

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2022-70-2-4>

УДК 004.9: 004.056.53: 004.622

Віталій ОСЯДЛИЙ

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-7861-4684>

e-mail: vitalik9865@gmail.com

Артем МОСКАЛЕНКО

Міжнародний науково-технічний університет ім. академіка Ю. Бугая

<https://orcid.org/0000-0001-7433-3105>

e-mail: a.moskalenko@istu.edu.ua

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЙ

В статті проведено аналіз архітектур відомих систем керування медичними даними на основі блокчейн-технологій, а також розроблено архітектуру системи для керування медичними даними на основі розроблених раніше авторами методів 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).

Ключові слова: блокчейн-технологія, медичні дані, система керування медичними даними.

Vitalii OSYADLYI

Khmelnitskyi National University

Artem MOSKALENKO

Academician Yuriy Bugay International Scientific and Technical University

SYSTEM OF MEDICAL DATA MANAGEMENT BASED ON BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES

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. Information systems are a key factor in the success of medical research and health care. The use of medical information systems 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. The exchange of medical data in accordance with the Law on Medical Confidentiality requires experts to be thoroughly acquainted with its complex provisions for verification. Recently, increased attention to the technology of distributed registries has led to an understanding of the potential of blockchain technologies in building information systems for the health care system. Blockchain has already proven its effectiveness in health and science, helping to build trust and optimize cooperation. Moreover, this technology will continue to play a leading role in solving even more complex problems. Thus, the current challenge for Ukraine is the need to manage medical data, in particular, to perform transactions on medical data based on blockchain technologies.

The article analyzes the architectures of known medical data management systems based on blockchain technologies, as well as the architecture of the medical data management system based on previously developed by the authors methods of assessing the adequacy of medical data (medical data adequacy assessment unit), performing transactions on medical data execution of transactions over medical data), assessment of the reputation of the medical institution as a blockchain miner (block of assessment of the reputation of the medical institution).

Keywords: blockchain technology, medical data, systems of medical data management.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

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].

Обмін медичними даними відповідно до закону про медичну конфіденційність вимагає від експертів глибокого знайомства з його складними положеннями для перевірки.

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 [2]. 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.

Використання медичних інформаційних систем надає лікарям актуальну інформацію в галузі медицини, підвищує ефективність використання актуальних медичних ресурсів, підвищує продуктивність роботи, інтегрує українську медицину в світовий медичний простір.

Останнім часом підвищена увага до технології розподілених реєстрів привела до розуміння потенціалу застосування блокчейн-технологій при побудові інформаційних систем для системи охорони здоров'я.

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 [3].

Типи блокчейн-мереж [4]:

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 дозволу та несуть колективну відповідальність за блокчейн.

Переваги блокчейну [5]:

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 витрачати час на зв'язання записів. Для прискорення транзакцій застосовується набір правил (смарт-контракт), який зберігається в мережі блокчейна і виконується в автоматичному режимі.

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 [6].

Відтак, наразі актуальною задачею для України є потреба у керуванні медичними даними, зокрема, виконанням транзакцій над медичними даними, на основі блокчейн-технологій.

Система керування медичними даними на основі блокчейн-технологій

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

Так, у роботі [7] представлено концепцію верифікації галузі охорони здоров'я за допомогою блокчейну та штучного інтелекту – рисунок 1, а також хмарна архітектура інтелектуальних агентів на основі згорткових нейронних мереж для збільшення показників медичних даних (рисунок 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.

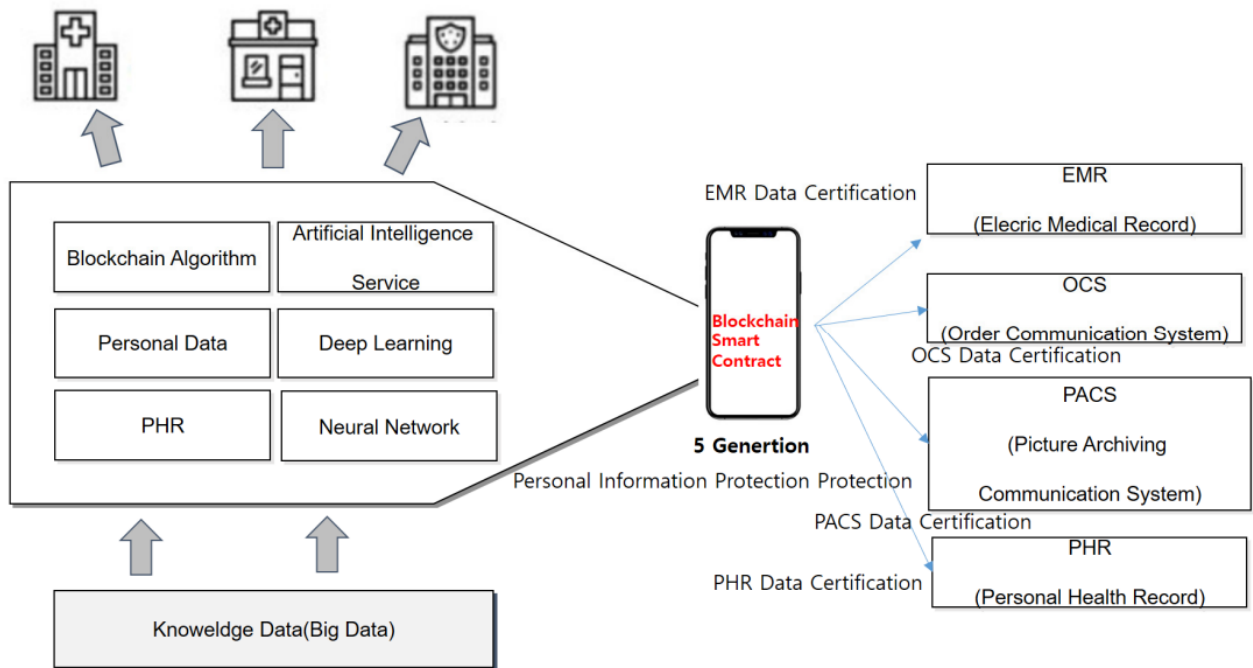


Рис. 1. Концепція верифікації галузі охорони здоров'я за допомогою блокчейну та штучного інтелекту [7]

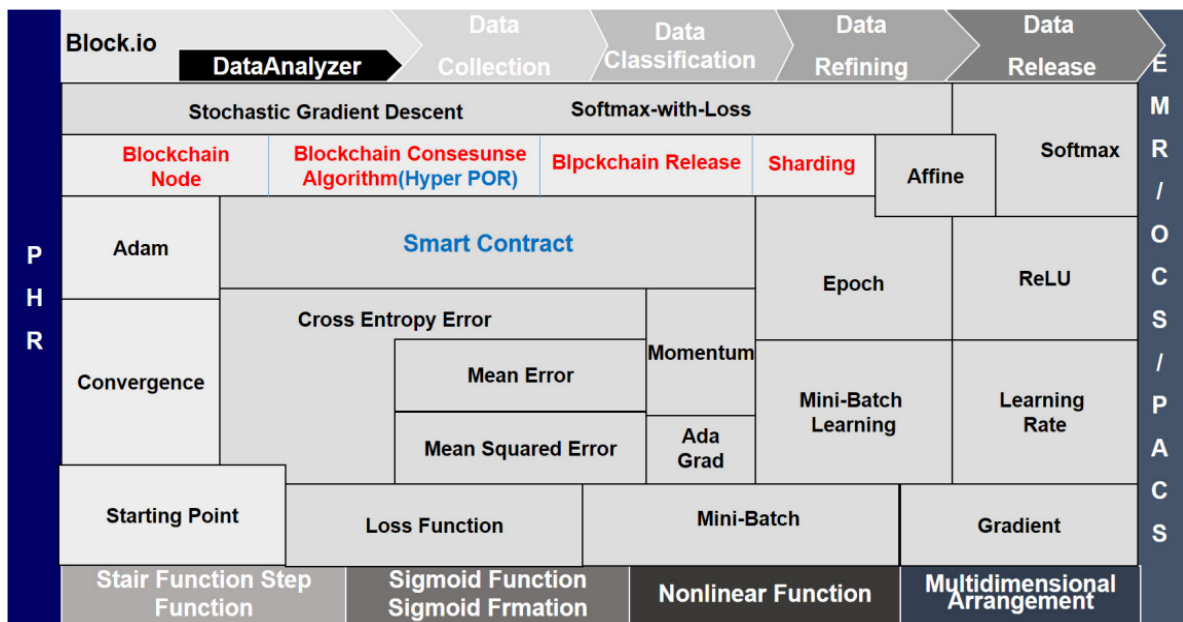


Рис. 2. Хмарна архітектура інтелектуальних агентів на основі згорткових нейронних мереж для збільшення показників медичних даних [7]

На рисунку 3 показано архітектуру системи, де блокчейн консорціум представлено як проміжне програмне забезпечення з певним рівнем довіри, а кожен медичний заклад виступає вузлом-учасником платформи [8].

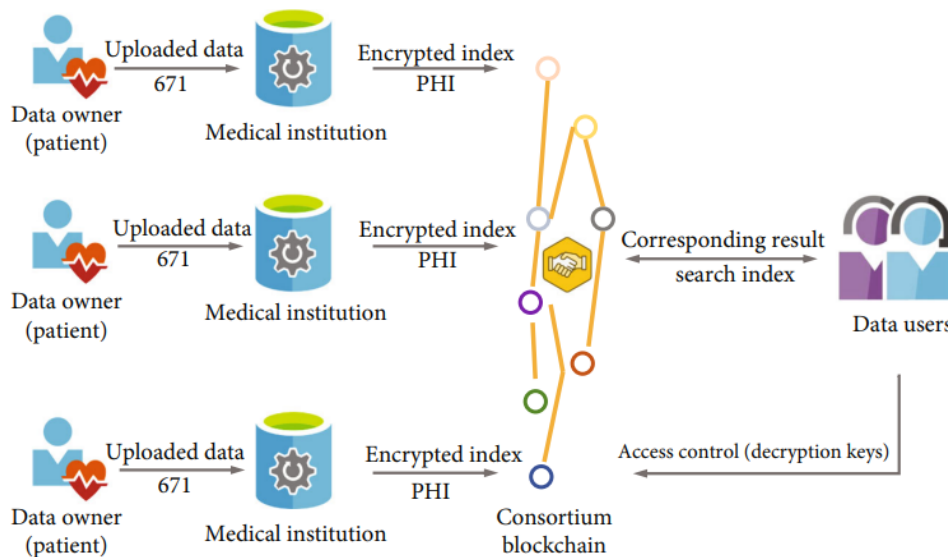


Рис. 3. Архітектура системи блокчейн-консорціуму медичних закладів [8]

Наступна архітектура системи на основі блокчейну складається з 3-х рівнів – рівня отримання даних, рівня зберігання даних, рівня обміну даними – рисунок 4 [9].

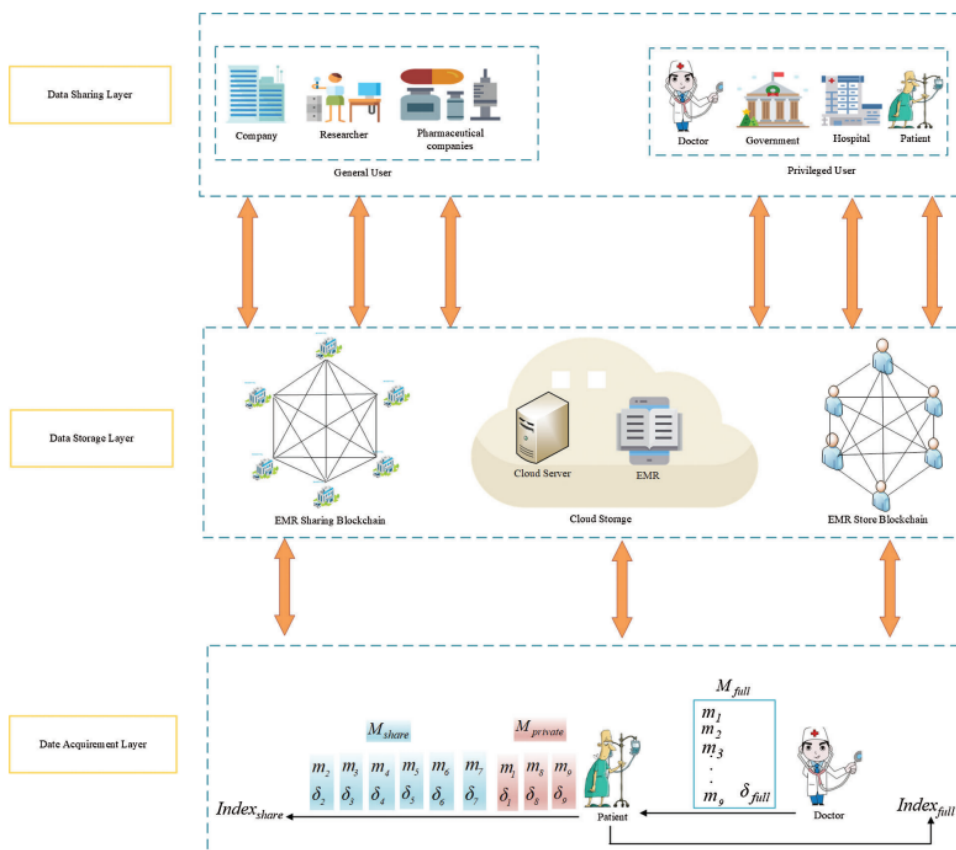


Рис. 4. Архітектура тривірневої системи на основі блокчейн-технологій [9]

У [10] представлена архітектура контролю доступу до медичних даних на основі блокчейну (рисунок 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.

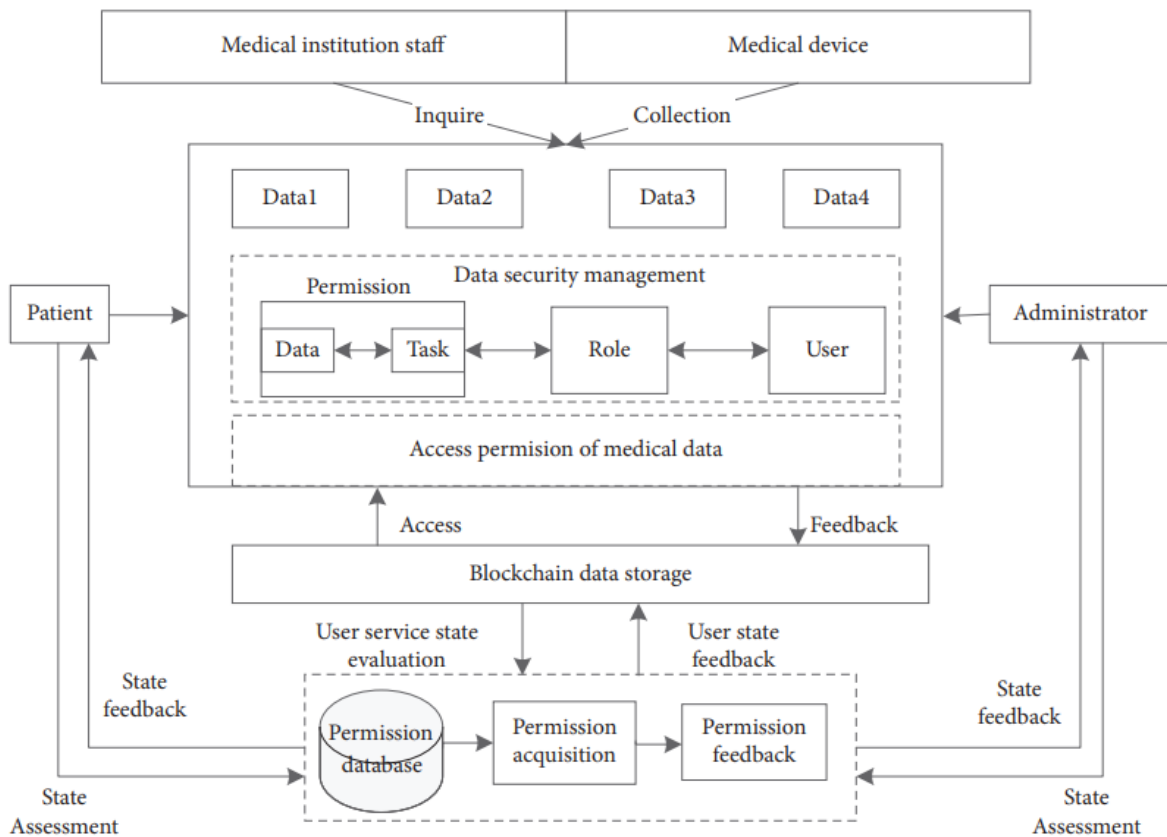


Рис. 5. Архітектура контролю доступу до медичних даних на основі блокчейну [10]

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 [11]. Як показано на рисунку 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.

Мережевий сервіс DynamiChain на основі блокчейну та великих даних для галузі охорони здоров'я представлено на рисунку 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 [12].

Три організації – постачальники даних, користувачі даних і лікарня – утворюють консорціум у DynamiChain (рисунок 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 [12].

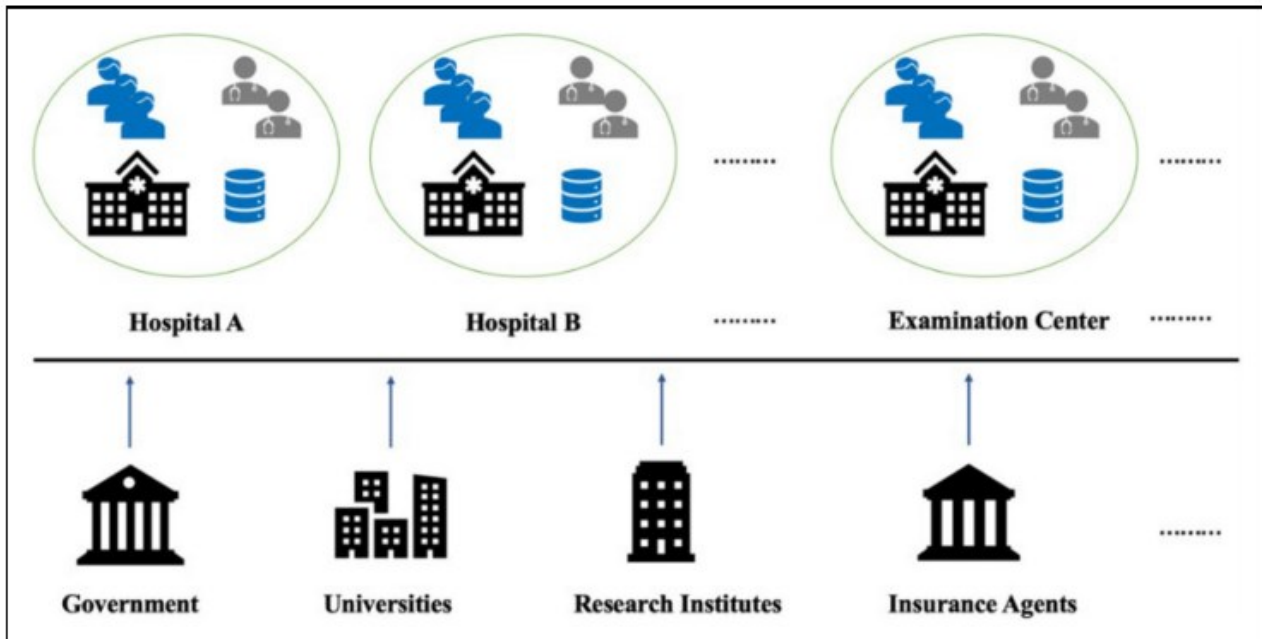


Рис. 6. Схема спільного використання електронних медичних карток на основі гібридної архітектури блокчейну [11]

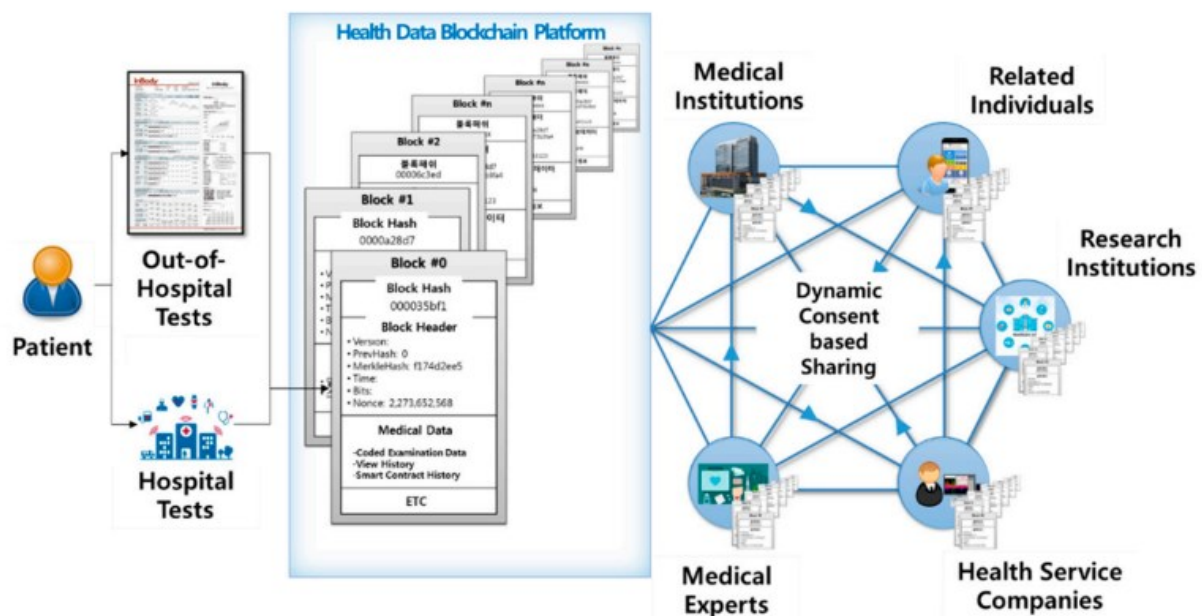


Рис. 7. Мережевий сервіс DynamiChain на основі блокчейну та великих даних для галузі охорони здоров'я [12]

Детальний робочий процес блокчейн-мережі SPChain представлено на рисунку 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 [13].

На основі проведеного аналізу архітектур відомих систем керування медичними даними на основі блокчейн-технологій, розробимо архітектуру системи для керування медичними даними, яка базується на розроблених авторами у [14-16] методах 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 10.

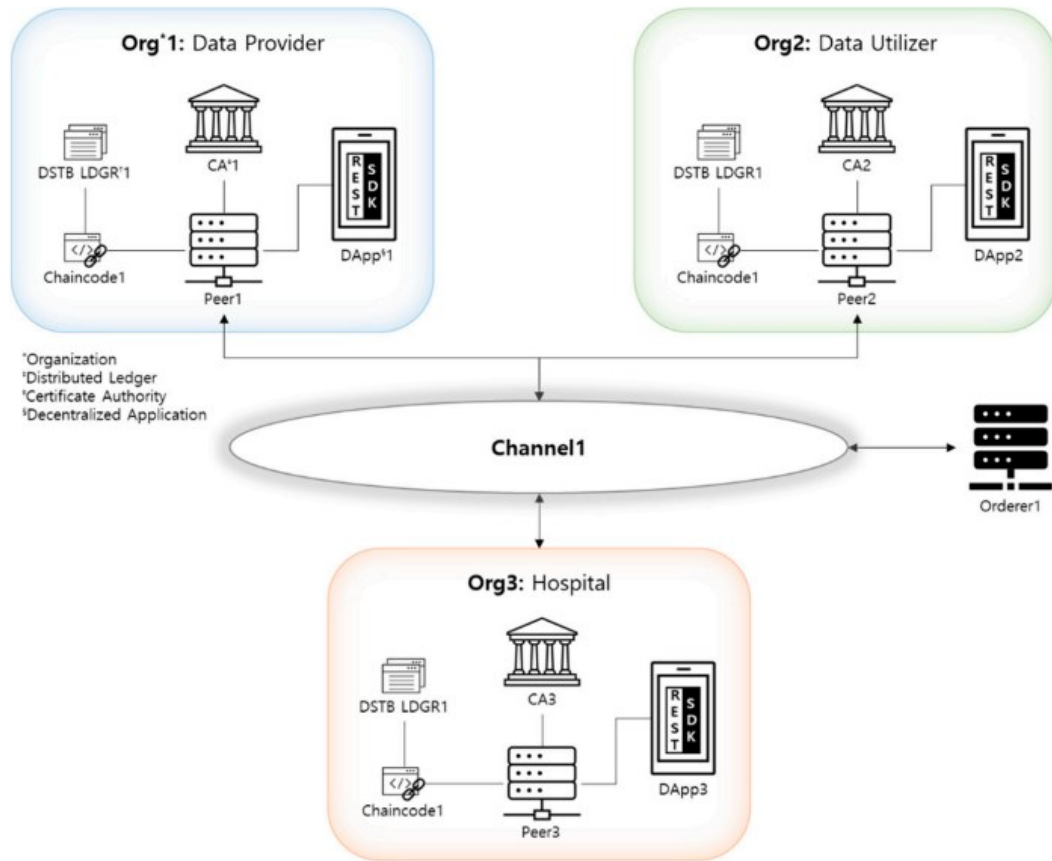


Рис. 8. Блокчейн-консорціум з 3-х організацій у DynamiChain [12]

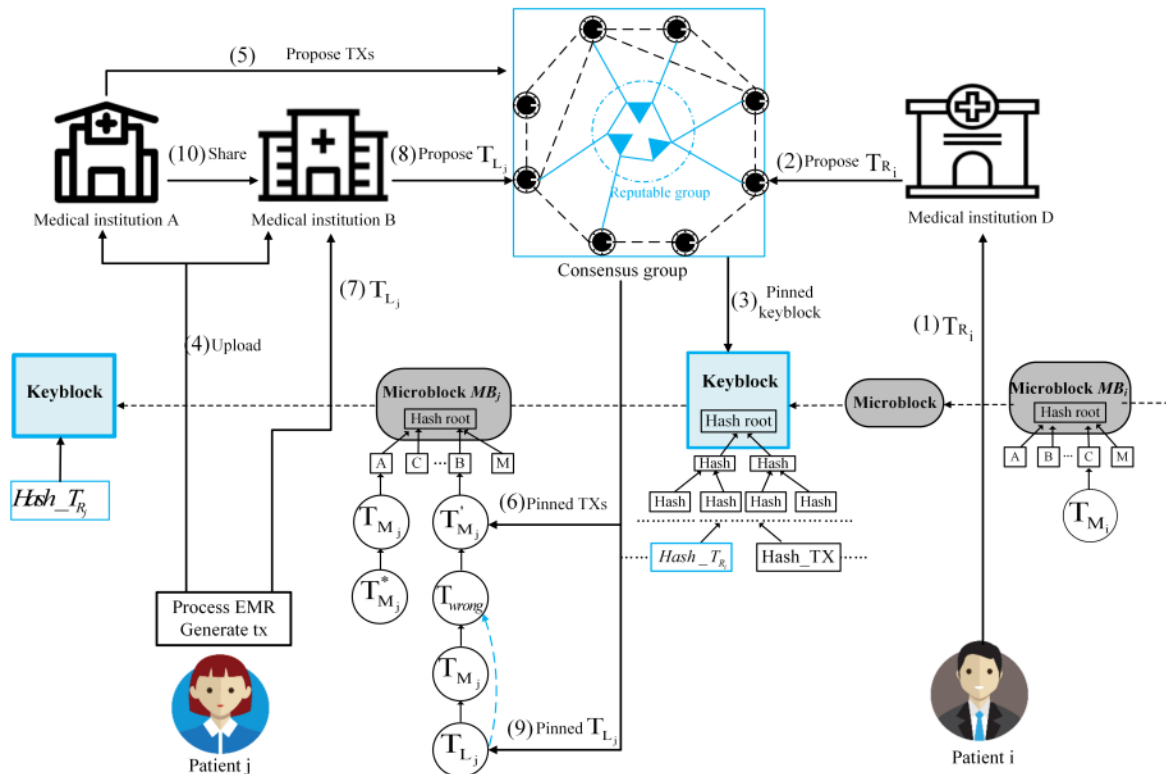


Рис. 9. Детальний робочий процес блокчейн-мережі SPChain [13]

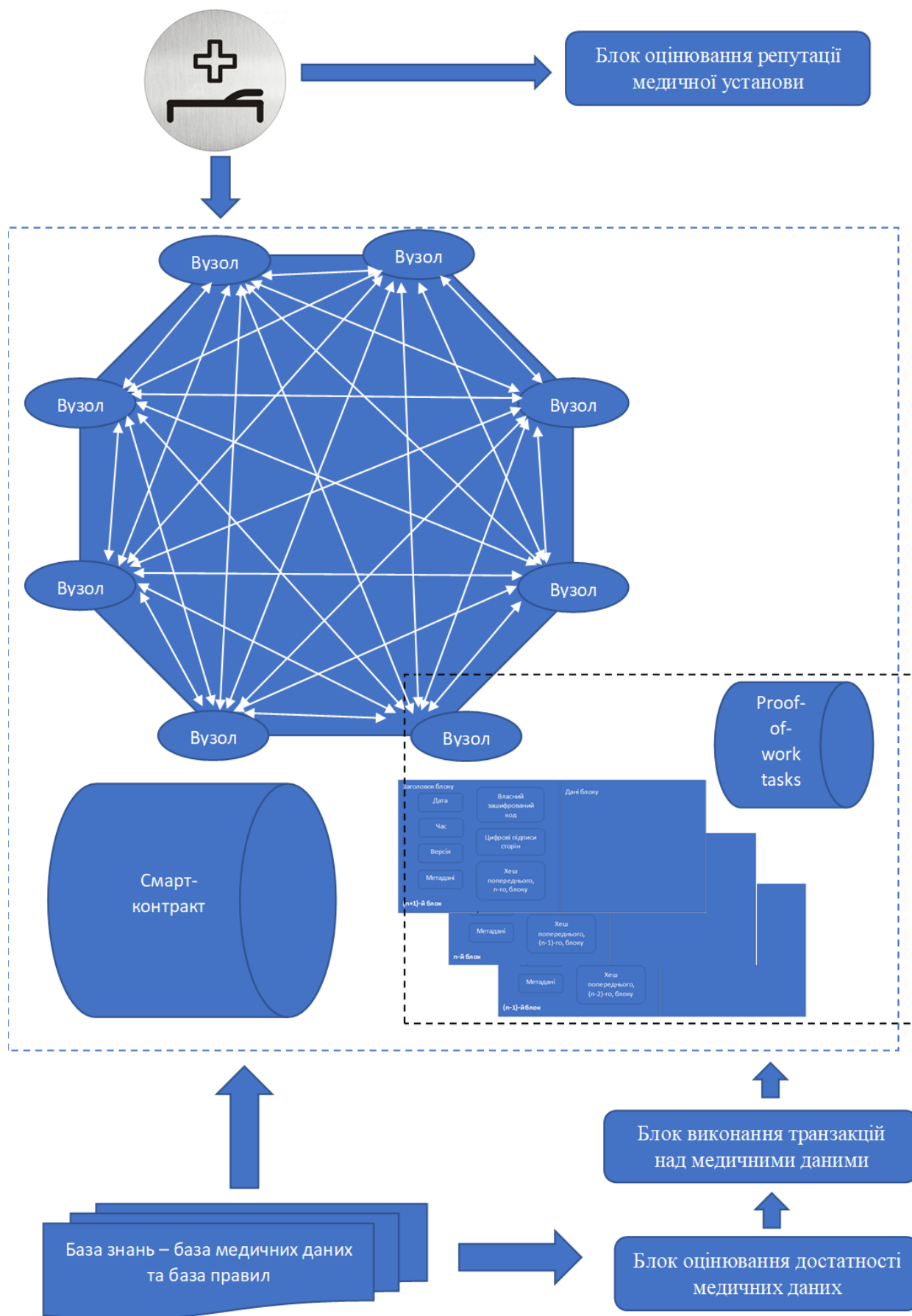


Рис. 10. Архітектура системи для керування медичними даними

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Інформаційні системи є ключовим фактором успіху медичних досліджень та охорони здоров'я. Використання медичних інформаційних систем надає лікарям актуальну інформацію в галузі медицини, підвищує ефективність використання актуальних медичних ресурсів, підвищує продуктивність роботи, інтегрує українську медицину в світовий медичний простір. Останнім часом підвищена увага до технології розподілених реєстрів привела до розуміння потенціалу застосування блокчейн-технологій при побудові інформаційних систем для системи охорони здоров'я. 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. Відтак, наразі актуальною задачею для України є потреба у керуванні медичними даними, зокрема, виконанням транзакцій над медичними даними, на основі блокчейн-технологій.

В статті проведено аналіз архітектур відомих систем керування медичними даними на основі блокчейн-технологій, а також розроблено архітектуру системи для керування медичними даними на основі розроблених раніше авторами методів 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).

Література

1. Hovorushchenko T. Development of an intelligent agent for analysis of nonfunctional characteristics in specifications of software requirements / T. Hovorushchenko, O. Pavlova, M. Bodnar // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – Vol. 1. – Issue 2. – Pp. 6-17.
2. Dugas M. Portal of medical data models: information infrastructure for medical research and healthcare / M. Dugas, P. Neuhaus, A. Meidt, J. Doods, M. Storck, P. Bruland, J. Varghese // Database: The Journal of Biological Databases and Curation. – 2016. – Paper bav121.
3. Xu Z. What can blockchain do and Cannot do? / Z. Xu, C. Zou // China Economic Journal. – 2021. – Vol. 14. – Issue 1. – Pp. 4-25.
4. Li W. An Overview of Blockchain Technology: Applications, Challenges and Future Trends / W. Li, M. He, H. Sang // 2021 IEEE 11th International Conference On Electronics Information and Emergency Communication: Proceedings. – Beijing, 2021. – Pp. 31-39.
5. Yang L. The blockchain: State-of-the-art and research challenges / L. Yang // Journal of Industrial Information Integration. – 2019. – Vol. 15. – Pp. 80-90.
6. Zeng Y. Review of research on blockchain application development method / Y. Zeng, Y. Zhang // Journal of Physics Conference Series. – 2019. – Vol. 1187. – Article Number 052005.
7. Kim S. Artificial Neural Network Blockchain Techniques for Healthcare System: Focusing on the Personal Health Records / S. Kim, J. Huh // Electronics. – 2020. – Vol. 9. – Issue 5. – Article Number 763.
8. Chen Y. A Blockchain-Based Medical Data Sharing Mechanism with Attribute-Based Access Control and Privacy Protection / Y. Chen, L. Meng, H. Zhou, G. Xue // Wireless Communications & Mobile Computing. – 2021. – Vol. 2021. – Article number 6685762.
9. Zhang L. Secure and Efficient Data Storage and Sharing Scheme Based on Double Blockchain / L. Zhang, M. Peng, W. Wang, Y. Su, S. Cui, S. Kim // CMC-Computers Materials & Continua. – 2021. – Vol. 66. – Issue 1. – Pp. 499-515.
10. Chen F. Data Access Control Based on Blockchain in Medical Cyber Physical Systems / F. Chen, J. Huang, C. Wang, Y. Tang, C. Huang, D. Xie, T. Wang, C. Zhao // Security and Communication Networks. – 2021. – Vol. 2021. – Article number 3395537.
11. Cao Y. Hybrid blockchain-based privacy-preserving electronic medical records sharing scheme across medical information control system / Y. Cao, Y. Sun, J. Min // Measurement & Control. – 2020. – Vol. 53. – Issue 7-8. – Pp. 1286-1299.
12. Kim T. DynamiChain: Development of Medical Blockchain Ecosystem Based on Dynamic Consent System / T. Kim, S. Lee, D. Chang, J. Koo, T. Kim, K. Yoon, I. Choi // Applied Sciences-Basel. – 2021. – Vol. 11. – Issue 4. – Article number 1612.
13. Zou R. SPChain: Blockchain-based medical data sharing and privacy-preserving eHealth system / R. Zou, X. Lv, J. Zhao // Information Processing & Management. – 2021. – Vol. 58. – Issue 4. – Article number 102604.
14. Москаленко А. Модель та метод оцінювання достатності медичних даних / А. Москаленко, В. Осядлий // Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки». – 2022. – №3.
15. Осядлий В. Метод виконання транзакцій над медичними даними на основі блокчейн-технологій / В. Осядлий, А. Москаленко // Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки». – 2022. – №4.

16. Moskalenko A. Method of assessing the reputation of a medical institution (as a miner of blockchain) / A. Moskalenko, T. Hovorushchenko, V. Osyadlyi // Computer Systems and Information Technologies. – 2022. – №3.

References

1. T. Hovorushchenko, O. Pavlova, M. Bodnar. 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. M. Dugas, P. Neuhaus, A. Meidt, J. Doods, M. Storck, P. Bruland, J. Varghese. Portal of medical data models: information infrastructure for medical research and healthcare // Database: The Journal of Biological Databases and Curation. – 2016. – Paper bav121.
3. Z. Xu, C. Zou. What can blockchain do and Cannot do? // China Economic Journal. – 2021. – Vol. 14. – Issue 1. – Pp. 4-25.
4. W. Li, M. He, H. Sang. 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.
5. L. Yang. The blockchain: State-of-the-art and research challenges // Journal of Industrial Information Integration. – 2019. – Vol. 15. – Pp. 80-90.
6. Y. Zeng, Y. Zhang. Review of research on blockchain application development method // Journal of Physics Conference Series. – 2019. – Vol. 1187. – Article Number 052005.
7. S. Kim, J. Huh. Artificial Neural Network Blockchain Techniques for Healthcare System: Focusing on the Personal Health Records // Electronics. – 2020. – Vol. 9. – Issue 5. – Article Number 763.
8. Y. Chen, L. Meng, H. Zhou, G. Xue. 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.
9. L. Zhang, M. Peng, W. Wang, Y. Su, S. Cui, S. Kim. Secure and Efficient Data Storage and Sharing Scheme Based on Double Blockchain // CMC-Computers Materials & Continua. – 2021. – Vol. 66. – Issue 1. – Pp. 499-515.
10. F. Chen, J. Huang, C. Wang, Y. Tang, C. Huang, D. Xie, T. Wang, C. Zhao. Data Access Control Based on Blockchain in Medical Cyber Physical Systems // Security and Communication Networks. – 2021. – Vol. 2021. – Article number 3395537.
11. Y. Cao, Y. Sun, J. Min. 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.
12. T. Kim, S. Lee, D. Chang, J. Koo, T. Kim, K. Yoon, I. Choi. DynamiChain: Development of Medical Blockchain Ecosystem Based on Dynamic Consent System // Applied Sciences-Basel. – 2021. – Vol. 11. – Issue 4. – Article number 1612.
13. R. Zou, X. Lv, J. Zhao. SPChain: Blockchain-based medical data sharing and privacy-preserving eHealth system // Information Processing & Management. – 2021. – Vol. 58. – Issue 4. – Article number 102604.
14. A. Moskalenko, V. Osyadlyi. Model and method of assessing the sufficiency of medical data // Bulletin of the Khmelnytskyi National University. Technical Sciences Series. – 2022. – №3.
15. V. Osyadlyi, A. Moskalenko. Method of performing transactions on medical data based on blockchain technologies // Bulletin of the Khmelnytskyi National University. Technical Sciences Series. – 2022. – №4.
16. A. Moskalenko, T. Hovorushchenko, V. Osyadlyi. Method of assessing the reputation of a medical institution (as a miner of blockchain) // Computer Systems and Information Technologies. – 2022. – №3.