

УДК 004.75:61-028.27

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЛОКЧЕЙН В ЭЛЕКТРОННОЙ МЕДИЦИНЕ

В.А. ВИШНЯКОВ, М.О. КАЦКО

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь*

*Поступила в редакцию 31 марта 2025*

**Аннотация.** В докладе проанализировано текущее состояние и перспективы применения блокчейна в электронной медицине. Рассмотрены математические модели и структуры, лежащие в основе технологии блокчейн. Оценены перспективы развития блокчейн-технологии в сфере медицины для Республика Беларусь.

**Ключевые слова:** блокчейн, электронная медицина, электронные медицинские карты, контроль поставок лекарств.

### Введение

Современная электронная медицина (e-health) сталкивается с проблемами безопасности данных, отсутствием доверия между участниками системы и сложностью обмена медицинской информацией. Блокчейн-технология, благодаря своей децентрализованной природе, криптографической защите и неизменяемости данных, предлагает решения этих проблем [1]. Внедрение блокчейна в медицину позволяет обеспечить целостность медицинских записей, безопасный обмен данными между учреждениями и пациентами, а также автоматизацию процессов через смарт-контракты.

Цель данной статьи – проанализировать текущее состояние и перспективы применения блокчейна в электронной медицине, рассмотреть математические модели и структуры, лежащие в основе этой технологии, а также предложить возможные направления развития.

### Применение блокчейна в e-health

Блокчейн в медицине используется в следующих направлениях:

- управление электронными медицинскими картами (ЭМК) – обеспечивает безопасное хранение и передачу данных между больницами, врачами и пациентами [2];
- контроль цепочки поставок лекарств – предотвращает подделку медикаментов [3];
- телемедицина – защищает данные пациентов при удаленных консультациях [4];
- исследования и клинические испытания – гарантирует достоверность данных [5].

Преимущества: децентрализация и устойчивость к взлому; прозрачность и аудируемость транзакций; автоматизация через смарт-контракты. Проблемы: масштабируемость (ограниченная пропускная способность); регуляторные барьеры (GDPR, HIPAA); высокие вычислительные затраты.

Для функционирования блокчейн-платформы требуется формирование системы смарт-контрактов с единичным и/или постоянным доступом, замыкающейся на пациенте, как источнике большого массива данных. Дальнейшее развитие функционала цифровой трансформации медицинского обслуживания основано на заключении смарт-контрактов с различными субъектами рынка медицинских услуг [6].

Внедрение блокчейна в процесс обработки заявлений на медицинское страхование приводит к повышению прозрачности, росту эффективности и снижению случаев мошенничества. Например, компания MetLife использует блокчейн для оптимизации процесса

обработки страховых выплат по страхованию жизни, сокращая время обработки запросов клиентов [7].

### Математические модели

Блокчейн опирается на: хеш-функции (SHA-256, Кецсак) – обеспечивают целостность данных; алгоритмы консенсуса (Proof of Work, Proof of Stake, PBFT) – гарантируют согласованность данных в сети.

Модель безопасности может быть описана через вероятность атаки 51 % [8]:

$$P_{attack} \approx (p q)^z,$$

где  $q$  – мощность атакующего,  $p$  – мощность сети,  $z$  – количество подтверждений.

В медицинских блокчейн-системах применяются алгоритмы консенсуса: Proof of Authority (PoA) – для быстрой валидации транзакций (подходит для EHR – Electronic Health Records); Delegated Proof of Stake (DPoS) – баланс между скоростью и децентрализацией [9].

Модель безопасности может быть описана как:

$$Security = 1 + e^{-k(N-N_0)},$$

где  $N$  – число нод,  $k$  – коэффициент устойчивости,  $N_0$  – порог безопасности.

В работе [10] приведена обобщенная модель для в виде:

$$M_{mic} = \{M_{cehr}, M_{cct}, M_{dma}, M_{cbi}, M_{rpm}\},$$

где  $M_{cehr}$  – управление электронными медицинскими картами;  $M_{cct}$  – управление цепочками поставок лекарств и борьба с контрафактом;  $M_{dma}$  – анализ медицинских данных;  $M_{cbi}$  – проведение клинических и биомедицинских исследований;  $M_{rpm}$  – удаленный мониторинг пациентов.

### Контроль цепочки поставок лекарств, клинических испытаний

Поставки поддельных медицинских препаратов и оборудования – серьезная проблема в системе здравоохранения. Для борьбы этим можно использовать блокчейн для обеспечения контроля подлинности медикаментов, отслеживая их от места происхождения. Фармацевтические компании Pfizer, Amgen и Sanofi, рассматривают возможность использования блокчейн для ведения документации испытаний новых лекарственных препаратов. Это позволит создать единую базу данных, содержащую информацию о каждом новом препарате и участниках испытаний [11].

Предложенные MediLedger технологии позволяют отслеживать товары и проверять подлинность лекарств, сроки годности и другую важную информацию. Также сеть помогает правоохранительным органам проверять любую подозрительную деятельность, например, незаконный оборот наркотиков или продажу контрафакта

Компания iSolve обеспечивает прозрачность и безопасность на всех уровнях разработки и поставки лекарств, позволяя компаниям лучше понимать рынок товара. Недавно компания представила решение на базе блокчейна под названием ADLTTM, которое должно помочь повысить соответствие нормам в отношении лекарственных средств.

TraceRX – это основанное на блокчейне решение для цепочки поставок фармацевтических препаратов для International Aid. LeewayHertz Technologies разработала эту платформу распределенного реестра, чтобы отслеживать распространение бесплатных наркотиков и выявлять их пропажу [7].

Блокчейн используется в телемедицине, включая видеоконсультации и электронные рецепты. Это расширяет доступ пациентов к медицинской помощи. MyClinic – телемедицинская платформа компании Medicalchain, которая позволяет пациентам проводить видеоконференции со своими врачами и оплачивать эти консультации с помощью «MedTokens».

В клинических испытаниях технология блокчейн используется для решения проблем ложных результатов и дезинтеграции данных. Эта технология позволяет укрепить доверие к клиническим испытаниям.

Технология блокчейн может безопасно собирать данные о медицинских устройствах, включая статистику использования и журналы обслуживания, повышая безопасность пациентов и снижая вероятность неисправностей. Один из передовых разработчиков платформ для подобных операций – компания Chronicled [12].

Платформа отчетности и результатов клинических испытаний (CTRR), разработанная компанией Pfizer в сотрудничестве с другими компаниями, включая IBM, – один из примеров использования блокчейн-технологий для хранения данных в этой сфере [13].

### **Квалификация медицинского персонала, защита геномных данных**

Используя систему на основе блокчейн, учреждения могут удостовериться в квалификации медицинского персонала, легитимности предоставленных сотрудником документам об образовании. Такое направление развития должно тесно сотрудничать с образовательными учреждениями. Американская компания ProCredEx разработала систему проверки квалификации медицинских работников с использованием протокола блокчейна R3 Corda. Суть ее работы заключается в получении прибыли от предоставленной организациями информации о медицинском персонале.

Использование блокчейна может повысить безопасность конфиденциальной генетической информации, снижая риск ее кражи или несанкционированного доступа. Исследователи получают надежный способ приобретения геномных данных для проведения анализов и секвенирования ДНК. EncrypGen Gene-Chain MediLedger блокчейн-платформа для поиска, совместного использования, хранения, покупки и продажи генетической информации. Nebula Genomics использует блокчейн, чтобы исключить ненужные расходы и посредников в процессе генетического исследования. Платформа помогает пользователям монетизировать свои генетические данные, создавая максимально широкую базу данных о генах людей [7].

### **Применение блокчейн в здравоохранения Российской Федерации**

Среди известных БЧ-инициатив российских медицинских учреждений – применение БЧ для хранения медицинских данных в ОАО «Медицина» в 2018 г., а также использование технологии для контроля медицинских услуг сетью «Открытая клиника». В качестве региональных проектов следует выделить использование БЧ для мониторинга оборота лекарств в больнице Новгородской области. В течение семи месяцев после запуска проект сэкономил около 12 % бюджета программы льготного лекарственного обеспечения. Московская область в 2017 г. анонсировала планы по использованию БЧ для хранения медицинских карт граждан [11].

### **Проблемы и перспективы внедрения технологии блокчейн в Республике Беларусь**

Барьерами для широкого применения БЧ в здравоохранении являются также проблемы масштабируемости, задержки передачи данных, взаимодействия между различными системами, безопасности данных и конфиденциальности [13]. Эти препятствия требуют комплексного решения для успешного внедрения блокчейн-технологий в здравоохранении.

В связи с активным внедрением блокчейна в различных сферах особое значение приобретает вопросы правового регулирования. Это позволяет, с одной стороны, предотвратить риски, связанные с новой технологией, а с другой – обеспечить наиболее полную реализацию блокчейна в различных сферах общественных отношений.

В отечественной литературе отсутствуют комплексные междисциплинарные исследования, посвященные правовому регулированию отношений с использованием блокчейн.

Правовое регулирование общественных отношений, связанных с технологией блокчейн, в Республике Беларусь находится на начальном этапе.

Правовое регулирование общественных отношений, связанных с технологией блокчейн в Республике Беларусь, может быть реализовано двумя путями [14]:

– принятие новых нормативных правовых актов, посвященных использованию блокчейн-технологий;

– внесение изменений в существующие законодательные акты в части использования блокчейн-технологий, а также разработка нормативных актов министерств по блокчейн-технологиям в рамках их сферы ответственности.

В Республике Беларусь создана благоприятная атмосфера для продвижения и развития проектов в области технологии блокчейн. В качестве примеров можно привести созданную в Республике ассоциацию «Технологии Распределенных Реестров». Это некоммерческая организация, объединяющая проекты и экспертов, осуществляющих деятельность в сфере криптоэкономики, а также работающих на стыке инновационных технологий (AI, IoT, VR, AR, ML и др.) и блокчейн. Миссия Ассоциации: популяризация технологии блокчейн среди предпринимателей в качестве направления для создания собственных коммерческих проектов и других инициатив. Членами ассоциации являются ведущие мировые компании, упомянутые по тексту [15].

### Управление электронными медицинскими картами (ЭМК)

Правообладателем персональных и медицинских данных является сам пациент, и только он может дать согласие на их сбор, обработку и передачу. При создании системы электронных медицинских карт на основе блокчейн вся необходимая информация может быть добавлена в блокчейн в виде зашифрованных данных. В результате все поставщики медицинских услуг с согласия пациента могут получить доступ к обзору его медицинских данных. Блокчейн позволяет: хранить хэши записей в цепочке, а сами данные – в IPFS (InterPlanetary File System); контролировать доступ через смарт-контракты. Пример структуры на Solidity представлен на рис. 1.

```
contract EHR {
    struct Patient {
        address owner;
        string ipfsHash;
        uint accessTime;
    }

    mapping(address => Patient) public patients;

    function grantAccess(address doctor, uint time) public {
        require(msg.sender == patients[msg.sender].owner);
        patients[doctor].accessTime = time;
    }
}
```

Рис. 1. Предоставление доступа к ЭМК через смарт-контракт

В качестве примера проекта электронных медицинских карт, управляемых самими пациентами можно привести MedRec, который разрабатывается в Массачусетском технологическом институте. MediBloc создала блокчейн-платформу под названием Rapasea. Оптимизированное решение под отрасль здравоохранения решение, которое работает как сеть и как протокол для установки политик и настройки уровней медицинских данных, а также проверки источников и мест назначения данных в режиме реального времени [16].

Платформа Akiri гарантирует, что медицинские данные остаются в безопасности и доступны только тем сторонам, которые имеют специальное разрешение для их использования. Эта платформа помогает медицинским компаниям безопасно и надежно управлять огромными объемами данных пациентов. Их технология позволяет хранить, продавать, лицензировать данные, а также обмениваться ими при строгом соблюдении правил HIPAA и других регламентов [7].

### Заключение

Блокчейн обладает значительным потенциалом для трансформации электронной медицины, обеспечивая безопасность, прозрачность и автоматизацию. Но остаются вызовы,

связанные с масштабируемостью и регуляцией. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию алгоритмов и интеграцию с существующими медицинскими системами. Приведены математические модели и пример предоставления доступа к ЭМК через смарт-контракт.

## STATUS AND PROSPECTS OF BLOCKCHAIN USE IN ELECTRONIC MEDICINE

V.A. VISHNYAKOV, M.A. KATSKO

**Abstract.** The report analyzes the current state and prospects for the use of blockchain in electronic medicine. Mathematical models and structures underlying the technology are considered. Prospects for the development of block technology in the field of medicine for the Republic of Belarus were assessed.

*Keywords:* blockchain, electronic medicine, electronic medical records, drug supply control.

### Список литературы

1. Вишняков В. А. Технология блокчейн в образовании и ИТ-медицине: модели, алгоритмы, программные средства : [монография] / В. А. Вишняков, Д. А. Качан. – Минск : РИВШ, 2023. – 184 с.
2. Khezr S. Blockchain in healthcare: A systematic literature review. //Journal of Medical Internet Research. 2019.
3. Bocek T. Blockchain-based smart contracts for medical data management. // IEEE Access. 2017.
4. Mehdi B., Ravaud P. Blockchain for clinical trials. // PLOS ONE. 2017.
5. Asaph A. MedRec: Using blockchain for medical data access. // MIT Media Lab. 2016
6. Борисов И. В. Блокчейн-платформа как инструмент цифровизации процессов управленческой деятельности в здравоохранении / И. В. Борисов // Вестник евразийской науки. – 2023 – Т. 15. № 1.
7. Внедрение технологии блокчейн в сфере здравоохранения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://merehead.com/ru/blog/implementation-blockchain-health-industry>. Дата доступа 27.03.2025.
8. Satoshi N. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. 2008.
9. Chen Y., Ding S., Xu, J. DPoS-based EHR systems. Blockchain in Healthcare Today. 2023.
10. Вишняков В.А. Использование технологии блокчейн в ИТ-медицине // Вишняков В.А. / Системный анализ и прикладная информатика. – 2024, № 3. – С. 48-53.
11. Куракова Н.Г., Черченко О.В., Цветкова Л.А. Технологии блокчейн в здравоохранении: позиции России на глобальном публикационном ландшафте. Врач и информационные технологии. – 2021, №1. – С. 25–39.
12. Blockchain for Healthcare: Overview from Every Dimension [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gminsights.com/pressrelease/blockchain-technology-in-healthcare-market>. Дата доступа 29.03.2025.
13. Кузнецова В.П., Вардомацкая Л.П., Тропинова Е.А. Блокчейн в здравоохранении // Экономика и управление. – 2018, №7. – С.16-20.
14. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь : [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://pravo.by/pravovaya-informatsiya/pravo-sovremennoy-belarusi-istoki-uroki-dostizheniya-i-perspektivy/2021/aktualnye-problemy-pravovogo-regulirovaniya-otnosheniy-svyazannykh-s-ispolzovaniem-blokcheyna>. Дата доступа 25.03.2025.
15. Ассоциация «Технологии Распределенных Реестров» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.blockchainbelarus.by>. Дата доступа 27.03.2025.
16. Blockchain Technology In Healthcare Market [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gminsights.com/pressrelease/blockchain-technology-in-healthcare-market>. Дата доступа 25.03.2025.