35. Rajpurkar Pp. Deep learning for chest radiograph diagnosis: A retrospective comparison of the CheXNeXt algorithm to practicing radiologists. *PLOS Medicine*. 2018. Vol. 15, No. 11. Pp. e1002686.
36. Tolachev A. Deep learning for diagnosis and segmentation of pneumothorax: The results on the Kaggle competition and validation against

radiologists. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*. 2020. Vol. 25, No. 5. Pp. 1660-1672.

37. Li Y. Accuracy of deep learning for automated detection of pneumonia using chest X-Ray images: A systematic review and meta-analysis. *Computers in Biology and Medicine*. 2020. Vol. 123, No. 1. Pp. 103898.

38. Montagnon E. Deep learning workflow in radiology: A primer. *Insights into Imaging*. 2020. Vol. 11, No. 1. Pp. 22.

39. Что такое блокчейн и как он работает? Веб-сайт. URL: <https://currency.com/ru/что-такое-blockchain-tehnologiya> (дата обращения 15.01.2022).

40. Что такое технология блокчейна? Веб-сайт. URL: <https://www.ibm.com/ru-ru/topics/what-is-blockchain> (дата обращения 15.01.2022).

41. Zeng Y., Zhang Y. Review of research on blockchain application development method. *Journal of Physics Conference Series*. 2019. Vol. 1187. Article Number 052005.

42. Xu Z., Zou C. What can blockchain do and Cannot do? *China Economic Journal*. 2021. Vol. 14. Issue 1. Pp. 4-25.

43. Pal O., Alam B., Thakur V., Singh S. Key management for blockchain technology. *ICT Express*. 2021. Vol. 7. Issue 1. Pp. 76-80.

44. Zheng Z., Xie S., Dai H., Chen X., Wang H. Blockchain challenges and opportunities: a survey. *International Journal of Web and Grid Services*. 2018. Vol. 14. Issue 4. Pp. 352-375.

45. Yang L. The blockchain: State-of-the-art and research challenges. *Journal of Industrial Information Integration*. 2019. Vol. 15. Pp. 80-90.

46. Tasatanattakool P., Techapanupreeda C. Blockchain: Challenges and Applications. *2018 IEEE 32nd International Conference on Information Networking: Proceedings*. Chiang Mai (Thailand), 2018. Pp. 473-475.

47. Sanka A., Cheung R. A systematic review of blockchain scalability: Issues, solutions, analysis and future research. *Journal of Network and Computer Applications*. 2021. Vol. 195. Article Number 103232.

48. Li W., He M., Sang H. An Overview of Blockchain Technology: Applications, Challenges and Future Trends. *2021 IEEE 11th International Conference On Electronics Information and Emergency Communication: Proceedings*. Beijing, 2021. Pp. 31-39.
49. Syed T., Alzahrani A., Jan S., Siddiqui M., Nadeem A., Alghamdi T. A Comparative Analysis of Blockchain Architecture and Its Applications: Problems and Recommendations. *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. Pp. 176838-176869.
50. Zheng Z., Xie S., Dai H., Chen X., Wang H. An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends. *2017 IEEE 6th International Congress on Big Data: Proceedings*. Honolulu, 2017. Pp. 557-564.
51. Alexander C., Wang L. Cybersecurity, Information Assurance, and Big Data Based on Blockchain. *IEEE SoutheastCon-Proceedings*, 2019.
52. Li X., Jiang P., Chen T., Luo X., Wen Q. A survey on the security of blockchain systems. *Future Generation Computer Systems-The International Journal of Esience*. Vol. 107. Pp. 841-853.
53. Panda S., Mohanta B., Satapathy U., Jena D., Gountia D., Patra T. Study of Blockchain Based Decentralized Consensus Algorithms. *2019 IEEE Region 10 Conference: Technology, Knowledge and Society: Proceedings*. Kochi (India), 2019. Pp. 908-913.
54. Централізований і децентралізований Blockchain. Веб-сайт. URL: <https://guland.com.ua/kryptovalyuta/blockchain/tsentralizovanyy-i-detsentralizovanyy-blokcheyn.htm> (дата обращения 15.01.2022).
55. Kuo T., Rojas H., Ohno-Machado L. Comparison of blockchain platforms: a systematic review and healthcare examples. *Journal of the American Medical Informatics Association*. 2019. Vol. 26. Issue 5. Pp. 462-478.
56. Blockchain technologies in medicine: pros and how to implement in Ukraine. Web-site. URL: <https://novilidery.com/news/blokcheyn-tekhnologii-v-medicini-plyusi-i-yak-vprovaditi-v-ukraini> (Last accessed: January 15, 2022).

57. Transform healthcare outcomes with the simplicity of IBM Blockchain. Web-site. URL: <https://www.ibm.com/downloads/cas/DQPLDP8N> (Last accessed: January 15, 2022).

58. The MediLedger Network. Web-site. URL: <https://www.mediledger.com/> (Last accessed: January 15, 2022).

59. Dutch REshape Center Develops Blockchain Health Proof of Concept with SNS Bank and Deloitte. Web-site. URL: <https://www.the-blockchain.com/2016/05/28/dutch-reshape-center-develops-blockchain-health-proof-of-concept-with-sns-bank-and-deloitte/> (Last accessed: January 15, 2022).

60. Healthchai. Web-site. URL: <https://healthchain.io/> (Last accessed: January 15, 2022).

61. Digital healthcare, simplified. Web-site. URL: <https://www.iryio.io/> (Last accessed: January 15, 2022).

62. Carex Blockchain Platform Information. Web-site. URL: [https://rocketreach.co/carex-blockchain-platform-profile\\_b44cebbdfd4ce94b](https://rocketreach.co/carex-blockchain-platform-profile_b44cebbdfd4ce94b) (Last accessed: January 15, 2022).

63. Smart Healthcare Today (SHC). Web-site. URL: <https://www.coingecko.com/ru/%D0%9A%D1%80%D0%B8%D0%BF%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D1%8E%D1%82%D1%8B/smart-healthcare-today> (Last accessed: January 15, 2022).

64. Start Your Future Today. Web-site. URL: <https://www.mitio.org/> (Last accessed: January 15, 2022).

65. Global Labs Inc. Web-site. URL: <https://www.bloomberg.com/profile/company/0035027D:US> (Last accessed: January 15, 2022).

66. Clinicoin. Web-site. URL: <https://clinicoin.io/en> (Last accessed: January 15, 2022).

67. Quanth.io. Web-site. URL: <http://ww25.quanth.io/?subid1=20210916-2154-594a-ac0a-b08ce54dfd9e> (Last accessed: January 15, 2022).

68. Your health at your fingertips. Web-site. URL: <https://patientory.com/> (Last accessed: January 15, 2022).
69. Welcome to Synthium Health. Web-site. URL: <https://tge.synthiumhealth.com/> (Last accessed: January 15, 2022).
70. What is Medrec? Web-site. URL: <https://medrec.media.mit.edu/> (Last accessed: January 15, 2022).
71. Healthcare. Web-site. URL: <https://e-estonia.com/solutions/healthcare/e-prescription> (Last accessed: January 15, 2022).
72. Openlongevity.io. Web-site. URL: <http://openlongevity.io/> (Last accessed: January 15, 2022).
73. Medicalchain: Own Your Health. Web-site. URL: <https://medicalchain.com/en/> (Last accessed: January 15, 2022).
74. BurstIQ: Research Foundry. Web-site. URL: <https://www.burstiq.com/> (Last accessed: January 15, 2022).
75. GeneBlockChain. Web-site. URL: <https://www.geneblockchain.org/> (Last accessed: January 15, 2022).
76. Bowhead Health: Enhance Your Health. Web-site. URL: <https://bowheadhealth.com/> (Last accessed: January 15, 2022).
77. Pokitdok. Web-site. URL: <https://www.crunchbase.com/organization/pokitdok> (Last accessed: January 15, 2022).
78. DokChain by PokitDok—Blockchain for Healthcare. Web-site. URL: <https://ventures.mckesson.com/dokchain-pokitdok-blockchain-healthcare/> (Last accessed: January 15, 2022).
79. Healthcombix.com. Web-site. URL: <http://ww1.healthcombix.com/> (Last accessed: January 15, 2022).
80. Symptomatic: Longitudinal Timeline. Web-site. URL: <https://www.symptomatic.io/marketing-page> (Last accessed: January 15, 2022).
81. Docademic. Web-site. URL: <https://www.crunchbase.com/organization/docademic> (Last accessed: January 15, 2022).

82. Doc Coin: Cryptocurrency and Blockchain Blog. Web-site. URL: <https://www.doc-coin.com/ru> (Last accessed: January 15, 2022).
83. Flexible jobs for the modern nurse. Web-site. URL: <https://www.trustedhealth.com/> (Last accessed: January 15, 2022).
84. PointNurse. Web-site. URL: <https://www.pointnurse.com/> (Last accessed: January 15, 2022).
85. Skychain. Web-site. URL: <https://skychain.global/> (Last accessed: January 15, 2022).
86. DeepRadiology: ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO REVOLUTIONIZE MEDICAL IMAGING. Web-site. URL: <https://www.deepradiology.com/> (Last accessed: January 15, 2022).
87. EHF: eHealth First. Web-site. URL: <https://ehfirst.io/> (Last accessed: January 15, 2022).
88. SolveCare: BLOCKCHAIN PLATFORM FOR DIGITAL HEALTH NETWORKS. Web-site. URL: <https://solve.care/> (Last accessed: January 15, 2022).
89. Luven. Web-site. URL: <https://luvenmed.io/connexion.php> (Last accessed: January 15, 2022).
90. Healthmonitor.io. Web-site. URL: <https://www.healthmonitor.io/en/> (Last accessed: January 15, 2022).
91. Elcoin: BLOCKCHAIN INTELLIGENT MEDICINE. Web-site. URL: <https://elcoin.io/> (Last accessed: January 15, 2022).
92. Westphal E., Seitz H. Digital and Decentralized Management of Patient Data in Healthcare Using Blockchain Implementations. *Frontiers in Blockchain*. 2021. Vol.4. Article Number 732112.
93. Kim S., Huh J. Artificial Neural Network Blockchain Techniques for Healthcare System: Focusing on the Personal Health Records. *Electronics*. 2020. Vol. 9. Issue 5. Article Number 763.
94. Chen Y., Meng L., Zhou H., Xue G. A Blockchain-Based Medical Data Sharing Mechanism with Attribute-Based Access Control and Privacy Protection.

*Wireless Communications & Mobile Computing*. 2021. Vol. 2021. Article number 6685762.

95. Zhang L., Peng M., Wang W., Su Y., Cui S., Kim S. Secure and Efficient Data Storage and Sharing Scheme Based on Double Blockchain. *CMC-Computers Materials & Continua*. 2021. Vol. 66. Issue 1. Pp. 499-515.

96. Chen F., Huang J., Wang C., Tang Y., Huang C., Xie D., Wang T., Zhao C. Data Access Control Based on Blockchain in Medical Cyber Physical Systems. *Security and Communication Networks*. 2021. Vol. 2021. Article number 3395537.

97. Cao Y., Sun Y., Min J. Hybrid blockchain-based privacy-preserving electronic medical records sharing scheme across medical information control system. *Measurement & Control*. 2020. Vol. 53. Issue 7-8. Pp. 1286-1299.

98. Kim T., Lee S., Chang D., Koo J., Kim T., Yoon K., Choi I. DynamiChain: Development of Medical Blockchain Ecosystem Based on Dynamic Consent System. *Applied Sciences-Basel*. 2021. Vol. 11. Issue 4. Article number 1612.

99. Zou R., Lv X., Zhao J. SPChain: Blockchain-based medical data sharing and privacy-preserving eHealth system. *Information Processing & Management*. 2021. Vol. 58. Issue 4. Article number 102604.

100. Hovorushchenko T., Hnatchuk Y., Herts A. Decision-Making about Conclusion of Contractual Obligations in the Field of Medical Services. *CEUR-WS*. 2020. Vol. 2753. Pp. 142-148.

## ДОДАТОК А

### КОПІ СТАТЕЙ У ЗАКОРДОННИХ НАУКОВИХ ВИДАННЯХ ТА ТЕЗ ДОПОВІДІ НА МІЖНАРОДНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ

1) T. Hovorushchenko, Ye. Hnatchuk, A. Herts, A. Moskalenko, V. Osyadlyi. Theoretical and Applied Principles of Information Technology for Supporting Medical Decision-Making Taking into Account the Legal Basis. CEUR-WS. 2021. Vol. 3038. Pp. 172-181.

2) T. Hovorushchenko, A. Moskalenko, V. Osyadlyi. Methods of Medical Data Management Based on Blockchain Technologies. Journal of Reliable Intelligent Environments. Special issue on Smart Technologies and its Application for Medical/Healthcare Services. 2022.

3) Москаленко А.О., Говорущенко Т.О., Осядлий В.В. Дослідження рішень для автоматизації роботи лікарів на основі блокчейн-технологій // Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні системи та технології в медицині» ISM–2021 (Харків, 25-26 листопада 2021). С. 42-44.

# Theoretical and Applied Principles of Information Technology for Supporting Medical Decision-Making Taking into Account the Legal Basis

Tetiana Hovorushchenko<sup>a</sup>, Yelyzaveta Hnatchuk<sup>a</sup>, Alla Herts<sup>b</sup>, Artem Moskalenko<sup>c</sup> and Vitaliy Osyadlyi<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Khmelnytskyi National University, Institutska str., 11, Khmelnytskyi, 29016, Ukraine

<sup>b</sup> Ivan Franko National University of Lviv, Universytetska str., 1, Lviv, 79000, Ukraine

<sup>c</sup> Academician Yuriy Bugay International Scientific and Technical University, Magnitogorsk lane, 3, Kyiv, 02094, Ukraine

## Abstract

The structure and principle of application of the methodology for supporting the medical decision-making taking into account the legal basis, as well as the scheme of application of information technology for supporting the medical decision-making considering the legal basis were developed in the paper. The developed methodology for supporting the medical decision-making taking into account the legal basis provides: support for decision-making on the possibility of using the reproductive technologies, donation and transplantation, provision of therapeutic services, dental services, and general medical services; automation of semantic analysis of medical contracts; formation of conclusions on the possibility or impossibility of concluding the appropriate contract; providing a request with a list of essential conditions in the contract, due to the absence of which a decision was made on the impossibility of concluding a particular contract; guaranteeing the existence of all essential conditions in the contract, if a decision has been made on the possibility of concluding a certain contract; minimizing the influence of the human factor in making medical decisions. Experimental results of verification of medical contracts using the developed methodology and information technology showed that from 20% to 54% of medical contracts do not have all the necessary essential conditions, i.e. are incorrect and cannot be concluded without revision. Thus, the developed methodology and information technology provide an opportunity for clinics and patients to avoid signing incorrectly executed contracts without proper essential conditions that could have negative consequences for both patients and clinics.

## Keywords

Medical decision-making, contract for the provision of medical services, blockchain-based information technology for healthcare system, methodology for supporting the medical decision-making taking into account the legal basis

## 1. Introduction

Today, health care decision-making processes are time-consuming and complex [1]. The productivity of health professionals can be increased through the use of decision support systems (DSS) and information technology (IT) [2]. The use of medical IT and DSS provides doctors with up-to-date information in the field of medicine, increases the efficiency of the use of relevant medical resources, increases productivity, integrates Ukrainian medicine into the world medical space [3, 4].

IDDM-2021: 4th International Conference on Informatics & Data-Driven Medicine, November 19–21, 2021, Valencia, Spain  
 EMAIL: tat\_yana@ukr.net (T. Hovorushchenko); liza\_veta@ukr.net (Ye. Hnatchuk); agerc@ukr.net (A. Herts); a.moskalenko@istu.edu.ua (A. Moskalenko); vitalik9865@gmail.com (V. Osyadlyi)  
 ORCID: 0000-0002-7942-1857 (T. Hovorushchenko); 0000-0003-2989-3183 (Ye. Hnatchuk); 0000-0002-3310-3159 (A. Herts); 0000-0001-7433-3105 (A. Moskalenko); 0000-0001-7861-4684 (V. Osyadlyi)



© 2021 Copyright for this paper by its authors.  
 Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).  
 CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org)

IT helps in decision-making, which is especially important in the modern era of "evidence-based" medicine [5]. IT can decrease medical errors, can provide more dependable solutions, and can reduce healthcare costs [11]. In addition, cross-disciplinary medical ITs [7-14] are very useful, but at the same time difficult to design (for example, IT for medical law, as many health problems have legal roots [15]).

One of the most important civil law institutions for the field of medical law is service contracts. The contract on the provision of various medical services (therapeutic, dental, reproductive technology services, transplantation, and donation services) is the most important and common basis for the emergence of legal relations for the provision of certain types of medical services. Again, the use of medical IT significantly increases the correctness of the contract from a legal point of view, protects the doctor and patient from legal conflicts, provides a quick and free check of all essential terms in the contract, as well as provides recommendations for the further concluding or non-concluding the contract [ 2, 16, 17].

Thus, the development of theoretical and applied principles of information technology for supporting medical decision-making taking into account the legal basis is currently an urgent problem for Ukraine.

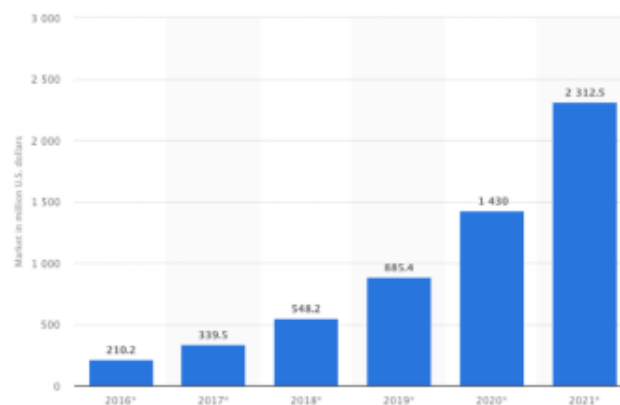
## 2. State of the Art

Currently, more and more researchers are paying attention to the problem of developing theoretical and applied principles of information technology for supporting medical decision-making taking into account the legal basis.

Thus, paper [18] discusses decision support systems designed to improve the quality and safety of health care by supporting physicians in decision-making. In [16], the authors conducted state-of-the-art on known decisions for supporting the making of medical decisions based on legal grounds based on the introduced by the authors 7 criteria, analyzed more than 30 known methods and tools and found that none of the known solutions meet all 7 criteria in the complex and cannot be fully applicable to the field of medical law.

Recently, increased attention to the technology of distributed registries has led to an understanding of the potential of blockchain technologies in the construction of information technology for the health care system. The main boom in blockchain projects in medicine is in the United States. The general picture of the use of blockchain technologies for medical IT is as follows – Figure 1.

**Size of the blockchain technology market worldwide from 2016 to 2021 (in million U.S. dollars)**



**Figure 1:** The extent of using blockchain technologies for medical information technologies [19]

Let's explore the known solutions for the healthcare industry based on blockchain technologies.

All existing projects on the use of blockchain technology in the field of health care can be divided into several areas:

1. Origin tracking – the use of a distributed registry to regulate pharmaceutical supplies and track medicines:
  - The MediLedger Project [20] – an open network to regulate the supply of pharmaceuticals in order to reduce compliance costs, increase safety, improve the overall business activity of the pharmaceutical supply chain, and stop the supply of counterfeit drugs
  - Prescription project [21] – use of iDIN, an online authentication service used in Internet banking, as a means of connecting to a blockchain for patients to choose their own health care provider without intermediaries, as well as to track the origin of prescriptions
2. Data storage and management – in the field of health care, the issue of information management is very important; healthcare professionals work on a daily basis with data that requires careful handling, anonymity, correct transmission, as well as special rules for granting access to medical data, a special rights management algorithm. This is the most popular area of development in medicine, so there are more than 20 solutions for the storage and management of medical data based on blockchain technology:
  - Healthchain system [22] for storing personal medical records; presented in the form of graphs information about the health of patients helps professionals to improve treatment methods, attract customers, increase profits, avoid losses and reduce the cost of administrative resources
  - IRYO platform [23] for storage and control by patients of electronic medical records based on the EOS blockchain, provides secure storage of health data under the full control of the patient
  - CareX project [24] for making payments in the field of health care through CareX's own token; a project that solves the problem of cross-border transfers of funds in medical tourism
  - SmartHealthCareToday platform [25] for storage of personal medical data, integration of EHR and PHR standards, which contain information about the patient's life, his activities, and regular measurements of medical indicators; provides health data to health facilities to improve treatment
  - Accredited online program The Medical Interpreting and Translating Institute Online [26] for teaching medical translation; MiTio offers an online course available through the app and in a web version
  - GlobalLabs platform [27] for blockchain-based healthcare research and development; database/catalog of researchers with a description of their capabilities for institutions interested in research and development
  - Decentralized platform Clinicoin [28], which rewards participants for maintaining a healthy lifestyle; information and personal medical data are stored in the system, which allows it to track results and develop individual plans; participants receive tokens for performing "healthy" actions
  - QuantH system [29] for storage and exchange of medical data based on blockchain; all-in-one solution offers a wide range of medical services
  - Patientory system [30] for storage and management of medical data; access to data is opened by means of the application; Patientory connects to any HER system and allows interaction of the physicians, healthcare providers, and consumers
  - Synthium Helath [31] platform for establishing business relationships between medical institutions and suppliers of medical equipment; the platform allows suppliers to expand their market presence, sell goods faster, reducing operating costs
  - MedRec project [32], which creates a blockchain system for medical cards of patients; its function is to register and store medical records in a form that allows patients, doctors, health care providers, and relatives of patients to access the patient's medical record
  - eHelath Estonia project [33] to create a database of Estonian medical cards on a blockchain; provides security in data storage, their transparency, ease of management of the electronic system and the life cycle of medical records
  - startup Open Longevity [34] to develop a diagnostic panel for aging, ie software that allows you to collect and analyze data on health status, age-related changes in the body and based on them to create effective methods for the treatment of aging

- Mediacalchain project [35] for convenient and secure storage of patients' personal data; medical record transactions are placed in a blockchain, and then a smart contract is created, which provides time-limited access to the patient's electronic card
  - BurstIQ system [36] for processing, storage, and transmission of patient medical data; a platform for easy exchange of health information with specialists, research centers, and pharmaceutical companies
  - Gene Blockchain project [37] with an emphasis on the research direction of work; provides access to genetic data, which allows to find the causes of many diseases and develop techniques for their prevention and treatment
  - Decentralized storage Bowhead Health [38] for personal data of users; the repository is controlled exclusively by the patient using a mobile application
  - Pokitdok platform [39], which is gaining experience in the field of healthcare; with its help, you can find health care providers, get information about pricing for medical procedures
  - DokChain project [40] for processing financial and clinical data in the field of health care, providing intelligent and dynamic automation of medical procedures
  - HealthCombix project [41] to structure the work of medical organizations; telemedicine and possible rewards in cryptocurrency for providing data are available on the platform
3. Telemedicine (operational virtual communication with medical professionals) – projects that develop platforms through which the patient can get advice from medical professionals:
- Symptomatic platform [42] for working with big data, compatible with electronic medical cards, and provides telemedicine services via video conferencing; suitable for data management of any chronic disease
  - Docademic platform [43] specializes in telemedicine and connects patients with doctors using video communication; offers recommendations for treatment and diagnosis for doctors, mass access to groups of patients
  - DocCoin project [44] to connect the user through smart contracts with any medical professional in the world who can consult, prescribe treatment and prescribe medication
  - TrustedHealth platform [45] for telemedicine, which is based on blockchain; the system can connect the patient to any medical professional from around the world
  - PointNurse system [46], the main activity of which is telemedicine; allows nurses and members of the support team to conduct direct consultations on primary health care, to assess health, to conveniently share responsibilities
4. Diagnostics – projects in the field of the latest technologies aimed at detecting diseases using blockchain:
- SKYCHAIN blockchain-infrastructure [47], designed to deploy, train and use artificial intelligence in healthcare, as well as to make intelligent diagnostic systems more accessible to consumers, using blockchain to ensure secure transactions between key parties
  - DeepRadiology system [48], which uses deep machine learning to process images obtained by radiation methods;
  - IT platform eHealthFirst [49] for personalized management of medical cards based on the blockchain using artificial intelligence, machine learning, and natural language processing; provides primary diagnosis and formation on its basis of the optimal algorithm of diagnosis, treatment, and prevention
5. Using blockchain to raise funds – projects that seek funding to implement their ideas:
- SolveCare platform [50] for the decentralization of health services, which allows health care providers and insurance companies to interact with customers without intermediaries
  - Luven system [51] for diagnosing cancer at an early stage and a project that supports the development of this technique;
  - Health Monitor device [52] for non-invasive diagnosis of diabetes, gastric ulcer, and lung cancer;
  - Elcoin project [53], which simultaneously develops medical and cosmetic equipment and a decentralized blockchain system to increase the availability of medical services, improve their quality and reliability.

The most popular area for the application of blockchain technology in medicine is data storage and management, for which the largest number of projects is developed that offer solutions for working

with big data. However, the analysis showed that such an important area as support for medical decision-making based on legal grounds is again currently out of the field of attention of developers who offer medical solutions using blockchain technologies, although blockchain technologies could be useful for the protection and management of data on the contracts concluded by the patient, as well as on the contracts proposed for the conclusion.

Given the importance and relevance of the problem of supporting medical decision-making based on legal grounds, *the goal of this research* is to design a methodology and scheme for the application of information technology for supporting medical decision-making taking into account the legal basis.

### **3. Theoretical and Applied Principles of Information Technology for Supporting Medical Decision-Making Taking into Account the Legal Basis**

In order to form the theoretical principles of information technology for supporting medical decision-making taking into account the legal basis, let's develop the methodology for supporting the medical decision-making taking into account the legal basis based on previously proposed by the authors' models and methods [16] - Figure 2. All models and methods that make up the proposed methodology are presented in detail in [16].

The integration of the developed models and methods into the methodology for supporting the medical decision-making taking into account the legal basis provides the following results:

1. Decision-making support on the use of reproductive technologies, donation and transplantation, the provision of therapeutic services, dental services, and general medical services
2. Automation of semantic analysis of contracts – on the basis of the previously developed and presented in [16] rules
3. Forming conclusions on the possibility or impossibility of concluding a contract – on the basis of the previously developed and presented in [16] methods
4. Providing a request with a list of essential conditions in the contract, due to the absence of which a decision was made on the impossibility of concluding a particular contract
5. Guaranteeing the existence of all essential conditions in the contract, if a decision has been made on the possibility of concluding a particular contract
6. Minimization of the influence of the human factor in making medical decisions

In order to form the applied principles of information technology for supporting medical decision-making taking into account the legal basis, let's develop a scheme of application of information technology proposed in [16] – Figure 3.

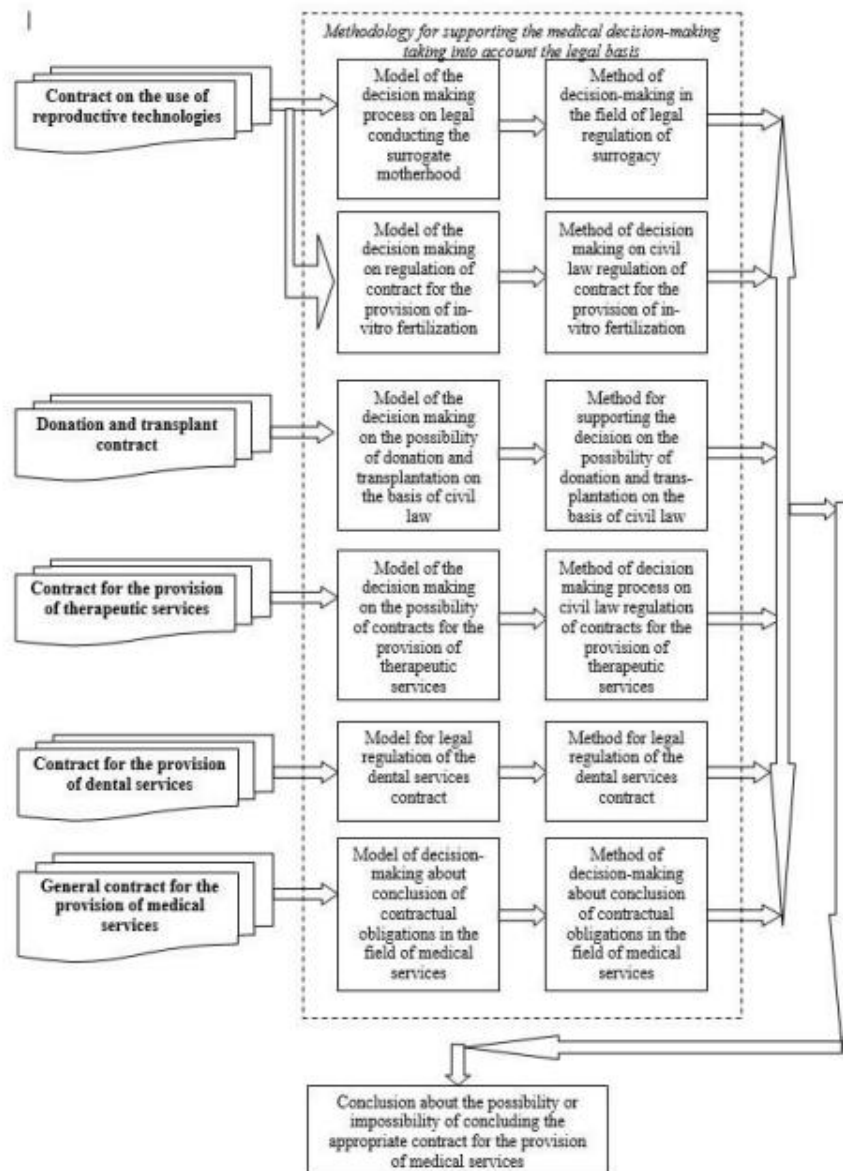
It is obvious from Figure 3 that the input of information technology for supporting medical decision-making taking into account the legal basis is the contract for the provision of medical services, and the result of processing such a contract by the developed information technology is one of two results:

1. Conclusion on the possibility of concluding a processed contract with the subsequent conclusion of this contract
2. Conclusion on the impossibility of concluding a processed contract, then IT provides a request with a list of essential conditions in the contract, due to the absence of which a decision was made on the impossibility of concluding this contract

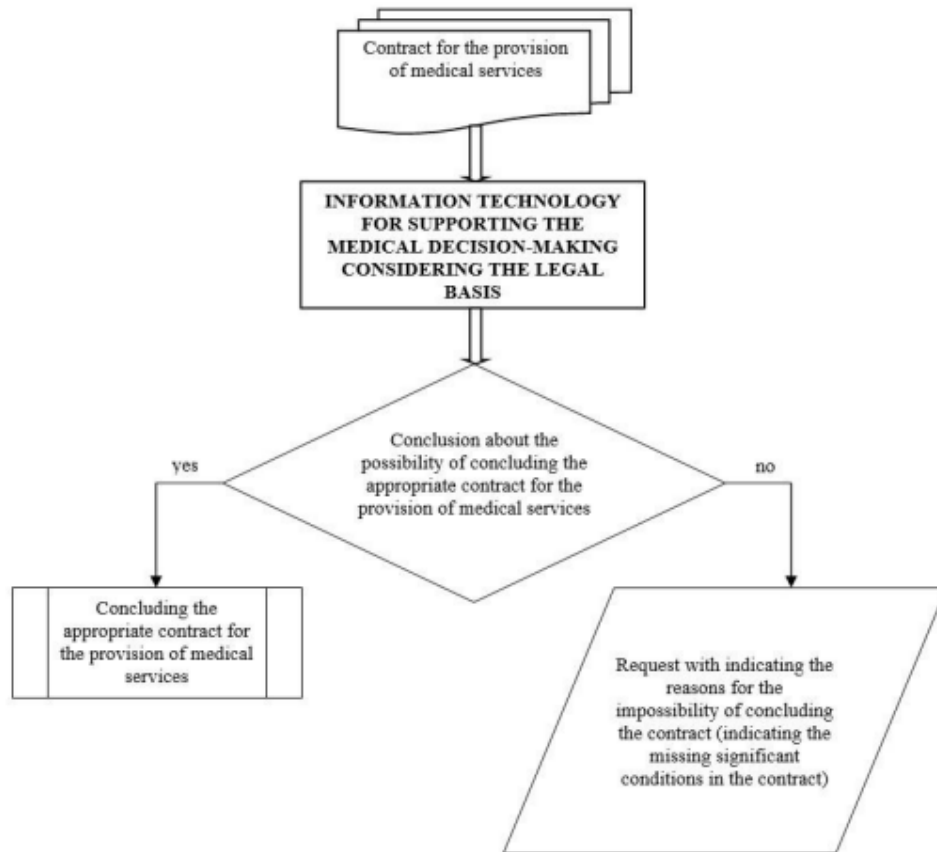
### **4. Results & Discussion**

Let's consider the application of the developed methodology and information technology for supporting the medical decision-making taking into account the legal basis. Let 2 contracts for the provision of therapeutic services are submitted at the IT input. The developed methodology and IT after processing the submitted contracts have formed the set of essential conditions that are missing in the analyzed contracts (on the basis of the previously developed and presented in [16] rules and methods). The set of missing essential conditions for the first contract is empty. The set of missing essential conditions for the second contract  $AP = \{\text{"theoretical principles of work", "duties, rights, and responsibilities of the doctor (medical institution)", "medical history", "general clinical and$

laboratory-instrumental methods of research”, “previous (syndromic) diagnosis”, “functional state of individual organs and systems”) is not empty. Then the developed methodology and IT provided for the first contract a conclusion about the possibility of concluding the contract, after which the contract was concluded, and for the second contract - a conclusion about the impossibility of concluding the contract, after which a request was formed with a list of essential conditions in the contract, due to the absence of which a decision was made on the impossibility of concluding this agreement. Thus, with the help of the developed methodology and IT, the clinic and the patient avoided signing an incorrectly executed contract without proper essential conditions, which could have negative consequences for both the patient and the clinic.



**Figure 2:** Structure and principle of application of methodology for supporting the medical decision-making taking into account the legal basis



**Figure 3:** Scheme of application of information technology for supporting the medical decision-making considering the legal basis

The developed methodology and IT were used to verify 853 general contracts for the provision of medical services. As a result of this analysis (Figure 4) it was found that only 697 of the 853 contracts had all the necessary essential conditions and could be signed without revision, and the remaining 156 contracts did not have all the necessary essential conditions, so they could not be signed without revision, i.e. without the application of the developed methodology and IT, 20% of general contracts for the provision of medical services would not be correct from the point of view of civil law and could lead to negative consequences for both the patient and the clinic.

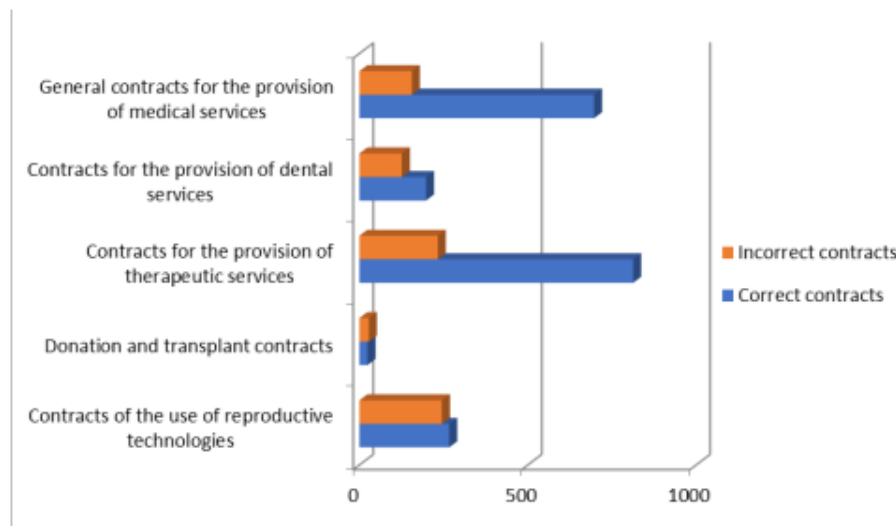
The developed methodology and IT were used to verify 324 contracts for the provision of dental services. As a result of this analysis (Figure 4) it was found that only 198 of the 324 contracts had all the necessary essential conditions and could be signed without revision, and the remaining 126 contracts did not have all the necessary essential conditions, so they could not be signed without revision, i.e. without the application of the developed methodology and IT, 38% contracts for the provision of dental services would not be correct from the point of view of civil law and could lead to negative consequences for both the patient and the clinic.

The developed methodology and IT were used to verify 1046 contracts for the provision of therapeutic services. As a result of this analysis (Figure 4) it was found that only 813 of the 1046 contracts had all the necessary essential conditions and could be signed without revision, and the remaining 233 contracts did not have all the necessary essential conditions, so they could not be signed without revision, i.e. without the application of the developed methodology and IT, 22% contracts for the provision of therapeutic services would not be correct from the point of view of civil law and could lead to negative consequences for both the patient and the clinic.

The developed methodology and IT were used to verify 52 donation and transplant contracts. As a result of this analysis (Figure 4) it was found that only 24 of the 52 contracts had all the necessary essential conditions and could be signed without revision, and the remaining 28 contracts did not have all the necessary essential conditions, so they could not be signed without revision, i.e. without the application of the developed methodology and IT, 54% donation and transplant contracts would not be correct from the point of view of civil law and could lead to negative consequences for both the patient and the clinic.

The developed methodology and IT were used to verify 512 contracts of the use of reproductive technologies. As a result of this analysis (Figure 4) it was found that only 267 of the 512 contracts had all the necessary essential conditions and could be signed without revision, and the remaining 245 contracts did not have all the necessary essential conditions, so they could not be signed without revision, i.e. without the application of the developed methodology and IT, 48% contracts of the use of reproductive technologies would not be correct from the point of view of civil law and could lead to negative consequences for both the patient and the clinic.

Thus, as shown by the results of verification of medical contracts using the developed methodology and information technology, from 20% to 54% of medical contracts do not have all the necessary essential conditions, i.e. are incorrect and cannot be concluded without revision. Thus, the developed methodology and information technology provide an opportunity for the clinic and the patient to avoid signing incorrect contracts without proper essential conditions that could have negative consequences for both patients and clinics.



**Figure 4:** The results of application of the developed methodology and information technology for medical contracts of different types

## 5. Conclusions

The paper proves the importance and relevance of the problem of supporting the medical decision-making, taking into account the legal grounds.

The structure and principle of application of the methodology for supporting the medical decision-making taking into account the legal basis, as well as the scheme of application of information technology for supporting the medical decision-making considering the legal basis were developed in the paper.

The developed methodology for supporting the medical decision-making taking into account the legal basis provides: support for decision-making on the possibility of using the reproductive technologies, donation and transplantation, provision of therapeutic services, dental services, and general medical services; automation of semantic analysis of medical contracts; formation of

conclusions on the possibility or impossibility of concluding the appropriate contract; providing a request with a list of essential conditions in the contract, due to the absence of which a decision was made on the impossibility of concluding a particular contract; guaranteeing the existence of all essential conditions in the contract, if a decision has been made on the possibility of concluding a certain contract; minimizing the influence of the human factor in making medical decisions.

Experimental results of verification of medical contracts using the developed methodology and information technology showed that from 20% to 54% of medical contracts do not have all the necessary essential conditions, i.e. are incorrect and cannot be concluded without revision. Thus, the developed methodology and information technology provide an opportunity for clinics and patients to avoid signing incorrectly executed contracts without proper essential conditions that could have negative consequences for both patients and clinics.

## 6. References

- [1] C. Adams, J. Allen, F. Flack, Data custodians and the decision-making process: releasing data for research. *Journal of Law and Medicine* 26 2 (2018) 433-453.
- [2] N. Melnykova, N. Shakhovska, V. Melnykov, K. Melnykova, K. Lishchuk-Yakymovych, Personalized data analysis approach for assessing necessary hospital bed-days built on condition space and hierarchical predictor. *Big Data and Cognitive Computing* 5 3 (2021) paper 37. doi: 10.3390/bdcc5030037.
- [3] O. Grytsenko, P. Pukach, O. Suberlyak, N. Shakhovska, V. Karovič, Usage of mathematical modeling and optimization in development of hydrogel medical dressings production. *Electronic (Switzerland)* 10 5 (2021) 1-10. doi: 10.3390/electronics10050620.
- [4] O. Berezhsky, L. Dubchak, N. Batryn, T. Datsko, K. Berezhska, O. Pitsun, Y. Batko, Fuzzy system for breast disease diagnosing based on image analysis. *CEUR-WS* 2488 (2019) 69-83.
- [5] C. Mitchell, C. Ploem, Legal challenges for the implementation of advanced clinical digital decision support systems in Europe. *Journal of Clinical and Translational Research* 3 (2018) 424-430. doi: 10.18053/jctres.03.2017S3.005.
- [6] P. Iftikhar, M. Kuijpers, A. Khayyatt, A. Iftikhar, M. De Sa, Artificial intelligence: A new paradigm in obstetrics and gynecology research and clinical practice. *Cureus* 12 2 (2020), e7124. doi: 10.7759/cureus.7124.
- [7] T. Hovorushchenko, O. Pomorova, Information Technology of Evaluating the Sufficiency of Information on Quality in the Software Requirements Specifications. *CEUR-WS* 2104 (2018) 555-570.
- [8] A. Drozd, M. Drozd, V. Antonyuk, Features of Hidden Fault Detection in Pipeline Components of Safety-Related System. *CEUR-WS* 1356 (2015) 476-485.
- [9] T. Hovorushchenko, Methodology of Evaluating the Sufficiency of Information for Software Quality Assessment According to ISO 25010. *Journal of Information and Organizational Sciences* 42 1 (2018) 63-85. doi: 10.31341/jios.42.1.4.
- [10] O. Drozd, K. Zashcholkin, O. Martynyuk, O. Ivanova, J. Drozd, Development of Checkability in FPGA Components of Safety-Related Systems. *CEUR-WS* 2762 (2020) 30-42.
- [11] T. Hovorushchenko, O. Pavlova, Evaluating the Software Requirements Specifications Using Ontology-Based Intelligent Agent, in: *Proceedings of 2018 International Scientific and Technical Conference "Computer Science and Information Technologies", CSIT'2018, Lviv, 2018, vol.1*, pp. 215-218. doi: 10.1109/STC-CSIT.2018.8526730.
- [12] I. Izonin, R. Tkachenko, N. Kryvinska, K. Zub, O. Mishchuk, T. Lisovych, Recovery of Incomplete IoT Sensed Data using High-Performance Extended-Input Neural-Like Structure. *Procedia Computer Science* 160 (2019) 521-526. doi: 10.1016/j.procs.2019.11.054.
- [13] T. Hovorushchenko, O. Pavlova, D. Medzaty, Ontology-Based Intelligent Agent for Determination of Sufficiency of Metric Information in the Software Requirements. *Advances in Intelligent Systems and Computing* 1020 (2020) 447-460. doi: 10.1007/978-3-030-26474-1\_32.
- [14] R. Tkachenko, I. Izonin, N. Kryvinska, V. Chopyak, N. Lotoshynska, D. Danylyuk, Piecewise-linear Approach for Medical Insurance Costs Prediction using SGTN Neural-Like Structure. *CEUR-WS* 2255 (2018) 170-179.

- [15] S. Agate, M. Curran, Opportunity for legal innovation in healthcare technology, 2018. URL: <https://www.lawpracticetoday.org/article/legal-innovation-healthcare-technology>.
- [16] T. Hovorushchenko, Ye. Hnatchuk, A. Herts, O. Onyshko, Intelligent Information Technology for Supporting the Medical Decision-Making Considering the Legal Basis. CEUR-WS 2853 (2021) 72-82.
- [17] T. Hovorushchenko, A. Herts, Ye. Hnatchuk, Concept of intelligent decision support system in the legal regulation of the surrogate motherhood. CEUR-WS 2488 (2019) 57-68.
- [18] K. Cresswell, A. Majeed, D. Bates, A. Sheikh, Computerised decision support systems for healthcare professionals: An interpretative review. *The Journal of Innovation in Health Informatics* 20 2 (2012) 115-128. doi: 10.14236/jhi.v20i2.32.
- [19] Blockchain technologies in medicine: pros and how to implement in Ukraine, 2021. URL: <https://novilidery.com/news/blokcheyn-tekhnologii-v-medicini-plyusi-i-yak-vprovaditi-v-ukraini>.
- [20] The MediLedger Network, 2021. URL: <https://www.mediledger.com/>.
- [21] Dutch REshape Center Develops Blockchain Health Proof of Concept with SNS Bank and Deloitte, 2016. URL: <https://www.the-blockchain.com/2016/05/28/dutch-reshape-center-develops-blockchain-health-proof-of-concept-with-sns-bank-and-deloitte/>.
- [22] Healthchain, 2021. URL: <https://healthchain.io/>.
- [23] Digital healthcare, simplified, 2020. URL: <https://www.iryio.io/>.
- [24] Carex Blockchain Platform Information, 2021. URL: [https://rocketreach.co/carex-blockchain-platform-profile\\_b44cebbdf4ce94b](https://rocketreach.co/carex-blockchain-platform-profile_b44cebbdf4ce94b).
- [25] Smart Healthcare Today (SHC), 2021. URL: <https://www.coingecko.com/ru/%D0%9A%D1%80%D0%B8%D0%BF%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D1%8E%D1%82%D1%8B/smart-healthcare-today>.
- [26] Start Your Future Today, 2018. URL: <https://www.mitio.org/>.
- [27] Global Labs Inc, 2021. URL: <https://www.bloomberg.com/profile/company/0035027D:US>.
- [28] ClinicoIn, 2021. URL: <https://clinicoIn.io/en>.
- [29] Quanth.io, 2021. URL: <http://ww25.quantH.io/?subid1=20210916-2154-594a-ac0a-b08ce54dfd9e>.
- [30] Your health at your fingertips, 2021. URL: <https://patientory.com/>.
- [31] Welcome to Synthium Health, 2021. URL: <https://tge.synthiumhealth.com/>.
- [32] What is Medrec?, 2021. URL: <https://medrec.media.mit.edu/>.
- [33] Healthcare, 2021. URL: <https://e-estonia.com/solutions/healthcare/e-prescription>.
- [34] Openlongevity.io, 2021. URL: <http://openlongevity.io/>.
- [35] Medicalchain: Own Your Health, 2020. URL: <https://medicalchain.com/en/>.
- [36] BurstIQ: Research Foundry, 2021. URL: <https://www.burstiq.com/>.
- [37] GeneBlockChain, 2016. URL: <https://www.geneblockchain.org/>.
- [38] Bowhead Health: Enhance Your Health, 2021. URL: <https://bowheadhealth.com/>.
- [39] PokitDok, 2021. URL: <https://www.crunchbase.com/organization/pokitdok>.
- [40] DokChain by PokitDok—Blockchain for Healthcare, 2021. URL: <https://ventures.mckesson.com/dokchain-pokitdok-blockchain-healthcare/>.
- [41] Healthcombix.com, 2021. URL: <http://ww1.healthcombix.com/>.
- [42] Symptomatic: Longitudinal Timeline, 2021. URL: <https://www.symptomatic.io/marketing-page>.
- [43] Docademic, 2021. URL: <https://www.crunchbase.com/organization/docademic>.
- [44] Doc Coin: Cryptocurrency and Blockchain Blog, 2020. URL: <https://www.doc-coin.com/ru>.
- [45] Flexible jobs for the modern nurse, 2021. URL: <https://www.trustedhealth.com/>.
- [46] PointNurse, 2021. URL: <https://www.pointnurse.com/>.
- [47] Skychain, 2020. URL: <https://skychain.global/>.
- [48] DeepRadiology: ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO REVOLUTIONIZE MEDICAL IMAGING, 2019. URL: <https://www.deepradiology.com/>.
- [49] EHF: eHealth First, 2019. URL: <https://ehfirst.io/>.
- [50] SolveCare: BLOCKCHAIN PLATFORM FOR DIGITAL HEALTH NETWORKS, 2021. URL: <https://solve.care/>.
- [51] Luven, 2021. URL: <https://luvenmed.io/connexion.php>.
- [52] Healthmonitor.io, 2021. URL: <https://www.healthmonitor.io/en/>.
- [53] Elcoin: BLOCKCHAIN INTELLIGENT MEDICINE, 2021. URL: <https://elcoin.io/>.

# Methods of Medical Data Management Based on Blockchain Technologies

Tetiana Hovorushchenko<sup>1\*</sup>, Artem Moskalenko<sup>2</sup> and Vitaliy Osyadlyi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Computer Engineering & Information Systems, Khmelnytskyi National University, Institutska str., Khmelnytskyi, 29016, Ukraine

<sup>2</sup> Department of Computer Sciences & Software Engineering, Academician Yuriy Bugay International Scientific and Technical University, Magnitogorsk lane, Kyiv, 02094, Ukraine

\* Corresponding author. E-mail: [tat\\_yana@ukr.net](mailto:tat_yana@ukr.net);

Contributing authors: [a.moskalenko@istu.edu.ua](mailto:a.moskalenko@istu.edu.ua), [vitalik9865@gmail.com](mailto:vitalik9865@gmail.com);

These authors contributed equally to this work.

## Abstract

The healthcare sector in Ukraine has long been in need of change, and the many opportunities of blockchain technology can help it lead the transformation of this sector and ensure compliance with the requirements of the efficiency, safety, novelty, and economic benefits. State-of-the-art on known decisions on the use of blockchain technologies in the information technology for medical data management showed that, despite a large number of different solutions, effective methods and solutions for medical data management based on blockchain technologies are currently lacking. Therefore, improving the efficiency of medical data management by developing methods of medical data management based on blockchain technologies is currently an urgent problem. The paper developed a method for assessing the sufficiency of medical data, which provides: the ability to analyze a variety of medical data for their sufficiency; the ability to quantify the sufficiency of medical data; in case of insufficiency of the medical data, formation of recommendations on supplementing the medical data to be able to upload them to the "Block Data" section of the blockchain block. The paper developed a method of performing transactions on medical data, which consists of the stages of entering information into the blockchain and obtaining information from the blockchain. The developed method of performing transactions on medical data provides the ability to decide on the addition of transactions and medical data from the patient to the blockchain; the ability to decide on the issuance of data from the blockchain on request from a doctor.

**Keywords:** blockchain technology, medical data, blockchain transaction, sufficiency of medical data

## 1 Introduction

The introduction of the latest competitive information technologies in all spheres of human activity in order to automate processes, reduce the share of physical labor and minimize the impact of the human factor is the main strategic goal of the information society in Ukraine [1-4].

Even before the COVID-19 pandemic, the health and natural sciences sectors had serious problems with interoperability, confidentiality, and traceability of supply chains. Another serious problem is the lack of coordinated interaction between closed electronic medical record systems, which are offered by more than 700 providers.

In the context of the pandemic, health and natural science organizations have faced new challenges, including adapting supply chains to deliver remedies and rapidly developing treatments, tests, and vaccines. They are currently actively

1 implementing consent management and medical data security tools to resume  
2 work as soon as possible after the restrictions are lifted.

3 Today, medical information technology must meet 4 requirements: efficiency,  
4 safety, novelty, and economic benefits [5]. The healthcare sector in Ukraine has  
5 long been in need of change, and the many opportunities of blockchain  
6 technology can help it lead the transformation of this sector and ensure  
7 compliance with these 4 requirements.

8 Blockchain is one way of distributed storage. This technology can be used to  
9 record and track any type of information: from medical records to elections [6].  
10 The main difference between blockchain and standard databases is  
11 decentralization. That is, first, this process is not monitored by any regulator or  
12 organization. And secondly, the information is not focused on servers in one  
13 place, but distributed in a huge network of computers around the world [7].

14 Blockchain is literally interpreted as a chain of blocks. Each of these blocks  
15 digitally records one or another piece of information. Any user can view this  
16 information, but cannot change it [8]. Each new transaction, regardless of its size,  
17 is converted into a new hash cluster. It consists of a unique set of symbols and  
18 numbers created by a certain algorithm. The new block always refers to the  
19 previous one, thus creating a strict sequence [9]. Each block is associated with the  
20 previous and next blocks. Blocks form a chain of data as a resource moves from  
21 one place to another or changes owners. The blocks confirm the exact time and  
22 order of transactions. In addition, the blocks are inextricably linked to each other,  
23 which eliminate the possibility of changing the block or inserting between the  
24 other two blocks [10].

25 Blockchain has already proven its effectiveness in health and natural science,  
26 helping to build trust and optimize cooperation. Moreover, this technology will  
27 continue to play a leading role in solving even more complex problems [11].

28 Therefore, improving the efficiency of medical data management by  
29 developing methods of medical data management based on blockchain  
30 technologies is currently *an urgent problem*.

## 31 **2. State-of-the-art**

32 We will conduct state-of-the-art on known decisions on the use of blockchain  
33 technologies in the construction of information technology for medical data  
34 management.

35 Usually, medical data are considered only those data, which were obtained by  
36 measuring the characteristics of the patient. The number of patient characteristics  
37 is considerable (and it does not matter whether it is a sick or healthy person).

38 Most medical data are characterized by the following features: vagueness;  
39 inconsistency of terminology; a large number of qualitative features that  
40 subjectively assess the patient's condition; lack of uniform algorithms for  
41 describing the patient's condition; lack of uniform algorithms for describing  
42 diagnostic and therapeutic processes; insufficient level of standardization of  
43 medical documentation; the significant variety of medical data.

44 Medical data, as a rule, are uncertain. Reliability is an important characteristic  
45 of healthcare systems. In reliability engineering, such systems are considered  
46 complex, inhomogeneous, and uncertain, and require special mathematical  
47 representations. The reliability analysis based on uncertain data is represented in  
48 [12-14]. New methods to construct a structure function based on initial uncertain  
49 data is proposed in [12]. Fuzzy decision trees are used in this method to transform

1 initial uncertain data about a real system into an exact-defined a system structure  
2 function. Incomplete data is analyzed in [13] using fuzzy decision trees, where  
3 input and output attributes are interpreted as component states and values of the  
4 structure function, respectively. In the paper [14], a method for structure function  
5 construction is proposed based on incomplete and uncertain data in human  
6 reliability analysis. The proposed method application is considered for healthcare  
7 to evaluate medical error. This method is developed using a fuzzy decision tree,  
8 which allows all possible component states to be classified into classes of system  
9 performance levels.

10  
11 Blockchain can transform healthcare enterprises and improve service quality  
12 by enabling new ecosystems and new business models to evolve. Healthcare  
13 information stored in the blockchain can change the way clinical information is  
14 stored, as well as how information is shared in the organization, with healthcare  
15 partners, payers, and, most importantly, patients. Blockchain decentralizes  
16 medical information, increasing the availability, efficiency, transparency, and  
17 credibility of data, but also requires careful planning to maximize the benefits it  
18 brings [15].

19  
20 Separate accounting systems can lead to patient consent and medical histories  
21 that are incomplete, inconsistent, or ambiguous. Blockchain records can be used  
22 to provide complete longitudinal health records for individuals, giving all patients  
23 more control over their own information through confirmed consent. Thanks to  
24 the blockchain, each patient record reflects the most well-known medical facts -  
25 from genomic data to diagnostic medical imaging - and can be reliably transmitted  
26 when needed, without the need for a central administrator [16, 17].

27  
28 Clinical trial management generates vast amounts of data, requiring healthcare  
29 administrators to keep reliable and consistent records for peer review and  
30 regulatory compliance. Blockchain tools, combined with electronic data  
31 collection, can automatically aggregate, replicate, and distribute clinical data  
32 among researchers and practitioners with greater revision, tracking, and control  
33 compared to complex and conventional systems [18].

34  
35 It is difficult to estimate the cost of medical care. Accounting for the real costs  
36 of all aspects of health care can be frustrating for both providers and patients.  
37 Outcome-based blockchain contracts link clinical outcomes to costs. Service  
38 providers from pharmacies to hospitals can offer consumers medical care using a  
39 cost model instead of a service fee and reduce the complexity of records [19].

40  
41 Currently, there is a rapid development of information systems and network  
42 technologies of health care facilities, cyber-physical medical systems. However,  
43 the data used in these systems and technologies may be at risk of leakage,  
44 falsification, and forgery during their transmission, storage, and exchange [20].

45  
46 Medical care has become an integral part of people's lives. There is currently a  
47 sharp increase in medical data (such as medical records). Accuracy and  
48 completeness of medical data are some of the most important requirements for  
49 both patients and physicians. Protecting the confidentiality and secure storage of  
50 medical data are crucial issues in the provision of medical services. The safe  
51 storage and completeness of personal medical records have long been a concern  
52 for mankind. If medical data is stolen, falsified, or deleted, it can delay the  
53 progress of treatment and even endanger the patient's life [21].

54  
55 Electronic medical records are a convenient tool for storing and analyzing  
56 medical data. The exchange of electronic medical records and cards between  
57 different healthcare organizations is of great positive importance for research on  
58 disease and epidemic/pandemic prevention, improves health care, minimizes  
59  
60  
61

1 emergency response times, and more accurately monitors critical medical events.  
2 However, electronic medical records contain a large amount of confidential  
3 information, so it is still very difficult to exchange medical information between  
4 different medical institutions, although the exchange of data between different  
5 medical institutions is already a trend in medicine and health services. The  
6 exchange of large amounts of information between different healthcare  
7 organizations is difficult in terms of security, privacy, and network load,  
8 especially for large-scale healthcare systems. Leakage of data in electronic  
9 medical records can lead to a breach of confidentiality of patient data (eg, health  
10 status, diagnosis, etc.) [22-24].

11 The advent of blockchain technology provides a new idea to solve this  
12 problem. As a hash chain with the characteristics of decentralization, verification,  
13 and immutability, blockchain technology can be used to securely store personal  
14 medical data. Blockchain technology is decentralized, secure, reliable,  
15 collaborative, and counterfeit protecting, so it is suitable for protecting and  
16 sharing medical data. Blockchain, as a new technology, is widely used to address  
17 the efficiency and security of medical data exchange. Blockchain is safe to use  
18 because it encrypts and verifies medical data in the event of a hack or leak. Due to  
19 such features, blockchain technology today receives huge benefits for medical  
20 data [25].

21 With the help of the blockchain, users can store important medical data, the  
22 authenticity of which can be verified if there is a suspicion of forgery. In addition,  
23 cryptographic algorithms can be used to ensure the confidentiality of medical data  
24 (for example, an attacker will not be able to read the text if he stole data) [26].

25 As a rule, most of the data in electronic medical records remain unchanged  
26 after their download into the system. Thus, the blockchain can potentially be used  
27 to facilitate the exchange of medical data. Various medical organizations and  
28 individuals (such as doctors, hospitals, medical laboratories, and insurance  
29 companies) can access electronic medical records stored in the blockchain with a  
30 higher level of trust. Blockchain solutions offer effective approaches to the  
31 reliable management of medical data when confidential patient data is stored and  
32 processed. Of course, for the successful implementation of blockchain technology  
33 in medical data management, it is important to obtain the consent of physicians  
34 and patients. To date, many institutional and industrial institutions have  
35 recognized the importance of technology for the health sector, as well as  
36 formulated basic ideas, concepts, and key uses [27].

37 An overview of all existing projects, systems, and technologies for the use of  
38 blockchain technology in health care the authors conducted in [28].

39 In addition, [21] presents the concept of healthcare verification using  
40 blockchain and artificial intelligence, as well as a cloud architecture of intelligent  
41 agents based on convolutional neural networks to increase medical data, which  
42 verifies medical data using artificial intelligence algorithms in multidimensional  
43 arrays; after verification, the data is placed in a blockchain block, then in smart  
44 contracts and distributed separately using consensus algorithms.

45 The paper [22] presents the architecture of the system, where the blockchain  
46 consortium is presented as an intermediate software with a certain level of trust,  
47 and each medical institution acts as a member of the platform.

48 The following architecture of the system based on the blockchain consists of 3  
49 levels - the level of data acquisition, the level of data storage, the level of data  
50 exchange [23].

The authors of [24] present a blockchain-based access control architecture for medical data. To ensure that policies and exchange permissions are publicly available in the blockchain, and to save blockchain resources, these two key parameters are stored in the blockchain. Other medical data is still stored on the medical institution's server, and the medical institution's server is responsible for access control authentication. After the user submits an access request, the data security management module will analyze the access request, assign roles, analyze tasks, and request access to medical data.

For increasing the efficiency and security of the exchange of electronic medical records between medical information control systems, a single and compatible approach will promote correct data management - for example, the scheme of sharing electronic medical records based on hybrid blockchain architecture [25]. All members of the consortium are bound together by a set of rules and pre-defined smart contracts. Only authorized organizations can access sensitive parts of electronic medical records to make a medical diagnosis and make treatment plans.

The DynamiChain network service based on blockchain and big data for the healthcare industry is presented in [26]. The proposed medical blockchain network specialized in processing large health review data, which consists of Inbody tests, blood tests, and functional test data sets. Three organizations - data providers, data users, and a hospital - form a consortium at DynamiChain. Basically, data providers can set their own dynamic consent rules. Hospitals can keep records of medical data transfers and manage the transfer of general health data. Data users can compare health review data hashes and read review data accordingly. All three organizations join the consortium through one channel. Organizations install their own peer device in their data center. Additional participation in the consortium can be established using the configuration block stored in the order service.

The detailed workflow of the SPChain blockchain network is presented in [27]. Every organization (such as patients and healthcare facilities) in SPChain has a blockchain account. The system consists of stages of setting up, registering, downloading, tagging, sharing, and searching.

A study of the use of blockchain technology in health care has shown that currently almost all of the described projects are prototypes that are under development. Most of these prototypes are in the alpha testing phase, which does not allow us to see the finished product. But many projects are open source and open to new entrants.

State-of-the-art on known decisions on the use of blockchain technologies in the construction of information technology for medical data management showed that, despite a large number of different solutions, effective methods and solutions for medical data management based on blockchain technologies are currently lacking. Therefore, it is necessary to develop effective methods of medical data management based on blockchain technologies, which is *the purpose of this study*.

### 3. Methods of Medical Data Management Based on Blockchain Technologies

In the process of managing medical data using blockchain technologies, medical data will be located in blocks of the blockchain. Therefore, first, consider the structure of the blockchain block. Given that the header of the blockchain block

contains the date and time, version, metadata, digital signatures of the parties, its own encrypted code, the hash of the previous block, we present such a block as follows – Figure 1.

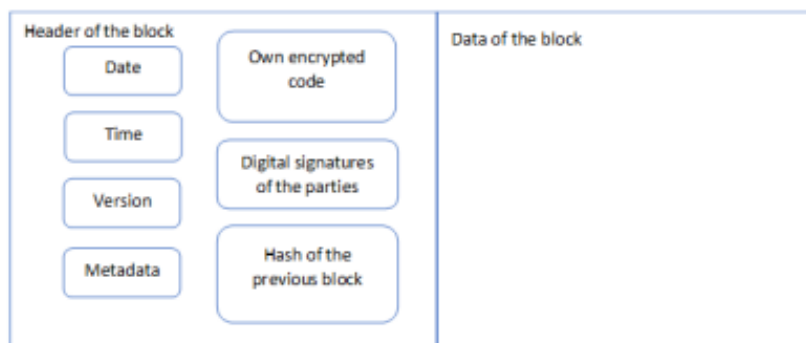


Figure 1. Blockchain block structure

Then we present the blockchain block in a formalized form – in the form of a tuple of its elements:

$$B = \langle H, D \rangle = \langle (d, t, v, md, ec, ds, hb), D \rangle, \quad (1)$$

where  $H$  – block header,  $D$  – block data,  $d$  – date,  $t$  – time,  $v$  – version,  $md$  – metadata,  $ec$  – own encrypted code,  $ds$  – digital signatures of the parties,  $hb$  – hash of the previous block.

A blockchain is a chain of blocks. Each block is associated with the previous and next blocks. The blocks are inextricably linked to each other, which eliminates the possibility of changing the block or inserting between two blocks. With this in mind, we present a fragment of the blockchain in the following form - Figure 2.

Then we present the following fragment of the blockchain in a formalized form - in the form of a set of tuples that represent the blocks of the blockchain:

$$\begin{aligned}
 BCH &= \{ B_1, B_2, \dots, B_{n-1}, B_n, B_{n+1}, \dots \} = \\
 &= \{ \langle (d_1, t_1, v_1, md_1, ec_1, ds_1), D_1 \rangle \\
 &\quad \langle (d_2, t_2, v_2, md_2, ec_2, ds_2, hb_1), D_2 \rangle, \dots, \\
 &\quad \langle (d_{n-1}, t_{n-1}, v_{n-1}, md_{n-1}, ec_{n-1}, ds_{n-1}, hb_{n-2}), D_{n-1} \rangle, \quad (2) \\
 &\quad \langle (d_n, t_n, v_n, md_n, ec_n, ds_n, hb_{n-1}), D_n \rangle \\
 &\quad \langle (d_{n+1}, t_{n+1}, v_{n+1}, md_{n+1}, ec_{n+1}, ds_{n+1}, hb_n), D_{n+1} \rangle, \\
 &\quad \dots \}
 \end{aligned}$$

where the element number  $hb$  indicates that it is the hash of the previous block.

Given the peculiarities of blockchain construction, the sufficiency of medical data should be assessed before entering them in the "Block Data" section of the blockchain block. Given the papers [3, 4], the main condition for this is to understand what are the mandatory elements to be presented in these data, because the sufficiency of medical data will mean the presence of all necessary information elements.



Figure 2. Fragment of a blockchain

Given that the data of block  $D$  is a set of records:  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_k\}$ , and the individual record in the set of medical data is perceived as a system of three elements (type, time and quality)  $d_i = \langle dtp_i, dtm_i, dq_i \rangle$ , then the available set of medical data, which are planned to be entered in the blockchain block, can be represented as a matrix:

$$D_{av} = \begin{pmatrix} dtp_{1av} & dtm_{1av} & dq_{1av} \\ dtp_{2av} & dtm_{2av} & dq_{2av} \\ \dots & \dots & \dots \\ dtp_{iav} & dtm_{iav} & dq_{iav} \\ \dots & \dots & \dots \\ dtp_{kav} & dtm_{kav} & dq_{kav} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

where  $dtp_i$  - data type (data type can be dynamic – for example, blood test, or static – genome, fingerprints);  $dtm_i$  - time of data, date when this data was received;  $dq_i$  - data quality, which takes into account the "shelf life" of information or analysis – the higher it is, the more valuable the information; for example, the result of a cholesterol test is valid for six months, and a genetic test - a lifetime;  $i = 1..k$ ;  $k$  is the number of records in the set of medical data that are being prepared for entry in the blockchain block. The elements  $dtp_i$ ,  $dtm_i$ ,  $dq_i$  may be absent if the medical data in the set are insufficient.

Given that all the elements of medical data listed in the matrix are mandatory in terms of adequacy of medical data, the rules for determining the sufficiency of medical data are as follows:

- 1) if in the  $i$ -th data record of the set  $D_{av}$  there is information about the data type (available element  $dtp_i$ ), then:  $sdp = sdp + 1$  and  $b[i, 1] = 1$ , otherwise  $b[i, 1] = 0$
- 2) if in the  $i$ -th data record of the set  $D_{av}$  there is information about the time of the data (available element  $dtm_i$ ), then:  $sdm = sdm + 1$  and  $b[i, 2] = 1$ , otherwise  $b[i, 2] = 0$
- 3) if in the  $i$ -th data record of the set  $D_{av}$  there is information about the quality of the data (available element  $dq_i$ ), then:  $sdq = sdq + 1$  and  $b[i, 3] = 1$ , otherwise  $b[i, 3] = 0$

Matrix  $B$  has the following generalized view – Table 1.

Table 1. Matrix  $B$ , which accumulates signs of the presence/absence of a record element in a set of medical data

	<b>1</b> <b>(data type <math>dtp</math>)</b>	<b>2</b> <b>(data time <math>dtm</math>)</b>	<b>3</b> <b>(data quality <math>dq</math>)</b>
<b>1</b>	0 (in the absence of such an element in the 1st record) or 1 (in the presence of such an element)	0 (in the absence of such an element in the 1st record) or 1 (in the presence of such an element)	0 (in the absence of such an element in the 1st record) or 1 (in the presence of such an element)
<b>2</b>	0 or 1	0 or 1	0 or 1
<b>...</b>	...	...	...
<b>i</b>	0 or 1	0 or 1	0 or 1
<b>...</b>	...	...	...
<b>k</b>	0 or 1	0 or 1	0 or 1

Given the peculiarities of the formation of the matrix  $B$  (Table 1), the rules for the formation of recommendations for supplementing the set of medical data are as follows:

- 1) if  $b[i, 1] = 0$ , then the user is recommended to supplement the  $i$ -th data record of the block with information about the data type
- 2) if  $b[i, 2] = 0$ , the user is recommended to supplement the  $i$ -th data record of the block with information about the data time
- 3) if  $b[i, 3] = 0$ , the user is recommended to supplement the  $i$ -th data record of the block with information about data quality

Then the method of assessing the sufficiency of medical data consists of the following steps:

- 1) analysis of a set of medical data  $D_{av}$  before entering them in the section "Data of the block" of the blockchain block using each of the developed rules for determining the sufficiency of medical data and counting the counters  $sdp$ ,  $sdtm$ ,  $sdq$
- 2) calculation of quantitative assessment of the sufficiency of medical data by the formula:

$$sfmd = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{sdp}{k} + \frac{sdtm}{k} + \frac{sdq}{k} \right) \quad (4)$$

- 3) if  $sdp = k$  and  $sdtm = k$  and  $sdq = k$  and  $sfmd = 1$ , then a decision is made on the sufficiency of medical data in the  $D_{av}$  set (because all elements of the medical data set are mandatory in terms of medical data sufficiency and are available in the medical data set, which are being prepared for entry in the blockchain block) and entering the data of the  $D_{av}$  set in the section "Block data" of the blockchain block
- 4) if  $sdp < k$  or  $sdtm < k$  or  $sdq < k$  or  $sfmd < 1$ , then: a decision is made on the insufficiency of medical data in the  $D_{av}$  set; such a set of medical data needs to be supplemented before entering this data in the "Data of the block" section of the blockchain block; the user is provided with recommendations for supplementing the set of medical data – according to the rules for the formation of recommendations for supplementing the set of medical data – as a guide on what information should be added to the set of  $D_{av}$  medical data to be uploaded to the blockchain block section; supplement to the set of medical data take place; return to step 1 of the Method takes place.

The developed method of assessing the sufficiency of medical data provides the ability to analyze a set of medical data for their sufficiency; the ability to quantify the sufficiency of medical data; in case of insufficiency of medical data in the set, formation of recommendations on supplementing the set of medical data – as a guide, what information should be added to the set of medical data  $D_{av}$  to be able to upload them to the section "Data block" blockchain.

Now consider the features of transactions in working with medical data.

The medical ecosystem provides four groups of users: users (patients) – patients themselves or authorized third parties (medical centers, for example) who upload medical data to the system; validators – check the quality and authenticity of data uploaded by users; clients (doctors) – study patient data, compile health reports; pharmaceutical and research companies that can access depersonalized user data.

The process of performing transactions on medical data (entering information into the blockchain and obtaining information from the blockchain) let's presented in the form of a diagram – Figure 3.

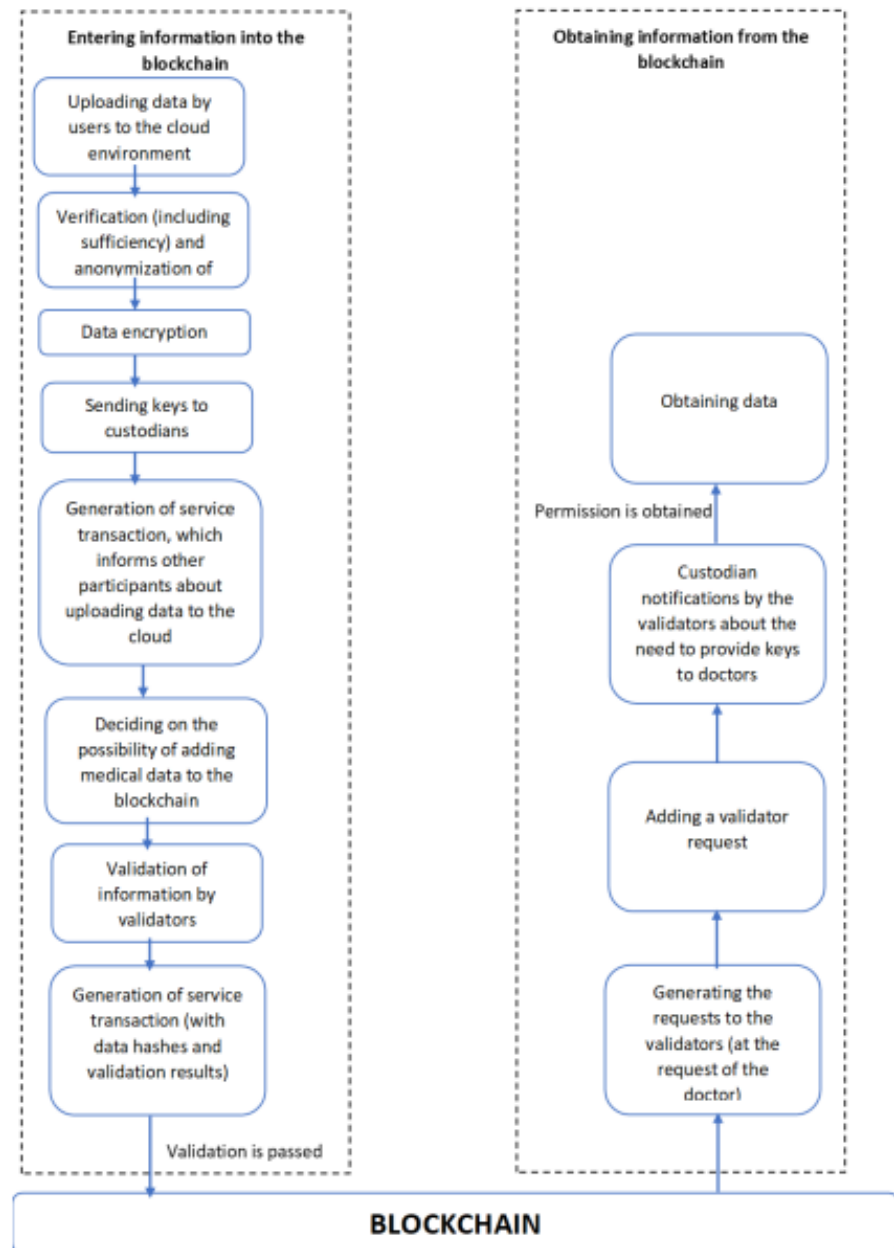


Figure 3. The process of performing transactions on medical data

Then the method of performing transactions on medical data consists of the following steps:

Stage I – entering information into the blockchain:

- 1) uploading data by users (patients) to the cloud environment

- 2) anonymization (deletion of patient ID) of data
- 3) data encryption by symmetric encryption
- 4) sending keys to custodians via direct authenticated communication channels
- 5) generation of service transaction (with the public key, data type information, and reference to data in the cloud environment), which informs other participants in the ecosystem about uploading data to the cloud
- 6) deciding on the possibility of adding medical data to the blockchain using the consensus algorithm (the block is compared with each instance of the registry; if all instances of the registry match, the transaction is approved)
- 7) validation of information by validators
- 8) generation of service transaction (with data hashes and validation results)
- 9) if the data is verified, the information is recorded in the blockchain, and patient information becomes available to other participants, otherwise, the user is denied entry of information to the blockchain

Stage II – obtaining information from the blockchain:

- 10) if the doctor needs certain data for research or diagnosis, then he generates a request to the validators
- 11) adding a validator request to the blockchain
- 12) custodian notifications by the validators that cryptographic keys need to be sent to the doctor to decrypt cloud data
- 13) obtaining data – if permission is obtained from validators and custodians

So, the method of performing transactions on medical data has been developed, which consists of the stages of entering information into the blockchain and obtaining information from the blockchain. The developed method of performing transactions on medical data provides the ability to decide on the addition of transactions and medical data from the patient to the blockchain; the ability to decide on the issuance of data from the blockchain on request from a doctor.

Based on the analysis of architectures of known medical data management systems based on blockchain technologies, let's develop the architecture of medical data management system based on developed methods of assessing the sufficiency of medical data (medical data sufficiency assessment unit), and performing transactions on medical data (unit of the performing transactions on medical data). The architecture of the medical data management system is presented in Figure 4.

The presented medical data management system is not now realized, now only its architecture is developed. Further research of the authors will be aimed at the realization and implementation of such a system, as well as the validation and verification of the proposed medical data management system after its realization and implementation, which will be the goal of another study, another paper.

## 4. Results & Discussion

Let's conduct experiments on medical data management based on blockchain technologies using the developed method of assessing the sufficiency of medical data. For the experiment, let's evaluate the sufficiency of the set of medical records of outpatients of family medicine outpatient clinics, which are planned before the entry of the data block of the blockchain block.

Let's analyze this set of data using each of the developed rules to determine the sufficiency of medical data and count the counters *sdtp*, *sdtm*, *sdq*.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

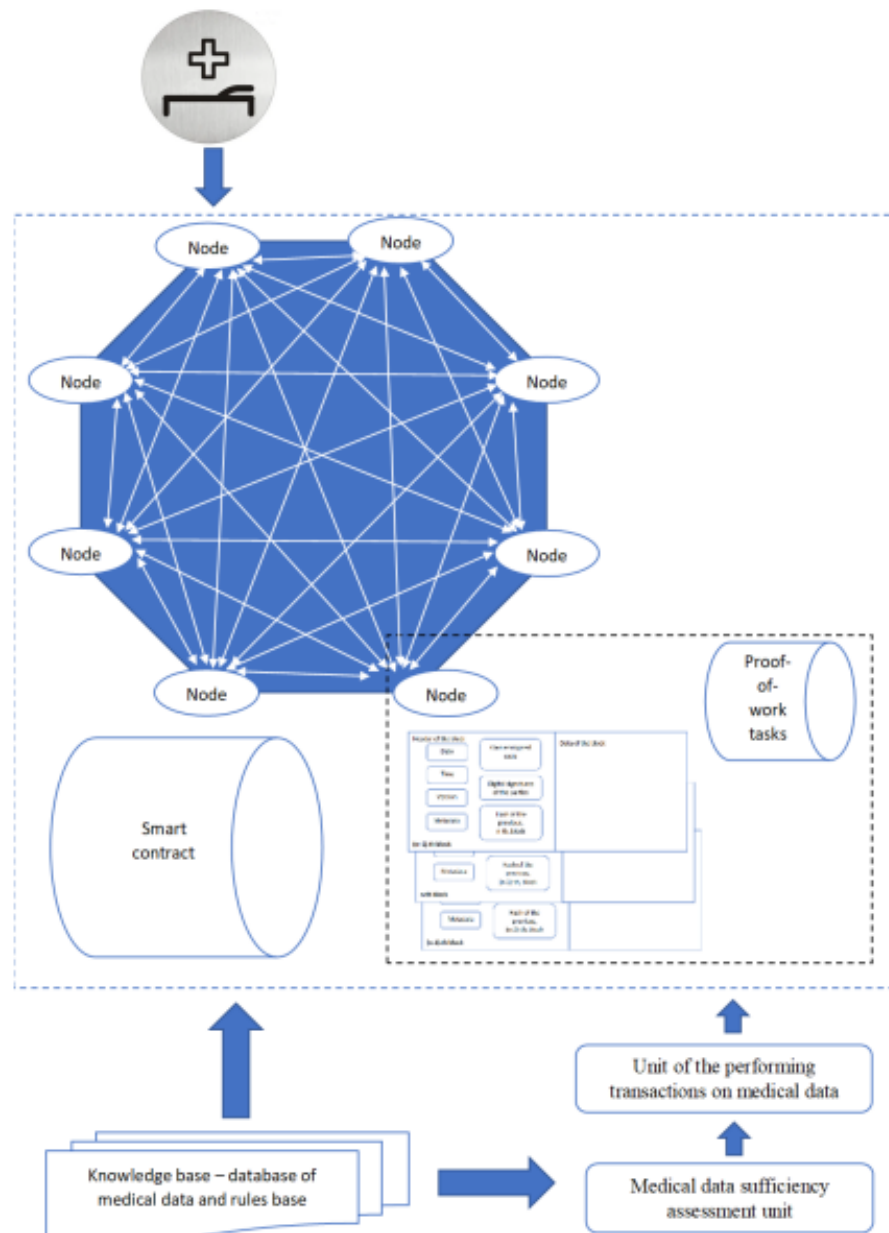


Figure 4. The architecture of a system for medical data management

The considered set of medical data consists of 10 records, and in the first record there is no element "data time", in the second record there are no elements "data type" and "data quality", in the third record there are no elements "data time" and "data quality". in the fourth record there is no element "data type", in the fifth record there are all three elements, in the sixth record there is no element "data quality", in the seventh record there are all three elements, in the eighth record there are no elements "data type", "time data ", in the ninth record there are

all three elements, and in the tenth record there is no element "data time", so the matrix B has the following form – Table 2.

Table 2. Matrix *B* for the set of data of medical records of outpatients of family medicine outpatient clinics

	1 (data type <i>dtp</i> )	2 (data time <i>dtm</i> )	3 (data quality <i>dq</i> )
1	1	0	1
2	0	1	0
3	1	0	0
4	0	1	1
5	1	1	1
6	1	1	0
7	1	1	1
8	0	0	1
9	1	1	1
10	1	0	1

Counters *sdtp*, *sdtm*, *sdq* in this case have the following values: *sdtp* = 7, *sdtm* = 6, *sdq* = 7. Next, let's calculate the quantitative assessment of the sufficiency of medical data, given that the set of medical records of outpatients of family medicine outpatient clinic, which are planned to enter the data block of the blockchain block, consists of 10 records, i.e.  $k = 10$ :

$$sfmd = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{sdtp}{k} + \frac{sdtm}{k} + \frac{sdq}{k} \right) = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{7}{10} + \frac{6}{10} + \frac{7}{10} \right) = 0.67$$

Since  $sdtp < k$  and  $sdtm < k$  and  $sdq < k$  and  $sfmd < 1$ , then: a decision is made on the insufficiency of medical data in the set of  $D_{av}$  medical records of outpatients of family medicine outpatient clinic. Therefore, the considered set of medical data needs to be supplemented before entering this data in the section "Data of the block" of the blockchain block.

The user is provided with recommendations for supplementing the set of medical data - according to the rules for the formation of recommendations for supplementing the set of medical data – as a guide on what information to add to the  $D_{av}$  medical data set to be uploaded to the blockchain block section. For the considered set of data of medical records of outpatients of family medicine outpatient clinic recommendations are as follows: to supplement the 1st record with the element "data time", to supplement the 2nd record with elements "data type" and "data quality", to supplement the 3rd record with elements "time data" and "data quality", add the 4th record with the element "data type", add the 6th record with the element "data quality", add the 8th record with the elements "data type", "data time", add the 10th record element "data time".

If the medical institution is still interested in uploading its data to the blockchain unit, it completes the medical data set  $D_{av}$ , then returns to step 1 of the method of assessing the sufficiency of medical data, i.e. analyzes the updated medical data set. For the experiment, the considered set of medical data was supplemented, after which this set of data was re-analyzed using each of the

developed rules for determining the sufficiency of medical data and was counted counters  $s_{dtp}$ ,  $s_{dtm}$ ,  $s_{dq}$ .

After supplementing the medical data, in the first record there is no element "data time", in the second record there is no element "data quality", in the third record there is no element "data quality", in all other records there are all three elements, so matrix  $B$  has the following form – Table 3.

Table 3. Matrix  $B$  for the supplemented set of data of medical records of outpatients of family medicine outpatient clinics

	1 (data type $dtp$ )	2 (data time $dtm$ )	3 (data quality $dq$ )
1	1	0	1
2	1	1	0
3	1	1	0
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1
9	1	1	1
10	1	1	1

Counters  $s_{dtp}$ ,  $s_{dtm}$ ,  $s_{dq}$  in this case have the following values:  $s_{dtp} = 10$ ,  $s_{dtm} = 9$ ,  $s_{dq} = 8$ . Next, let's calculate the quantitative assessment of the sufficiency of medical data:

$$sfmd = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{s_{dtp}}{k} + \frac{s_{dtm}}{k} + \frac{s_{dq}}{k} \right) = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{10}{10} + \frac{9}{10} + \frac{8}{10} \right) = 0.9$$

Currently  $s_{dtp} = k$ , but  $s_{dtm} < k$  and  $s_{dq} < k$  and  $sfmd < 1$ , so again the decision is made about the insufficiency of medical data in the set of  $D_{av}$  medical records of outpatients of family medicine outpatient clinic. Therefore, the considered set of medical data again needs to be supplemented before entering this data in the section "Data of the block" of the blockchain block.

The user is provided with recommendations for supplementing the set of medical data – in accordance with the rules for the formation of recommendations for supplementing the set of medical data  $D_{av}$ . For the considered revised set of data of medical cards of outpatients of family medicine outpatient clinic the recommendations are as follows: to supplement the 1st record with the element "data time", to supplement the 2nd record with the element "data quality", to supplement the 3rd record with the element "data quality".

The medical institution, having analyzed the obtained conclusions and recommendations, decided to upload a set of data from the medical records of outpatients of the family medicine outpatient clinic to the blockchain without further supplementing.

## 5. Conclusions

The conducted state-of-the-art on known decisions on the use of blockchain technologies in the construction of information technology for medical data management showed that, despite a large number of different solutions, effective methods and solutions for medical data management based on blockchain technologies are currently lacking. Thus, improving the efficiency of medical data management by developing methods of medical data management based on blockchain technologies is currently an urgent problem.

The paper developed a method for assessing the sufficiency of medical data, which provides: the ability to analyze a variety of medical data for their sufficiency; the ability to quantify the sufficiency of medical data; in case of insufficiency of medical data in the set, formation of recommendations on supplementing the set of medical data – as a guide, what information should be added to the set of medical data to be able to download them to the section "Block data" of blockchain.

In addition, the paper developed a method of performing transactions on medical data, which consists of the stages of entering information into the blockchain and obtaining information from the blockchain. The developed method of performing transactions on medical data provides the ability to decide on the addition of transactions and medical data from the patient to the blockchain; the ability to decide on the issuance of data from the blockchain on request from a doctor. The architecture of the system for medical data management has been developed on the basis of the developed methods of assessing the sufficiency of medical data (medical data sufficiency assessment unit), and performing transactions on medical data (unit of the performing transactions on medical data).

The paper also conducted experiments on medical data management based on blockchain technologies using the developed method - experiments on assessing the sufficiency of medical data, which confirmed the viability and veracity of the developed method.

Further research of the authors will be aimed at the realization and implementation of such a system, as well as the validation and verification of the proposed medical data management system after its realization and implementation.

## 6. Acknowledgement

The authors would like to thank the Armed Forces of Ukraine for providing security to perform this work. This work has become possible only because of the resilience and courage of the Ukrainian Army.

*Funding.* The National Research Foundation of Ukraine funded this research under the project "Neural network models, methods and tools for high-speed IoT data processing in information systems of the critical application".

## References

- [1] Cresswell, K., Majeed, A., Bates, D., Sheikh, A.: Computerised decision support systems for healthcare professionals: An interpretative review. *The Journal of Innovation in Health Informatics*. **20**(2), 115-128 (2012). <https://doi.org/10.14236/jhi.v20i2.32>

- [2] Drozd, J., Drozd, A., Al-dhabi, M.: A resource approach to on-line testing of computing circuits. Paper presented at the IEEE East-West Design & Test Symposium, Batumi, Georgia, 26-29 September 2015 (2015), 276 – 281. <https://doi.org/10.1109/EWDTS.2015.7493122>
- [3] Hovorushchenko, T. Information technology for assurance of veracity of quality information in the software requirements specification. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. **689**, 166–185 (2018). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-70581-1\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70581-1_12)
- [4] Hovorushchenko, T., Herts, A., Hnatchuk, Ye.: Concept of intelligent decision support system in the legal regulation of the surrogate motherhood. *CEUR-WS*. **2488**, 57-68 (2019).
- [5] Collen, M., Ball, M.: Medical informatics: past and future. History of medical informatics in the United States. 725-748 (2015). [https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6732-7\\_18](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6732-7_18)
- [6] Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X., Wang, H.: Blockchain challenges and opportunities: a survey. *International Journal of Web and Grid Services*. **14**(4), 352-375 (2018). <https://doi.org/10.1504/IJWGS.2018.095647>
- [7] Zeng, Y., Zhang, Y.: Review of research on blockchain application development method. *Journal of Physics Conference Series*. **1187**, article number 052005 (2019). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1187/5/052005>
- [8] Xu, Z., Zou, C.: What can blockchain do and Cannot do? *China Economic Journal*. **14**(1), 4-25 (2021). <https://doi.org/10.1080/17538963.2020.1748968>
- [9] Pal, O., Alam, B., Thakur, V., Singh, S.: Key management for blockchain technology. *ICT Express*. **7**(1), 76-80 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.icte.2019.08.002>
- [10] Li, W., He, M., Sang, H.: An Overview of Blockchain Technology: Applications, Challenges and Future Trends. Paper presented at the IEEE International Conference On Electronics Information and Emergency Communication, Beijing, China, 18-20 June 2021 (2021), 31-39. <https://doi.org/10.1109/ICEIEC51955.2021.9463842>
- [11] Kuo, T., Rojas, H., Ohno-Machado, L.: Comparison of blockchain platforms: a systematic review and healthcare examples. *Journal of the American Medical Informatics Association*. **26**(5), 462-478 (2019). <https://doi.org/10.1093/jamia/ocv185>
- [12] Zaitseva, E., Levashenko, V.: Construction of a reliability structure function based on uncertain data. *IEEE Trans. on Reliability* **65**(4), 1710-1723 (2016). <https://doi.org/10.1109/TR.2016.2578948>
- [13] Levashenko, V., Zaitseva, E., Kvassay, M., Deserno, T.: Reliability Estimation of Healthcare Systems using Fuzzy Decision Trees. Paper presented at the Federated Conference on Computer Science and Information Systems, Lviv, Ukraine, 23-25 September 2016 (2016), 331-340. <https://doi.org/10.15439/2016F150>
- [14] Zaitseva, E., Levashenko, V., Rabcan, J., Krsak, E.: Application of the structure function in the evaluation of the human factor in healthcare. *Symmetry*, **12**(1), 93 (2020). <https://doi.org/10.3390/sym12010093>
- [15] Transform healthcare outcomes with the simplicity of IBM Blockchain, 2018. URL: <https://www.ibm.com/downloads/cas/DOPLDP8N>.
- [16] Syed, T., Alzahrani, A., Jan, S., Siddiqui, M., Nadeem, A., Alghamdi, T.: A Comparative Analysis of Blockchain Architecture and Its Applications: Problems and Recommendations. *IEEE Access*. **7**, 176838-176869 (2019). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2957660>

- 1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65
- [17] Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X., Wang, H.: An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends. Paper presented at the IEEE International Congress on Big Data, Honolulu, Hawaii, 25-30 June 2017 (2017), 557-564. <https://doi.org/10.1109/BigDataCongress.2017.85>
- [18] Li, X., Jiang, P., Chen, T., Luo, X., Wen, Q.: A survey on the security of blockchain systems. *Future Generation Computer Systems – The International Journal of Escience*. **107**, 841-853 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.08.020>
- [19] Alexander, C., Wang, L.: Cybersecurity, Information Assurance, and Big Data Based on Blockchain. Paper presented at the IEEE Southeast Conference, Huntsville, USA, 11-14 April 2019 (2019).
- [20] Westphal, E., Seitz, H.: Digital and Decentralized Management of Patient Data in Healthcare Using Blockchain Implementations. *Frontiers in Blockchain*. **4**, article number 732112 (2021). <https://doi.org/10.3389/fbloc.2021.732112>
- [21] Kim, S., Huh, J.: Artificial Neural Network Blockchain Techniques for Healthcare System: Focusing on the Personal Health Records. *Electronics*. **9**(5), article number 763 (2020). <https://doi.org/10.3390/electronics9050763>
- [22] Chen, Y., Meng, L., Zhou, H., Xue, G.: A Blockchain-Based Medical Data Sharing Mechanism with Attribute-Based Access Control and Privacy Protection. *Wireless Communications & Mobile Computing*. **2021**, article number 6685762 (2021). <https://doi.org/10.1155/2021/6685762>
- [23] Zhang, L., Peng, M., Wang, W., Su, Y., Cui, S., Kim, S.: Secure and Efficient Data Storage and Sharing Scheme Based on Double Blockchain. *CMC-Computers Materials & Continua*. **66**(1), 499-515 (2021). <https://doi.org/10.32604/cmc.2020.012205>
- [24] Chen, F., Huang, J., Wang, C., Tang, Y., Huang, C., Xie, D., Wang, T., Zhao, C.: Data Access Control Based on Blockchain in Medical Cyber Physical Systems. *Security and Communication Networks*. **2021**, article number 3395537 (2021). <https://doi.org/10.1155/2021/3395537>
- [25] Cao, Y., Sun, Y., Min, J.: Hybrid blockchain-based privacy-preserving electronic medical records sharing scheme across medical information control system. *Measurement & Control*. **53**(7-8), 1286-1299 (2020). <https://doi.org/10.1177/0020294020926636>
- [26] Kim, T., Lee, S., Chang, D., Koo, J., Kim, T., Yoon, K., Choi, I.: DynamiChain: Development of Medical Blockchain Ecosystem Based on Dynamic Consent System. *Applied Sciences-Basel*. **11**(4), article number 1612 (2021). <https://doi.org/10.3390/app11041612>
- [27] Zou, R., Lv, X., Zhao, J.: SPChain: Blockchain-based medical data sharing and privacy-preserving eHealth system. *Information Processing & Management*. **58**(4), article number 102604 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2021.102604>
- [28] Hovorushchenko, T., Hnatchuk, Ye., Herts, A., Moskalenko, A., Osyadlyi, V.: Theoretical and Applied Principles of Information Technology for Supporting Medical Decision-Making Taking into Account the Legal Basis. *CEUR-WS*. **3038**, 172-181 (2021).

обробку транзакцій, аналітику, високу швидкість роботи програми, масштабованість і продуктивність.

**Перелік посилань:**

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 25 квітня 2018 р. № 411 «Деякі питання електронної системи охорони здоров'я» (із змінами № 348 від 15.04.2020) [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/411-2018-%D0%BF#Text> (дата звернення 16.06.2021).
2. Health Level 7 Стандарт [Електронний ресурс]. URL: [https://zdrav.expert/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:Health\\_Level\\_7\\_%D0%A1%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%82](https://zdrav.expert/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:Health_Level_7_%D0%A1%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%82). (дата звернення 16.06.2021).
3. Лешенко О. Б., Лешенко Ю. О. Застосування технології DeepSee InterSystems для побудови багатовимірних баз даних і сховищ інформації [Електронний ресурс] : навч. посіб. до лаб. практикуму. Харків : Нац. аерокосм. ун-т «Харків. авіац. ін-т», 2021. 66 с. URL: <http://library.khai.edu/library/fulltexts/2021/complex/DeepSee%202020ukr%2010062021.pdf>. (дата звернення 16.06.2021).

УДК 004.9: 004.056.5

**ДОСЛІДЖЕННЯ РІШЕНЬ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОБОТИ ЛІКАРІВ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЙ**

А. О. Москаленко, Т. О. Говорущенко, В. В. Осядлий  
Міжнародний науково-технічний університет імені академіка Юрія Бутая,  
Хмельницький національний університет  
E-mail: [tat\\_yana@ukr.net](mailto:tat_yana@ukr.net)

*The healthcare sector in Ukraine has long been in need of change, and the many opportunities of blockchain technologies can help them lead the transformation of this area. This study analyzes the use of blockchain technology in healthcare. All existing projects on the use of blockchain technology in the field of health care can be divided into several areas: tracking origin; data storage and management; telemedicine; diagnostics; use of blockchain to raise funds. The most popular direction for the application of blockchain technology in medicine is data storage and management.*

**Вступ.** Впровадження новітніх конкурентоспроможних інформаційних технологій в усі сфери людської діяльності з метою автоматизації процесів, зменшення частки фізичної праці та мінімізації впливу людського фактору є основною стратегічною метою розвитку інформаційного суспільства в Україні [1]. Сьогодні медичні інформаційні технології повинні відповідати 4 вимогам: ефективність, безпека, новизна та економічна вигода [2]. Сфера охорони здоров'я в Україні давно потребує змін, і безліч можливостей блокчейн-технології (blockchain) можуть допомогти їй очолити трансформацію цієї сфери.

Доказом зростання затребуваності блокчейн-технології може служити результат дослідження, проведеного в жовтні 2017 року командою «Black Book» [3]. В ході цього дослідження було опитано 88 споживачів системи охорони здоров'я (серед них – представники страхових компаній, споживачі медичних послуг) та 276 постачальників медичних послуг (відповідальних за технологічний процес фахівців, менеджерів і IT-фахівців). «Black Book» виявив, що 19% керівників медичними організаціями та 76% представників, які оплачують медичні послуги, розглядали або вже застосовували рішення на основі блокчейн-технології.

Таким чином, підвищена увага до технології розподілених реєстрів призвела до розуміння потенціалу застосування блокчейн-технології в системі охорони здоров'я. Метою даного дослідження є аналіз використання блокчейн-технології у сфері охорони здоров'я.

**Основна частина.** Всі існуючі проекти з використання блокчейн-технології у сфері охорони здоров'я можна розділити на кілька напрямків [4, 5]:

1. Відстеження походження – використання розподіленого реєстру для регулювання фармацевтичних поставок і відстеження медикаментів:

- проєкт The MediLedger Project від Chronicled
- проєкт Prescription від центру REshare в кооперації із SNS Bank NV і Deloitte Центром;

## ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ В МЕДИЦИНІ (ISM–2021)

2. Зберігання та управління даними – у сфері охорони здоров'я питання управління інформацією є дуже актуальним; медичні працівники щодня працюють з даними, які вимагають обережного поводження, анонімності, коректної передачі, а також особливих правил щодо надання доступу до медичних даних, особливого алгоритму управління правами. Це найпопулярніший напрям розробок в медицині, відтак є більше 20 рішень для зберігання та управління медичними даними на основі блокчейн-технологій:

- система Healthchain для зберігання особистих медичних записів;
- платформа RYO для збереження і контролю пацієнтами електронних медичних карт;
- проєкт CareX для проведення платежів в сфері охорони здоров'я через власний токен CareX;
- платформа SmartHealthCareToday для збереження особистих медичних даних;
- онлайн-програма The Medical Interpreting and Translating Institute Online для навчання медичного перекладу;
- платформа GlobalLabs для досліджень і розробок в сфері охорони здоров'я на базі блокчейну;
- платформа ClinicoIn, що винагороджує учасників за дотримання здорового способу життя;
- система QuantH для зберігання та обміну медичними даними на основі блокчейн;
- система Patientory для зберігання і управління медичними даними;
- майданчик Synthium Helath для створення ділових зв'язків між медичними установами і постачальниками медичного обладнання;
- проєкт MedRec, що створює блокчейн-систему для медичних карток пацієнтів;
- проєкт eHelath Estonia зі створення бази медичних карток Естонії на блокчейні;
- стартап Open Longevity з розроблення діагностичної панелі старіння;
- проєкт Mediacalchain для зручного і безпечного зберігання особистих даних пацієнтів;
- система BurstIQ для обробки, зберігання і передачі медичних даних пацієнта;
- проєкт Gene Blockchain з упором на дослідницький напрямок роботи;
- сховище Bowhead Health для персональних даних користувачів;
- платформа Pokitdok, що накопичує досвід у сфері охорони здоров'я;
- проєкт DokChain для обробки фінансових та клінічних даних в галузі охорони здоров'я;
- проєкт HealthCombix для структурування роботи медичних організацій;

3. Телемедицина – проєкти, що розробляють платформи, за допомогою яких пацієнт може отримати консультації у медичних фахівців:

- платформа Symptomatic для здійснення роботи з великими даними, сумісна з електронними медичними картками та надає послуги телемедицини;
- платформа Docademic, що спеціалізується на телемедицині і з'єднує пацієнтів з лікарями з використанням відеозв'язку;
- проєкт DocCoin для з'єднання користувача з будь-яким медичним фахівцем світу за допомогою смарт-контрактів;
- платформа TrustedHealth для телемедицини, яка базується на блокчейні;
- система PointNurse, основним напрямком діяльності якої є телемедицина, тобто оперативна віртуальна комунікація з медичними фахівцями;

4. Діагностика – проєкти в галузі новітніх технологій, спрямовані на виявлення хвороб з використанням блокчейну:

- блокчейн-інфраструктура SKYCHAIN, призначена для розташування, навчання та використання штучного інтелекту в сфері охорони здоров'я;
- система DeerRadiology, що використовує глибоке машинне навчання для штучного інтелекту, який буде обробляти зображення, отримані методами радіоопромінення;
- IT-платформа eHealthFirst для персоналізованого управління медичними картами на базі блокчейну з використанням штучного інтелекту, машинного навчання та природомовної обробки;

5. Використання блокчейну для залучення коштів – проєкти, що шукають фінансування для реалізації своїх ідей:

- KPR Medical Solutions – підприємство, що збирає кошти на будівлю ферми, де буде вирощуватись канабіс для використання в медичних цілях;
- платформа SolveCare для децентралізації послуг у сфері охорони здоров'я, яка дозволяє постачальникам медичних послуг та страховим компаніям взаємодіяти з клієнтами без посередників;
- система Luvex для діагностування раку на ранніх стадіях та проєкт, який підтримує розвиток цієї методики;

## ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ В МЕДИЦИНІ (ISM-2021)

- пристрій Health Monitor для неінвазивної діагностики діабету, виразки шлунку і раку легень;  
 - проєкт Ecoin, який буде одночасно займатись розробкою медичного і косметологічного обладнання та децентралізованої системи на блокчейні для розширення доступності медичних послуг, підвищення їх якості та надійності.

Наразі практично всі описані проєкти – це прототипи, які перебувають на стадії розробки. Більшість з цих прототипів знаходяться на етапі альфа-тестування, що не дає можливості подивитися готовий продукт. Але багато проєктів мають відкритий код і відкриті для нових учасників.

Найпопулярнішим напрямком для застосування технології blockchain в медицині є зберігання і управління даними, для якого розробляється найбільша кількість проєктів, що пропонують рішення по роботі з великими даними. Незважаючи на це, перспективними напрямками також можна вважати контроль ланцюжків поставок і залучення коштів на стадіях R&D (Research & Development).

**Висновки.** Впровадження новітніх конкурентоспроможних інформаційних технологій в усі сфери людської діяльності з метою автоматизації процесів, зменшення частки фізичної праці та мінімізації впливу людського фактору є основною стратегічною метою розвитку інформаційного суспільства в Україні. Сфера охорони здоров'я в Україні давно потребує змін, і безліч можливостей блокчейн-технологій можуть допомогти їм очолити трансформацію цієї сфери. У даному дослідженні проведено аналіз використання блокчейн-технологій у сфері охорони здоров'я. Всі існуючі проєкти з використання блокчейн-технологій у сфері охорони здоров'я можна розділити на кілька напрямків: відстеження походження; зберігання та управління даними; телемедицина; діагностика; використання блокчейну для залучення коштів. Найпопулярнішим напрямком для застосування блокчейн-технологій в медицині є зберігання і управління даними.

**Перелік посилань:**

1. Hovorushchenko T., Pavlova O., Bodnar M. Development of an intelligent agent for analysis of nonfunctional characteristics in specifications of software requirements. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 1. Issue 2. Pp. 6-17.
2. Syerov Y., Shakhovska N., Fedushko S. Method of the data adequacy determination of personal medical profiles. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 902. Pp. 333-343.
3. Healthcare Industry interest in Blockchain is heating up, Black Book Survey, Q3, 2017. Web-site. URL: <https://www.newswire.com/files/16/40/321b6089f1b01dfd80433bffb0df.pdf> (Last accessed: September 15, 2021).
4. Blockchain в медицине. Примеры использования технологии. Веб-сайт. URL: <https://medium.com/@brdt.pro/blockchain-в-медицине-примеры-использования-технологии-29fae16c5050> (дата обращения: 15.09.2021).
5. Блокчейн-технології в медицині: плюси і як впровадити в Україні. Веб-сайт. URL: <https://novilidery.com/news/blokcheyn-tekhnologii-v-medicini-plyusi-i-yak-vprovaditi-v-ukraini> (дата звернення: 15.09.2021).

УДК 004.451.2:614.2

**АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ УКРАЇНСЬКОГО РИНКУ  
МЕДИЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

О. Ю. Майоров, Т. Д. Нессонова

Харківська медична академія післядипломної освіти МОЗ України

E-mail: info\_khmapo@ukr.net

*The work is devoted to the analysis of the current state of information technologies used to create an electronic health care system in Ukraine from the point of view of the system users. Ways to eliminate the shortcomings identified during the survey are outlined.*

**Вступ.** Метою побудови будь-якої інформаційної системи є підвищення ефективності роботи її користувачів. У впровадженні Української Електронної системи охорони здоров'я (ЕСОЗ) приймає участь велика кількість лікарів та інших медичних працівників. З метою оцінки відношення користувачів до медичних інформаційних систем (МІС), які вони використовують в роботі, нами було проведено онлайн-анкетування та аналіз думок щодо удосконалення програмних продуктів.

## ДОДАТОК Б

### ПРЕЗЕНТАЦІЯ ДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

# МЕТОДИ КЕРУВАННЯ МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙН- ТЕХНОЛОГІЙ

Студент: Осядлий Віталій, гр. КІ2м-20-1  
Керівник д.т.н., проф. Березький О.М.

## ВСТУП

- ▶ Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності керування медичними даними шляхом розроблення методів керування медичними даними на основі блокчейн-технологій.
- ▶ Об'єкт дослідження – процес керування медичними даними
- ▶ Предмет дослідження – методи керування медичними даними на основі блокчейн-технологій

## ВСТУП

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

- 1) аналіз відомих методів та рішень для керування медичними даними на основі блокчейн-технологій;
- 2) моделювання процесу керування медичними даними;
- 3) розроблення методу оцінювання достатності медичних даних;
- 4) розроблення методу виконання транзакцій над медичними даними;
- 5) розроблення архітектури системи керування медичними даними на основі блокчейн-технологій;
- 6) проведення експериментів із керування медичними даними на основі блокчейн-технологій.

## ВСТУП

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у розробленні методів керування медичними даними на основі блокчейн-технологій, котрі дозволяють оцінити множину медичних даних та занести їх в блокчейн (за умови дотримання всіх необхідних вимог):

- 1) вперше розроблені моделі блоку блокчейну, фрагменту блокчейну та вузла блокчейну, представлені у формалізованому та схематичному вигляді, а також моделі процесу керування медичними даними (оцінювання достатності даних та виконання транзакцій над медичними даними), які є теоретичним підґрунтям для розроблення методу керування медичними даними на основі блокчейн-технологій;
- 2) вперше розроблено метод оцінювання достатності медичних даних, який забезпечує можливість аналізу множини медичних даних на предмет їх достатності; можливість кількісного оцінювання достатності медичних даних; в разі недостатності медичних даних у множині, формування рекомендацій щодо доповнення множини медичних даних – як керівництво, яку інформацію слід додати у множину медичних даних для можливості їх завантаження в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну;
- 3) вперше розроблено метод виконання транзакцій над медичними даними, який складається з етапів занесення інформації до блокчейну та отримання інформації з блокчейну. Розроблений метод виконання транзакцій над медичними даними забезпечує: можливість прийняття рішення про додавання транзакції та медичних даних від пацієнта у блокчейн; можливість прийняття рішення про видачу даних з блокчейну за запитом від лікаря.

## ВСТУП

**Практична значущість отриманих результатів** полягає у:

1) розробленні схеми мережі блокчейну, яка візуалізує взаємозв'язки між вузлами, блоками, смарт-контрактом та proof-of-work завданнями блокчейну;

2) розробленні правил для визначення достатності медичних даних, які забезпечують аналіз медичних даних на предмет відшукання всіх наперед визначених необхідних елементів медичних даних; прийняття рішення про достатність або недостатність інформації; виведення візуалізованих підказок, яких елементів даних не вистачає для забезпечення можливості швидкого доповнення даних; кількісну оцінку достатності медичних даних;

3) розробленні архітектури системи керування медичними даними на основі блокчейн-технологій, а також у проектуванні та реалізації її окремих модулів.

## ПУБЛІКАЦІЇ ТА КОНФЕРЕНЦІЇ

За темою дипломної роботи опублікована одна стаття у закордонному науковому виданні, що індексується в наукометричній базі Scopus, 1 тези доповіді, подано до друку 1 статтю у закордонному науковому виданні, що індексується в наукометричній базі Scopus, та взято участь у 4-th International Conference on Informatics & Data-Driven Medicine (November 19-21 2021, Valencia, Spain), а також у Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні системи та технології в медицині», що проходила 25-26 листопада 2021 р. в НАУ «ХА» (м. Харків):

- ▶ Москаленко А.О., Говарущенко Т.О., Осядлий В.В. Дослідження рішень для автоматизації роботи лікарів на основі блокчейн-технологій // Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні системи та технології в медицині» ISM-2021 (Харків, 25-26 листопада 2021). С. 42-44. **ТЕЗИ**
- ▶ T. Hovorushchenko, Ye. Hnatchuk, A. Herts, A. Moskalenko, V. Osyadlyi. Theoretical and Applied Principles of Information Technology for Supporting Medical Decision-Making Taking into Account the Legal Basis. CEUR-WS. 2021. Vol. 3038. Pp. 172-181. **СТАТТЯ, ІНДЕКСОВАНА У НАУКОМЕТРИЧНІЙ БАЗІ SCOPUS**
- ▶ T. Hovorushchenko, A. Moskalenko, V. Osyadlyi. Methods of Medical Data Management Based on Blockchain Technologies. Journal of Reliable Intelligent Environments, Special Issue on Smart Technologies and its Application for Medical/Healthcare Services. 2022. **ПОДАНА СТАТТЯ ДО ЖУРНАЛУ, ІНДЕКСОВАНОГО У НАУКОМЕТРИЧНІЙ БАЗІ SCOPUS**

## АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТА РІШЕНЬ ДЛЯ КЕРУВАННЯ МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЙ

Впровадження новітніх конкурентоспроможних інформаційних технологій в усі сфери людської діяльності з метою автоматизації процесів, зменшення частки фізичної праці та мінімізації впливу людського фактору є основною стратегічною метою розвитку інформаційного суспільства в Україні.

На сьогодні процеси прийняття рішень у сфері охорони здоров'я є трудомісткими та складними. Продуктивність праці медичних працівників може бути збільшена завдяки використанню систем підтримки прийняття рішень (СППР) та інформаційних технологій (ІТ). Використання медичних ІТ та СППР надає лікарям актуальну інформацію в галузі медицини, підвищує ефективність використання актуальних медичних ресурсів, підвищує продуктивність роботи, інтегрує українську медицину в світовий медичний простір. ІТ допомагають у прийнятті рішень, що особливо важливо в сучасну епоху («доказової» медицини). Саме інформаційні технології можуть зменшити кількість медичних помилок, надати більш надійні рішення та зменшити витрати на охорону здоров'я. Крім цього, вельми корисними, але в той же час складними для проектування є кросдисциплінарні медичні ІТ.

Інтелектуальні ІТ можуть направляти лікарів у прийнятті рішень, постановці діагнозу та покращенні контракту. Це може знизити витрати на охорону здоров'я за рахунок зменшення медичних помилок і надання більш надійних прогнозів.

## АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТА РІШЕНЬ ДЛЯ КЕРУВАННЯ МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЙ

Сьогодні медичні інформаційні технології повинні відповідати 4 вимогам: ефективність, безпека, новизна та економічна вигода. Сфера охорони здоров'я в Україні давно потребує змін, і безліч можливостей блокчейн-технології (blockchain) можуть допомогти їй очолити трансформацію цієї сфери та забезпечити відповідність зазначеним 4-м вимогам. Доказом зростання затребуваності блокчейн-технології може служити результат дослідження команди «Black Book». В ході цього дослідження було опитано 88 споживачів системи охорони здоров'я (серед них – представники страхових компаній, споживачі медичних послуг) та 276 постачальників медичних послуг (відповідальних за технологічний процес фахівців, менеджерів і ІТ-фахівців). «Black Book» виявив, що 19% керівників медичними організаціями та 76% представників, які оплачують медичні послуги, розглядали або вже застосовували рішення на основі блокчейн-технології. Таким чином, підвищена увага до технології розподілених реєстрів привела до розуміння потенціалу застосування блокчейн-технології в системі охорони здоров'я.

Отже, наразі актуальною задачею є потреба у керуванні медичними даними на основі блокчейн-технологій.

Проведено аналіз відомих методів та рішень для керування медичними даними на основі блокчейн-технологій, зокрема, проаналізовано відомі методи та інформаційні технології для керування медичними даними, проведено дослідження типів та можливостей блокчейн-технологій, виконано дослідження застосування блокчейн-технологій при побудові інформаційних технологій для керування медичними даними. На основі проведеного аналізу були зроблені висновки щодо актуальності та необхідності підвищення ефективності керування медичними даними шляхом розроблення методів керування медичними даними на основі блокчейн-технологій та виконано постановку задачі дипломної роботи.

## МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ В ПРОЦЕСІ КЕРУВАННЯ МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ



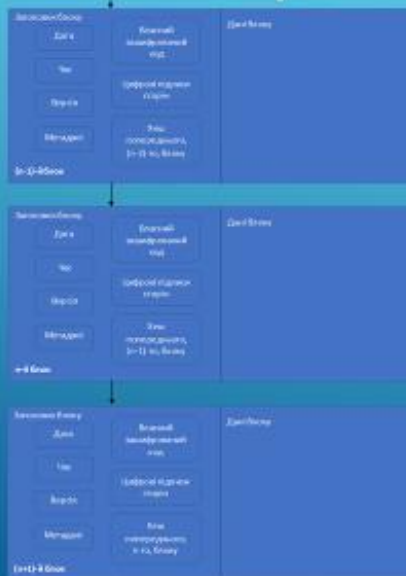
Структура блоку блокчейну

Представимо тоді блок блокчейну у формалізованому вигляді – у вигляді кортежу його елементів:

$$B = \langle H, D \rangle = \langle (d, t, v, md, ec, ds, hb), D \rangle, \quad (2.1)$$

де  $H$  – заголовок блоку,  $D$  – дані блоку,  $d$  – дата,  $t$  – час,  $v$  – версія,  $md$  – метадані,  $ec$  – власний зашифрований код,  $ds$  – цифрові підписи сторін,  $hb$  – хеш попереднього блоку.

## МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ В ПРОЦЕСІ КЕРУВАННЯ МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ



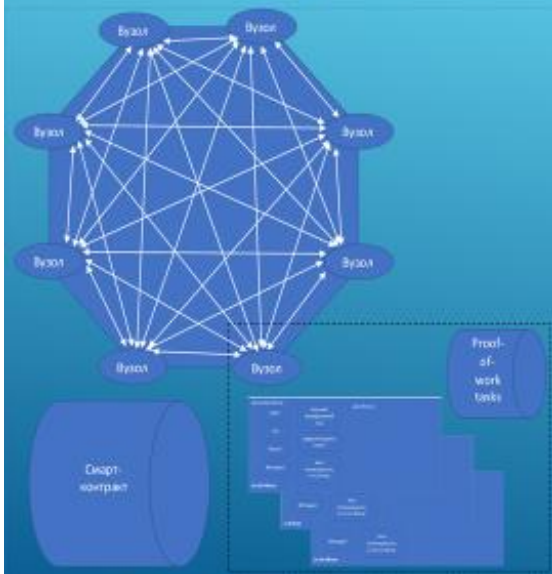
Фрагмент блокчейну

Представимо тоді такий фрагмент блокчейну у формалізованому вигляді – у вигляді множини кортежів, які представляють блоки блокчейну:

$$\begin{aligned}
 BCH &= \{B_1, B_2, \dots, B_{n-1}, B_n, B_{n+1}, \dots\} = \\
 &= \{ \langle (d_1, t_1, v_1, md_1, ec_1, ds_1), D_1 \rangle, \\
 &\quad \langle (d_2, t_2, v_2, md_2, ec_2, ds_2, hb_1), D_2 \rangle, \dots, \\
 &\quad \langle (d_{n-1}, t_{n-1}, v_{n-1}, md_{n-1}, ec_{n-1}, ds_{n-1}, hb_{n-2}), D_{n-1} \rangle, \\
 &\quad \langle (d_n, t_n, v_n, md_n, ec_n, ds_n, hb_{n-1}), D_n \rangle, \\
 &\quad \langle (d_{n+1}, t_{n+1}, v_{n+1}, md_{n+1}, ec_{n+1}, ds_{n+1}, hb_n), D_{n+1} \rangle, \\
 &\quad \dots \}
 \end{aligned} \quad (2.2)$$

де номер елемента  $hb$  вказує, що це хеш саме попереднього блоку.

## МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ В ПРОЦЕСІ КЕРУВАННЯ МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ



Мережа блокчейну

Представимо вузол блокчейну у наступному формалізованому вигляді:

$$\begin{aligned}
 BCH = & \langle \langle (d_1, t_1, v_1, md_1, ec_1, ds_1), D_1 \rangle \rangle \\
 & \langle (d_2, t_2, v_2, md_2, ec_2, ds_2, hb_1), D_2 \rangle \dots \\
 & \langle (d_{n-1}, t_{n-1}, v_{n-1}, md_{n-1}, ec_{n-1}, ds_{n-1}, hb_{n-2}), D_{n-1} \rangle \dots \\
 & \langle (d_n, t_n, v_n, md_n, ec_n, ds_n, hb_{n-1}), D_n \rangle \\
 & \langle (d_{n+1}, t_{n+1}, v_{n+1}, md_{n+1}, ec_{n+1}, ds_{n+1}, hb_n), D_{n+1} \rangle \dots \rangle, T \rangle
 \end{aligned} \quad (2.3)$$

де  $T$  – множина Proof-of-Work tasks.

## МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ В ПРОЦЕСІ КЕРУВАННЯ МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ



Структура і зміст інформаційних потоків в процесі керування медичними даними

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ: ОЦІНЮВАННЯ ДОСТАТНОСТІ

Процес оцінювання достатності медичних даних полягає у:

1) аналізі медичних даних на предмет відшукування всіх наперед визначених необхідних елементів медичних даних;

2) прийнятті рішення про достатність або недостатність інформації – якщо всі наперед визначені необхідні елементи медичних даних наявні, то приймається рішення про достатність інформації і можливість занесення їх в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну; якщо не всі наперед визначені необхідні елементи медичних даних наявні, то приймається рішення про недостатність інформації і доповнення даних перед занесенням їх в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну;

3) для можливості швидкого доповнення даних виводяться підказки стосовно того, які саме необхідні елементи медичних даних відсутні, як керівництво, які елементи даних слід додати для можливості їх завантаження в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну.

Додатково може бути обчислена кількісна оцінка достатності медичних

даних за формулою:

$$smd = \frac{amd}{md}, \quad (2.5)$$

де  $amd$  – кількість доступних елементів медичних даних;  $md$  – необхідна кількість елементів медичних даних.

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ: ВИКОНАННЯ ТРАНЗАКЦІЙ

Процес виконання транзакцій над медичними даними (занесення інформації до блокчейну) складається з наступних кроків:

- 1) завантаження даних користувачами (пацієнтами) в хмарне середовище;
- 2) перевірка (в т.ч. на достатність) та анонімізація (видалення ідентифікатора пацієнта) даних;
- 3) шифрування даних методом симетричного шифрування;
- 4) відправка ключів зберігачам по прямим аутентифікованих каналах зв'язку;
- 5) генерація службової транзакції (з відкритим ключем, інформацією про тип даних та посиланням на дані у хмарному середовищі), яка повідомляє інших учасників екосистеми про завантаження даних у хмару;
- 6) прийняття рішення про можливість додавання транзакції у блокчейн за допомогою алгоритму консенсусу;
- 7) перевірка інформації валідаторами;
- 8) генерація службової транзакції (з хешами даних та результатом валідації);
- 9) якщо дані пройшли перевірку, то відбувається запис інформації у блокчейн, і інформація про пацієнта стає доступною для інших учасників. Інакше користувачу надається відмова у записі інформації до блокчейну.



# МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ДОСТАТНОСТІ МЕДИЧНИХ ДАНИХ

Враховуючи, що дані блоку  $D$  є множиною записів:  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_k\}$ , а індивідуальний запис в множині медичних даних сприймається як система із трьох елементів, тоді етапони медичні дані при едставимо у вигляді множини:

$$D_m = \{ \langle dtp_{1i}, dtm_{1i}, dq_{1i} \rangle, \langle dtp_{2i}, dtm_{2i}, dq_{2i} \rangle, \dots, \langle dtp_{ki}, dtm_{ki}, dq_{ki} \rangle \}, \quad (3.1)$$

де  $dtp_{ik}$  - тип даних;  $dtm_{ik}$  - час даних;  $dq_{ik}$  - якість даних;  $i=1, k$ ,  $k$  - кількість записів в множині медичних даних, які готуються до занесення у блок блокефейну.

Назви ж множини медичних даних, які плануються до занесення у блок блокефейну, можуть бути представлені у вигляді матриці:

$$D_m = \begin{pmatrix} dtp_{1i} & dtm_{1i} & dq_{1i} \\ dtp_{2i} & dtm_{2i} & dq_{2i} \\ \dots & \dots & \dots \\ dtp_{ki} & dtm_{ki} & dq_{ki} \end{pmatrix}, \quad (3.2)$$

де елементи  $dtp_{ik}$ ,  $dtm_{ik}$ ,  $dq_{ik}$  ( $i=1, k$ ;  $k$  - кількість записів в множині медичних даних, які готуються до занесення у блок блокефейну) можуть бути частотні, інші медичні дані у множині є нечастотними.

Враховуючи, що всі наведені у формулі (3.1) елементи медичних даних є обов'язковими з точки зору достатності медичних даних, то правила для визначення достатності медичних даних мають вигляд:

1) якщо в  $i$ -му записі даних множини  $D_m$  ( $i=1, k$ ) наявна інформація про тип даних (названий елемент  $dtp_{ik}$ ), то:  $sdtp = sdtp + 1$  та  $b[i,1]=1$ , інакше  $b[i,1]=0$ ;

2) якщо в  $i$ -му записі даних множини  $D_m$  ( $i=1, k$ ) наявна інформація про час даних (названий елемент  $dtm_{ik}$ ), то:  $sdtm = sdtm + 1$  та  $b[i,2]=1$ , інакше  $b[i,2]=0$ ;

якщо в  $i$ -му записі даних множини  $D_m$  ( $i=1, k$ ) наявна інформація про якість даних (названий елемент  $dq_{ik}$ ), то:  $sdq = sdq + 1$  та  $b[i,3]=1$ , інакше  $b[i,3]=0$ .

Враховуючи особливості формування матриці  $B$  (таблиці 3.1 і 3.2), правила для формування рекомендацій щодо доповнення множини медичних даних мають вигляд:

1) якщо  $b[i,1]=0$ , то користувачу надається рекомендація щодо доповнення  $i$ -го запису даних блоку ( $i=1, k$ ) інформацією про тип даних;

2) якщо  $b[i,2]=0$ , то користувачу надається рекомендація щодо доповнення  $i$ -го запису даних блоку ( $i=1, k$ ) інформацією про час даних;

якщо  $b[i,3]=0$ , то користувачу надається рекомендація щодо доповнення  $i$ -го запису даних блоку ( $i=1, k$ ) інформацією про якість даних.

# МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ДОСТАТНОСТІ МЕДИЧНИХ ДАНИХ

Метод оцінювання достатності медичних даних складається з наступних кроків:

1) Анонімізація медичних даних  $D_m$  перед занесенням їх у розділ «Дані блоку» блоку блокефейну з використанням кожного з розроблених правил для визначення достатності медичних даних та підрахунок кільцества  $sdtp$ ,  $sdtm$ ,  $sdq$ ;

2) Обчислення кількісної оцінки достатності медичних даних за формулою:

$$zfnud = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{sdtp}{k} + \frac{sdtm}{k} + \frac{sdq}{k} \right); \quad (3.3)$$

3) Якщо  $sdtp = k$  та  $sdtm = k$  та  $sdq = k$  та  $zfnud = 1$ , то приймається рішення про достатність медичних даних в множині  $D_m$  (оскільки всі елементи множини медичних даних є обов'язковими з точки зору достатності медичних даних і наявні у множині  $D_m$  медичних даних, які готуються до занесення у блок блокефейну) і занесення даних множини  $D_m$  в розділ «Дані блоку» блоку блокефейну;

4) Якщо  $sdtp < k$  або  $sdtm < k$  або  $sdq < k$  або  $zfnud < 1$ , то проводиться рішення про недостатність медичних даних у множині  $D_m$ ; така множина медичних даних потребує доопрацювання перед занесенням цих даних в розділ «Дані блоку» блоку блокефейну; користувачу надається рекомендація щодо доповнення множини медичних даних – згідно із правилами для формування рекомендацій щодо доповнення множини медичних даних  $D_m$  – як користувачу, яку інформацію слід додати у множині медичних даних  $D_m$  для можливості їх занесення в розділ «Дані блоку» блоку блокефейну; відбувається доповнення множини медичних даних  $D_m$ ; відбувається повернення на крок 1 Методу.

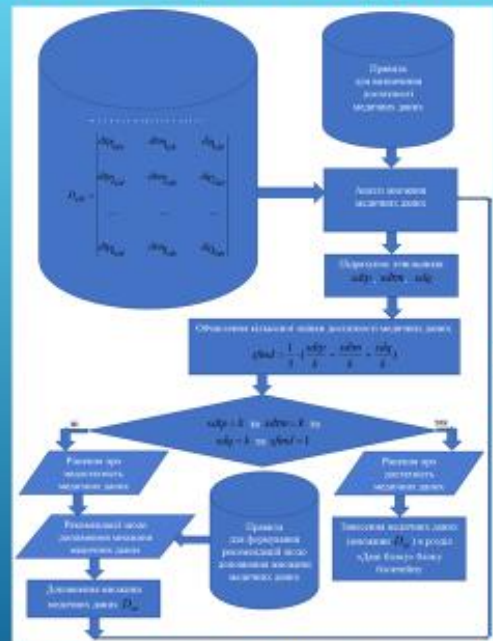


Схема методу оцінювання достатності медичних даних

# МЕТОД ВИКОНАННЯ ТРАНЗАКЦІЙ НАД МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ

Метод виконання транзакцій над медичними даними складається з наступних кроків:

*І етап – завантаження інформації до блокчейну:*

- 1) завантаження даних користувачами (пацієнтами) в хмарне середовище;
- 2) анонімізація (видалення ідентифікатора пацієнта) даних;
- 3) шифрування даних методом симетричного шифрування;
- 4) відправка ключів зберігачам по каналах аутентифікованих каналів зв'язку;
- 5) генерація службової транзакції (з відкритим ключем, інформацією про тип даних та посиланням на дані у хмарному середовищі), яка поводить в інших учасників екосистеми про завантаження даних у мережу;

6) прийняття рішення про можливість дозволена медичних даних у блокчейні за допомогою алгоритму консенсусу (блок походить з кожного екземпляром реєстру, якщо всі екземпляри реєстру співпадають, то транзакція затверджується);

- 7) перевірка інформації валідаторами;
- 8) генерація службової транзакції (з хешем даних та результатом валідації);
- 9) якщо дані пройшли перевірку, то відбувається запис інформації у блокчейн, і інформація про записи стає доступною для інших учасників, таким чином користувачу надіється відмова у записі інформації до блокчейну;

*II етап – отримання інформації з блокчейну:*

10) якщо мережа для проведення досліджень або постановки діагнозу необхідні певні дані, то відбувається формування запиту до валідаторів;

- 11) дозволена запису валідаторами у блокчейні;
- 12) повідомлення валідаторами зберігачам, що потрібно запитати старіє криптографічні ключі для розшифровки даних із мережі;
- 13) отримання ключів – якщо отримано ключі від валідаторів та зберігачів.

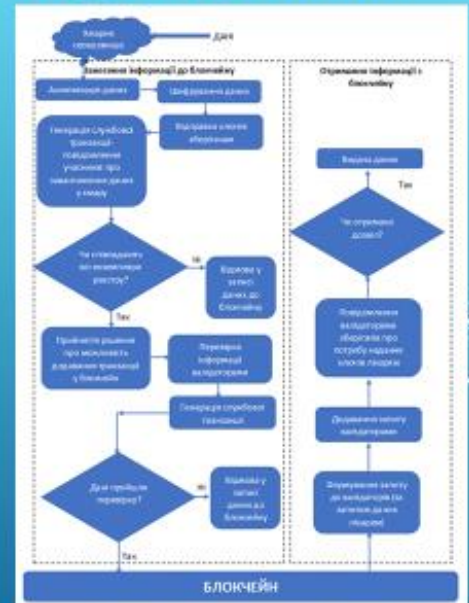


Схема методу виконання транзакцій над медичними даними

# ВДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ РЕПУТАЦІЇ МЕДИЧНОЇ УСТАНОВОЇ (ЯК МАЙНЕРА БЛОКЧЕЙНУ)

Вдосконалений метод оцінювання репутації медичної установи (як майнера блокчейну) складається з наступних кроків:

- 1) ввести значення довжини поточного блокчейну  $lb$ ;
- 2) ввести значення розміру блоку в поточному блокчейні  $zbl$ ;
- 3) визначити кількість блоків у поточному блокчейні:  $kbl = \frac{lb}{zbl}$ ;
- 4) підрахувати кількість медичних транзакцій у блокчейні  $kntv$ ;
- 5) підрахувати кількість транзакцій реєстру в блокчейні  $kntv$ ;
- 6) ввести кількість медичних транзакцій  $mt$ , для кожного блоку, одержувачем яких є розглядувана медична установа;

7) ввести кількість транзакцій реєстру  $rt$ , для кожного блоку, одержувачем яких є розглядувана медична установа;

8) ввести оцінку майнера в форматі логічної змінної  $f$ : якщо дана медична установа зарекомендувала себе чесним майнером, то  $f = 1$ , інакше  $f = 0$ ;

9) ввести параметри репутації системи  $(\alpha, \lambda)$ ;

10) розрахувати середнє значення  $mean_{mt} = \frac{\sum_{i=1}^{kntv} mt_i}{kntv}$ ;

11) розрахувати середнє значення  $mean_{rt} = \frac{\sum_{i=1}^{kntv} rt_i}{kntv}$ ;

12) розрахувати стандартне відхилення  $\sigma_{rt} = \sqrt{\frac{1}{kbl} \left( \frac{\sum_{i=1}^{kntv} rt_i}{zbl} - \frac{\sum_{i=1}^{kntv} rt_i}{kntv} \right)^2}$ ;

13) розрахувати стандартне відхилення  $\sigma_{mt} = \sqrt{\frac{1}{kbl} \left( \frac{\sum_{i=1}^{kntv} mt_i}{zbl} - \frac{\sum_{i=1}^{kntv} mt_i}{kntv} \right)^2}$ ;

14) розрахувати значення  $q_1 = \frac{mean_{rt}}{1 + \sigma_{rt}}$ ;

15) розрахувати значення  $q_2 = \frac{mean_{mt}}{1 + \sigma_{mt}}$ ;

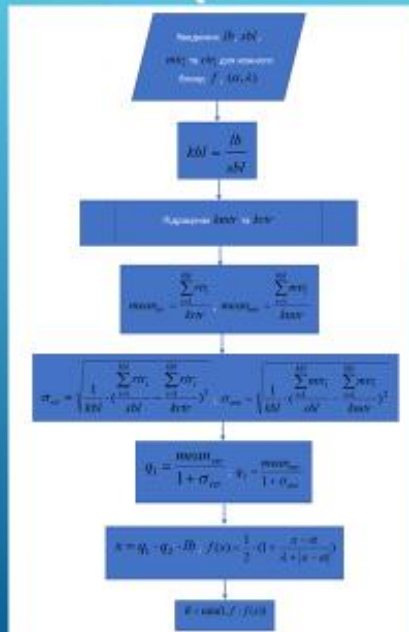
16) визначити  $x = q_1 - q_2 \cdot lb$ ;

17) визначити  $f(x) = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{x - \alpha}{\lambda + |x - \alpha|} \right)$ ;

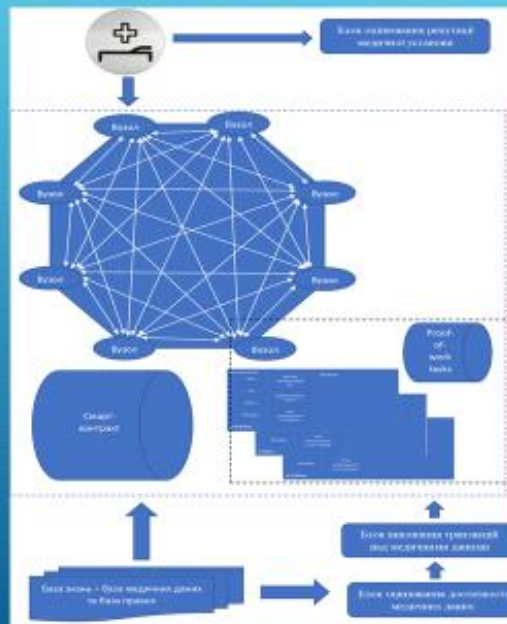
18) розрахувати та оцінити репутацію медичної установи (як майнера блокчейну):  $R = \min(1, f \cdot f(x))$ ;

19) прийняття рішення щодо репутації медичної установи – чим більшим є значення  $R$ , тим вищою є репутація та довіра до медичної установи як до майнера блокчейну.

# ВДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ РЕПУТАЦІЇ МЕДИЧНОЇ УСТАНОВОЇ (ЯК МАЙНЕРА БЛОКЧЕЙНУ)



# СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЙ



## ЕКСПЕРИМЕНТИ ІЗ КЕРУВАННЯ МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЙ

Для першого експерименту оцінимо достатність множини даних медичних карт амбулаторних хворих амбулаторії сімейної медицини, які плануються до занесення блоку даних блоку блокчейну.

Розглядувана множина медичних даних складається з 10 записів, причому в першому записі відсутній елемент «час даних», в другому записі відсутні елементи «тип даних» і «якість даних», в третьому записі відсутні елементи «час даних» і «якість даних», в четвертому записі відсутній елемент «тип даних», в п'ятому записі наявні всі три елементи, в шостому записі відсутній елемент «якість даних», в сьомому записі наявні всі три елементи, у восьмому записі відсутні елементи «тип даних», «час даних», у дев'ятому записі наявні всі три елементи, а у десятому записі відсутній елемент «час даних», тому матриця  $B_1$  має наступний вигляд – таблиця 4.1.

Лічильники  $sdtp$ ,  $sdtn$ ,  $sdq$  в такому випадку мають наступні значення:  $sdtp_1 = 7$ ,  $sdtn_1 = 6$ ,  $sdq_1 = 7$ .

Таблиця 4.1 – Матриця  $B_1$  для множини даних медичних карт амбулаторних хворих амбулаторії сімейної медицини (експеримент 1)

	1 (тип даних $dt_{p_i}$ )	2 (час даних $dt_{n_i}$ )	3 (якість даних $dq_{p_i}$ )
1	1	0	1
2	0	1	0
3	1	0	0
4	0	1	1
5	1	1	1
6	1	1	0
7	1	1	1
8	0	0	1
9	1	1	1
10	1	0	1

Дані обчислимо кількісну оцінку достатності медичних даних за формулою (3.3), виходячи, що множина даних медичних карт амбулаторних хворих амбулаторії сімейної медицини, які плануються до занесення блоку даних блоку блокчейну, складається із 10 записів, тобто  $k_1 = 10$ :

$$sfind_1 = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{sdtp_1}{k_1} + \frac{sdtn_1}{k_1} + \frac{sdq_1}{k_1} \right) = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{7}{10} + \frac{6}{10} + \frac{7}{10} \right) = 0,67$$

Оскільки  $sdtp < k$  та  $sdtn < k$  та  $sdq < k$  та  $sfind < 1$ , то приймається рішення про недостатність медичних даних у множині  $D_1$  медичних карт амбулаторних хворих амбулаторії сімейної медицини. Отже, розглядувана множина медичних даних потребує доопрацювання перед занесенням цих даних в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну.

## ЕКСПЕРИМЕНТИ ІЗ КЕРУВАННЯ МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЙ

Для експерименту 1 розглядувана множина медичних даних була доповнена, після чого ця множина даних знову була проаналізована з використанням кожного з розроблених правил для визначення достатності медичних даних та були підраховані лічильники  $sdtp$ ,  $sdtn$ ,  $sdq$ .

Після доопрацювання в першому записі відсутній елемент «час даних», в другому записі відсутній елемент «якість даних», в третьому записі відсутній елемент «якість даних», в усіх інших записах наявні всі три елементи, тому матриця  $B_1$  має наступний вигляд – таблиця 4.2.

Лічильники  $sdtp$ ,  $sdtn$ ,  $sdq$  в такому випадку мають наступні значення:  $sdtp_1 = 10$ ,  $sdtn_1 = 9$ ,  $sdq_1 = 8$ .

Дані обчислимо кількісну оцінку достатності медичних даних за формулою (3.3):

$$sfind_1 = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{sdtp_1}{k_1} + \frac{sdtn_1}{k_1} + \frac{sdq_1}{k_1} \right) = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{10}{10} + \frac{9}{10} + \frac{8}{10} \right) = 0,9$$

Таблиця 4.2 – Матриця  $B_1$  для доопрацьованої множини даних медичних карт амбулаторних хворих амбулаторії сімейної медицини (експеримент 1)

	1 (тип даних $dt_{p_i}$ )	2 (час даних $dt_{n_i}$ )	3 (якість даних $dq_{p_i}$ )
1	1	0	1
2	1	1	0
3	1	1	0
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1
9	1	1	1
10	1	1	1

Наразі  $sdtp = k$ , проте  $sdtn < k$  та  $sdq < k$  та  $sfind < 1$ , тому знову приймається рішення про недостатність медичних даних у множині  $D_1$  медичних карт амбулаторних хворих амбулаторії сімейної медицини. Отже, розглядувана множина медичних даних знову потребує доопрацювання перед занесенням цих даних в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну.

## ЕКСПЕРИМЕНТИ ІЗ КЕРУВАННЯ МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЙ

Оцінюємо тепер репутацію медичної установи (наприклад, двох різних амбулаторій сімейної медицини) – як майнера блокчейну, використовуючи вдосконалений метод оцінювання репутації медичної установи (як майнера блокчейну).

Для *першого експерименту* значення довжини поточного блокчейну  $lb=110$ ; значення розміру блоку в поточному блокчейні  $sbl=10$ ; тоді кількість блоків у поточному блокчейні:  $kbl = \frac{lb}{sbl} = \frac{110}{10} = 11$ ; кількість медичних транзакцій у блокчейні  $ktr = 40$ ; кількість транзакцій реєстру в блокчейні  $ktr = 50$ ; кількість медичних транзакцій для кожного блоку, одержувачем яких є розглядувана медична установа,  $mt_1 = 2, mt_2 = 1, mt_3 = 2, mt_4 = 3, mt_5 = 4, mt_6 = 3, mt_7 = 1, mt_8 = 5, mt_9 = 1, mt_{10} = 5, mt_{11} = 3$ ; кількість транзакцій реєстру для кожного блоку, одержувачем яких є розглядувана медична установа,  $rt_1 = 3, rt_2 = 5, rt_3 = 2, rt_4 = 1, rt_5 = 3, rt_6 = 4, rt_7 = 6, rt_8 = 1, rt_9 = 7, rt_{10} = 1, rt_{11} = 2$ ; оцінка майнера в форматі логічної змінної  $f=1$ , оскільки дана медична установа зарекомендувала себе чесним майнером; параметри репутації системи ( $\alpha = 0.75, \beta = 0.85$ ).

Тоді середнє значення  $mean_{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^{ktr} rmt_i}{ktr} = \frac{35}{50} = 0.7$ ; середнє значення

$$mean_{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^{ktr} mtr_i}{ktr} = \frac{30}{40} = 0.75; \quad \text{стандартне відхилення}$$

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\frac{1}{kbl} \left( \frac{\sum_{i=1}^{sbl} rmt_i}{sbl} - \frac{\sum_{i=1}^{ktr} rmt_i}{ktr} \right)^2} = \sqrt{\frac{1}{11} \left( \frac{35}{10} - \frac{35}{50} \right)^2} = 0.85; \quad \text{стандартне відхилення}$$

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\frac{1}{kbl} \left( \frac{\sum_{i=1}^{sbl} mtr_i}{sbl} - \frac{\sum_{i=1}^{ktr} mtr_i}{ktr} \right)^2} = \sqrt{\frac{1}{11} \left( \frac{30}{10} - \frac{30}{40} \right)^2} = 0.68; \quad \text{стандартне відхилення}$$

$$q_1 = \frac{mean_{\alpha}}{1 + \sigma_{\alpha}} = \frac{0.7}{1 + 0.85} = 0.38; \quad \text{значення} \quad q_2 = \frac{mean_{\alpha}}{1 + \sigma_{\alpha}} = \frac{0.75}{1 + 0.68} = 0.45; \quad \text{значення}$$

$$x = q_1 \cdot \sigma_2 \cdot lb = 0.38 \cdot 0.45 \cdot 110 = 18.81.$$

Визначимо  $f(x) = \frac{1}{2} \cdot \left( 1 + \frac{x - \sigma}{\beta + |x - \sigma|} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left( 1 + \frac{18.81 - 0.75}{0.85 + |18.81 - 0.75|} \right) = 0.98$ . Тоді репутацію медичної установи (як майнера блокчейну):  $R = \min(1, f(x)) = \min(1, 0.98) = 0.98$ . Отже, репутація та довіра до медичної установи (сімейної амбулаторії №1) як до майнера блокчейну в даному випадку є високою.

## ВИСНОВКИ

- У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень реалізовано підвищення ефективності керування медичними даними шляхом розроблення методів керування медичними даними на основі блокчейн-технологій.
- У першому розділі проведено аналіз відомих методів та рішень для керування медичними даними на основі блокчейн-технологій, зокрема, проаналізовано відомі методи та інформаційні технології для керування медичними даними, проведено дослідження типів та можливостей блокчейн-технологій, виконано дослідження застосування блокчейн-технологій при побудові інформаційних технологій для керування медичними даними. На основі проведеного аналізу були зроблені висновки щодо актуальності та необхідності підвищення ефективності керування медичними даними шляхом розроблення методів керування медичними даними на основі блокчейн-технологій та виконано постановку задачі дипломної роботи.
- У другому розділі проведено моделювання процесу керування медичними даними, зокрема, проведено моделювання руху інформаційних потоків в процесі керування медичними даними, моделювання процесу керування медичними даними з точки зору оцінювання достатності медичних даних та виконання транзакцій над медичними даними.

## ВИСНОВКИ

- ▶ У третьому розділі розроблено методи керування медичними даними на основі блокчейн-технологій, зокрема, розроблено метод оцінювання достатності медичних даних, метод виконання транзакцій над медичними даними, алгоритми керування медичними даними на основі блокчейн-технології.
- ▶ У четвертому розділі показано особливості керування медичними даними на основі блокчейн-технологій. Розроблено архітектуру системи керування медичними даними на основі блокчейн-технологій, проведено експерименти із керування медичними даними на основі блокчейн-технологій – експерименти з оцінювання достатності медичних даних (отриманих для прикладу від двох різних амбулаторій сімейної медицини), а також експерименти з оцінювання репутації медичної установи (наприклад, двох різних амбулаторій сімейної медицини).

Ім'я користувача:  
Кафедра КІ

Дата перевірки:  
26.04.2022 17:35:32 EEST

Дата звіту:  
26.04.2022 17:36:02 EEST

ID перевірки:  
1010957630

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

ID користувача:  
100005591

Назва документа: **Осядлий ДР\_на антиплагіат**

Кількість сторінок: 99 Кількість слів: 17654 Кількість символів: 129619 Розмір файлу: 2.99 MB ID файлу: 1010865495

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

## 5.36% Схожість

Найбільша схожість: 0.95% з Інтернет-джерелом (<https://guland.com.ua/kryptovalyuta/blockchain/tsentralizovanyy-i-d...>)

5% Джерела з Інтернету 79 ..... Сторінка 101

0.66% Джерела з Бібліотеки 79 ..... Сторінка 102

## 0.5% Цитат

Цитати 2 ..... Сторінка 103

Не знайдено жодних посилань

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 13

Підозріле форматування 15 сторінок

## Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 0,0%

Словари проверки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Ошибок в документах: 12%

ID: 103063 Название: Методи керування медичними даними на основі блокчейн-технологій Добавлено в БД: 2022-04-26 Авторы: Осядий В.В. Руководитель: Березиль О.М. Консультанты: Опоненты:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	119207	695	729 (1%)	8 (1%)

Источник плагиата		Наличие плагиата в документе	
ID	Описание	Символы	Лексемы

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Осядлий Віталій Віталійович

Тема: Методи керування медичними даними на основі блокчейн-технологій

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг дипломної роботи:

Кількість сторінок записки 154 с.

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності керування медичними даними шляхом розроблення методів керування медичними даними на основі блокчейн-технологій.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі проведено аналіз відомих методів та рішень для керування медичними даними на основі блокчейн-технологій, зокрема, проаналізовано відомі методи та інформаційні технології для керування медичними даними, проведено дослідження типів та можливостей блокчейн-технологій, виконано дослідження застосування блокчейн-технологій при побудові інформаційних технологій для керування медичними даними. В другому розділі проведено моделювання процесу керування медичними даними, зокрема, проведено моделювання руху інформаційних потоків в процесі керування медичними даними, моделювання процесу керування медичними даними з точки зору оцінювання достатності медичних даних та виконання транзакцій над медичними даними. Вперше розроблені моделі блоку блокчейну, фрагменту блокчейну та вузла блокчейну, представлені у формалізованому та схематичному вигляді, а також моделі процесу керування медичними даними (оцінювання достатності даних та виконання транзакцій над медичними даними), які є теоретичним підґрунтям для розроблення методу керування медичними даними на основі блокчейн-технологій. В третьому розділі розроблено методи керування

медичними даними на основі блокчейн-технологій, зокрема, розроблено метод оцінювання достатності медичних даних, метод виконання транзакцій над медичними даними, алгоритми керування медичними даними на основі блокчейн-технології. Вперше розроблено метод оцінювання достатності медичних даних, який забезпечує: можливість аналізу множини медичних даних на предмет їх достатності; можливість кількісного оцінювання достатності медичних даних; в разі недостатності медичних даних у множині, формування рекомендацій щодо доповнення множини медичних даних – як керівництво, яку інформацію слід додати у множину медичних даних для можливості їх завантаження в розділ «Дані блоку» блоку блокчейну. Вперше розроблено метод виконання транзакцій над медичними даними, який складається з етапів занесення інформації до блокчейну та отримання інформації з блокчейну. Розроблений метод виконання транзакцій над медичними даними забезпечує: можливість прийняття рішення про додавання транзакції та медичних даних від пацієнта у блокчейн; можливість прийняття рішення про видачу даних з блокчейну за запитом від лікаря. В четвертому розділі показано особливості керування медичними даними на основі блокчейн-технологій; розроблено архітектуру системи керування медичними даними на основі блокчейн-технологій, проведено експерименти із керування медичними даними на основі блокчейн-технологій.

4. Позитивні сторони роботи: отримання трьох пунктів наукової новизни.

5. Негативні сторони роботи:

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на високому науково-технічному рівні.


8. Інші зауваження: \_\_\_\_\_

9. Оцінка дипломної роботи: відмінно.

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) \_\_\_\_\_

*Бедратюк Леонід Петрович, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри інженерії ПЗ ХНУ*

“28” 04 2022 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри КПС  
д-р.техн.наук, проф. Говорущенко Т. О.

Осядлого Віталія Віталійовича

---

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курсу, групи КІ2м-20-1

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіатоповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

25 квітня 2022 року



**РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ**  
**КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОМАЦІЙНИХ СИСТЕМ**  
**ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Методи керування медичними даними на основі блокчейн-технологій

Автор: Осядлий Віталій Віталійович

Спеціальність: 123 – Компютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-наукова

Науковий керівник: Березький Олег Миколайович, д.т.н, професор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) найбільшу схожість встановлено з одним документом і становить вона 0.95% в частині загальноприйнятої термінології;
- 4) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості, складає 5.36% і адресується до 43 першоджерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

О. М. Березький

Гарант ОНП

О. С. Савенко

Завідувач кафедри КІІС

Т. О. Говорущенко