

Научная статья

Original article

УДК 339.9

doi: 10.55186/2413046X\_2023\_8\_5\_291

**СРАВНЕНИЕ ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ  
РЕНТАБЕЛЬНОСТИ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕССАХ  
ЦИФРОВИЗАЦИИ СОЦИАЛЬНО-СТРАХОВОЙ СИСТЕМЫ  
ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РФ**

**COMPARISON OF THE FINANCIAL AND ECONOMIC  
PROFITABILITY OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES IN THE  
PROCESSES OF DIGITALIZATION OF THE SOCIO-INSURANCE  
SYSTEM OF THE HEALTH CARE OF THE RUSSIAN FEDERATION**



**Кади́ров Ахад Оманович**, аспирант кафедры мировой экономика, ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет, E-mail: ahadkadirov@gmail.com

**Qodirov Ahad Omanovich**, PhD student, Department of World Economy, St. Petersburg State University, E-mail: ahadkadirov@gmail.com

**Аннотация.** На сегодняшний день, вопросу цифровизации здравоохранения уделяется все больше внимания со стороны государства и общества. Однако появляющиеся технологические решения не всегда отвечают высоким требованиям к безопасности медицинских данных, высокой скорости передачи данных и их масштабируемости. Централизованные электронные решения часто неэффективны. Технология Блокчейн может решить эти проблемы. Распределенные реестры, которые сейчас активно используются в мировой медицинской практике, могут создать ряд благоприятных условий

для цифровизации и функционирования отрасли здравоохранения, а именно: их интеграция повысит степень защиты персональных данных, хранящихся на децентрализованных серверах; увеличить безопасность при передаче информации между узлами сети; снизить фальсификацию хранимой медицинской информации. Кроме того, распределенные реестры могут использоваться в процессах перевозки фармацевтической продукции, в процессах страхования, телемедицины и т. д. . В статье рассматриваются основные характеристики ведущих решений Blockchain в сфере здравоохранения.

**Abstract.** Today, the issue of digitalization of healthcare is receiving more and more attention from the state and society. However, emerging technological solutions do not always meet the high requirements for the security of medical data, high data transfer rates and their scalability. Centralized electronic solutions are often inefficient. Blockchain technology can solve these problems. Distributed registries, which are now actively used in world medical practice, can create a number of favorable conditions for the digitalization and functioning of the healthcare industry, namely: their integration will increase the degree of protection of personal data stored on decentralized servers; increase security when transferring information between network nodes; reduce the falsification of stored medical information. In addition, distributed registries can be used in the processes of transportation of pharmaceutical products, in the processes of insurance, telemedicine, etc. The article discusses the main characteristics of the leading Blockchain solutions in the field of healthcare.

**Ключевые слова:** технология Блокчейн, здравоохранение, цифровизация, сравнение технологий, распределенные реестры, экономическая рентабельность, энергопотребление, скорость передача, безопасность

**Keywords:** blockchain technology, healthcare, digitalization, technology comparison, distributed ledgers, economic viability, energy consumption, transmission speed, security

На сегодняшний день, технологии Блокчейн активно применяются в международной медицинской практике как на государственном уровне, так и на уровне частного рынка. Саму международную систему здравоохранения, условно, можно разделить на три группы: Государственная (Канада, Великобритания, Дания, Португалия, Ирландия, Греция, Италия, Испания и т. д.), частная (США, Южная Корея, Швейцария и т. д.) и социально-страховая (РФ, КНР, Япония, Франция, Германия, Эстония и т. д.). Каждая из представленных систем имеет свои особенности, достоинства и недостатки.

Государственная система (другое название - Бевериджская модель финансирования) отличается от прочих систем здравоохранения бесплатностью медицинских услуг и обеспечением равного доступа к ним всем гражданам страны. Финансирование, в подавляющем большинстве, происходит из государственных источников. Административная структура страны осуществляет полный контроль медицинской инфраструктуры (регулирование законодательных нормативов, выбор стратегии развития, интеграция инновационных технологий и т. д.). В связи с этим, государство является основным продуцентом и поставщиком всех комплексных медицинских услуг [1].

Полной противоположностью государственной системе здравоохранения является частная (платная) система (другое название - рыночная модель финансирования). Все получаемые медицинские услуги в рассматриваемой модели предоставляются на платной основе, цену на них устанавливает рынок. Основным источником финансирования данной модели являются личные траты граждан страны по покупке медицинских полисов. В силу возрастающей конкуренции в отрасли и малой государственной коррекции, данной системе характерны финансовая устойчивость, высокая квалификация медицинского персонала, быстрая интеграция цифровых технологий [2].

Социально-страховая система здравоохранения сочетает в себе черты как государственной, так и рыночной системы (другое название – система Отто фон Бисмарка). Государство занимает роль гаранта в предоставлении базовых медицинских услуг. Граждане страны получают базовые услуги вне зависимости от уровня своего дохода (по полису ОМС). Частные же производители медицинских услуг удовлетворяют потребности пациентов сверх предоставленного бесплатного уровня (по полису ДМС). Эта специфика, встречающаяся наиболее часто в мировой практике, позволяет потребителю медицинских услуг (пациенту) сохранять за собой суверенитет и дает право выбора медицинского производителя [3].

На сегодняшний день, в эпоху Индустрии 4.0, каждая из представленных моделей финансирования активно интегрирует в свою структуру цифровые инновационные технологии. Данная тенденция вызвана тем, что в мировой экономической практике существует прямая зависимость между тратами на цифровизацию здравоохранения и уровнем качества жизни граждан страны [4-10]. В процессах цифровизации используются различные технологии. Структурное описание интегрируемых технологий представлено в таблице 1.

**Таблица 1. Платформенные технологические решения, применяемые в процессах цифровизации здравоохранения в мировой практике**

Название технологии	Страны	Состав предоставляемой услуги
Infrastructure as a service (IaaS)	США, Швейцария, КНР, Япония, Испания, Португалия, Бразилия и т. д.	Производитель медицинской услуги самостоятельно настраивает функционал интерактивной платформы под нужды организации
Everything as a service (EaaS)	США, Франция, Германия, Россия, КНР, Япония, страны Латинской Америки, Венгрия и т. д.	Производитель медицинской услуги получает полный пакет цифрового решения, который включает в себя программно-аппаратную часть и сервисное управление

Platform as a service (PaaS)	Эстония, Чехия, Франция, Германия, Португалия, Испания, Италия и т. д.	Продуцент медицинской услуги получает программное решение с определенным, заранее оговоренным, техническим функционалом и набором услуг
Data as a service (DaaS)	Австрия, Швеция, Швейцария, Турция, Дания, Норвегия, Финляндия, КНР, Япония и т. д.	Продуцент медицинской услуги получает облачное (или серверное) пространство для хранения организационной информации (персональные данные работников медицинского учреждения, предстоящие страховые отчисления, персональные данные пациентов и т. д.)
Workplace as a service (WaaS)	США, КНР, Япония, Россия, Швеция, Швейцария, Германия, Великобритания и т. д.	Продуцент медицинской услуги может использовать вычислительные мощности другой организации (провайдера) для оптимизации своих оперативных процессов
Soft as a service (SaaS)	КНР, Россия, Франция, Япония, Индия, США, Турция и т. д.	Продуценту медицинской услуги предоставляется готовое технологическое решение (программное обеспечение, софт), которое обслуживается провайдером сети

Однако все технологические процессы сейчас сталкиваются с некоторыми проблемами, а именно: *надежность и безопасность* персональных медицинских данных (сокр. ПМД), *отсутствие единых стандартов* хранения и обменом ПМД в процессах цифровизации, наличие *высоких административных барьеров* для вновь разработанных технологий (лицензирование, верификация, унификация), *дороговизна интеграции технологии* и ее администрирование и т. д. [11,12].

В связи с этим, в мировой практике, все чаще начинают использовать технологию Блокчейн [13-15]. Блокчейн — это структурный неизменяемый реестр данных, который позволяет создавать записи транзакций в распределённом реестре, облегчает процесс ведения данной записи и создает условия для их отслеживания. Все участники Блокчейн-сети, будь то государство, медицинский продуцент (медицинское учреждение, страховая и фармакологическая и т. д.), пациент имеют равный доступ к распределённому реестру (через верифицированные сгенерированные закрытые ключи доступа) и его неизменной записи транзакций.

В этом общем реестре транзакции записываются только один раз, любое изменение записей тут же выявляется системой и проверяется ею. Ни один участник не наделен правами доступа и контроля больше, чем другой. Это приводит к тому, что участники Блокчейн-сети не могут изменить или скомпрометировать (украсть, подделать, изменить) транзакцию после того, как она уже была записана в общий реестр медицинских данных [16,17].

Для ускорения транзакций внутри системы и для повышения детальности, конфиденциальности и доступности медицинских данных (для держателя цифрового медицинского актива), разрабатывается набор правил (структурные алгоритмы), которые называются смарт-контрактами (верифицируемые и автономные подсистемы Блокчейна). Смарт-контракты могут выполнять множество внутренних оперативных действий: определять условия передачи медицинской информации третьим лицам (услуга телемедицины, биомониторинга, биотрекинга и т. д.), выявлять исполнение медицинского контракта или медицинского предписания, отслеживать страховые выплаты пациента или страховой компании, следить за логистическими стадиями транспортировки лекарственных препаратов и т. д. [18,19].

Основной потенциал использования данной технологии кроется в высоконадежной структуре функционирования (снижение кражи ПМД), наличие электронного аудита хранимых данных (снижение фальсификации ПМД), быстрой идентификации несанкционированного доступа, мобильной интеграции технологии в существующих цифровой медицинский контур (при использовании гибридного Блокчейн). В связи со всем вышеперечисленным, технология Блокчейн является одним из лучших цифровых решений, которые могут решить проблемы цифровизации отрасли здравоохранения [20-22].

Интеграция Блокчейн-технологий позволит: *улучшить качество предоставляемых медицинских услуг* (принятие клинических решений,

эффективное управление общественным здравоохранением, профилактика заболеваний) [23]; создаст условия для ведения экономически уместного и своевременное оказание медицинской помощи [24]; повысить точность исследований в области здравоохранения и способствует развитию комплексного медицинского анализа на уровне страны [25].

По мимо этого, на основании некоторых исследований, можно заключить, что интеграция Блокчейн-технологий создаст условия, при которых пациент получит детальный, контролируемый доступ к своим персональным медицинским данным, а медицинский производитель единую базу администрирования внутреннего документооборота, тем самым решая существующие проблемы, связанные с нынешним разрозненным подходом к хранению и управлению данными пациентов [26].

В связи со всеми достоинствами распределенных реестров, в мировой практике все чаще начинает наблюдаться тенденция интеграции Блокчейн-технологий в медицинский цифровой контур. Примеры мировой интеграций в систему здравоохранения приведены в таблице 2.

**Таблица 2. Примеры интеграции технологии распределенных реестров в мировой медицинской практике**

Государственная (бюджетная) модель		Социально-страховая модель		Частная (платная) модель	
Великобр.	Medical Chain, WikiHealth, Verifiable Data Audit, Lifson, FarmaTrust, Myclinic и т. д.	КНР	Alibaba Blockchain, Tencent BC, HSMAP, Ali.Blockchain, Bianjie, YAS, Aenco, Heals Healthcare и т. д.	США	IBM, HealthChain, BitHealth, Akiri, Avaneer Health, BurstIQ, Factom, GemOS,

Канада	Bowhead Health, MRESENCE, WokeCoin, uFirst, Honestblocks, Medical Veda и т. д.	Франция	Meditect, AiiNTENSE, IOTIED, Bodyo, BlockPharma, Quaefacta и т. д.		Patientory, Pokitdok и т. д.
Эстония	e-Health Estonia, MX Labs, DrugCard, VocDec, sci.AI, Velmio и т. д.	Германия	Famedly, PharmaTrace, Niucare, Project Aiur, Exacore, CardiLink и т. д.	Швейцария	Sleepiz, Sanovation, Resmonics, DeepPsy, AliveX, Akina, Exploris и т. д.
Италия	PharmaPrime, GenomeUp, JuliaOmix, MedLea, Keiron и т. д.	Россия	Robomed, ARNA Genomics, Zenome, eHealth First, MedPoints, BioritmAI и т. д.		
Дания	Lenus, Liva Healthcare, Corti, Dawn Health, Cath Vision, Practio и т. д.	Нидерланды	Prescript, Peptone, Digi.Bio, Serket, Healthplus.ai, Promaton и т. д.	Южная Корея	ReDWit, SNKRZ, Boltsoft, DoctorsChain, GNC, MTT, HealthBloc, Crypto Med Innovation и т. д.
Греция	Galen Reasoner, Morphe, Ergobyte, MindMed и т. д.	Япония	Molcure, Lpixel, Socium, PGV, Cytlimic, AI Pharma и т. д.		

Технологию распределенных реестров используют в мировой медицинской практике для хранения медицинской информации, ее передачи, отслеживания фармакологической продукции, телемедицины, статистической и медицинской обработке и т. д. Такое обширное применение рассматриваемой технологии породило огромное количество технологических решений.

Для того, чтобы понять, какая из распределенных технологий наиболее подходит для цифровизации отечественного здравоохранения, автор предлагает сравнить их технические характеристики и через этот анализ понять, какая из технологий будет наиболее приемлема с точки зрения финансово-экономической (количество энергопотребление, стоимость



оборудования, покупка лицензии и т. д.) и технической (масштабируемость, скорость передачи и т. д.) эффективности.

Несмотря на то, что сегодня существуют обширные учебные пособия и научные исследования, касающиеся технологии распределенных реестров, автор считает, что для сравнения Блокчейн-платформ, необходимо дать прагматичную оценку рассматриваемой технологии с учетом ведения в ней внутренней документации (история болезни пациента, личный кабинет врача, смарт-контракты и т. д.) и скорости обработки информации [27]. Сравнение будет проходить по следующим ключевым показателям:

- Язык программирования (например, монолитность [28]). Анализ языка программирования позволит понять трудность интеграции Блокчейн-технологии в существующую систему национального цифрового медицинского взаимодействия. А это, в свою очередь, может показать, насколько финансово затратно будет интегрировать Блокчейн-структуру в действующие медицинские информационные системы.
- Лицензия с открытым или закрытым исходным кодом (Лицензия на распространение производных продуктов, например, MIT [29] или GPL [30]). Анализ лицензии с открытым и закрытым кодом позволит рассчитать стоимость разработки Блокчейн-решения (и сравнить ее со стоимостью покупки готового Блокчейн-решения) и время, которое нужно для этой разработки.
- Тип смарт-контракта. Тип смарт-контракта, поддерживаемый рассматриваемой платформой, может быть либо первого поколения, то есть поддерживает функции сценариев без полной программной способности (циклический), либо второго поколения, то есть поддерживает любой алгоритм. Применение смарт-контрактов второго поколения значительно облегчит их выполнение в Блокчейн-алгоритмах, что, опять-таки, напрямую повлияет на конечную стоимость рассматриваемой технологии.

- Сетевое разрешение. Поддерживаемый тип разрешений для Блокчейн-сети может быть неограниченным (любой пользователь может свободно подключаться к сети), разрешенным (только аутентифицированный пользователь может присоединиться к сети) или смешанным (то есть и тем, и другим одновременно).
- Используемые платформой информационные приложения и их интеграционная возможность (с точки зрения капитального вложения средств и законодательной возможности).
- Потребление электроэнергии на 1 транзакцию и на 1 мегабайте пересылаемой медицинской информации.

Основываясь на проведенный комплексный анализ существующих Блокчейн-решений в области медицины, автор пришел к выводу, что, на сегодняшний день, наиболее активно применяемыми децентрализованными решениями являются Ethereum второго поколения, Tencent Chain третьего поколения, Hyperledger Fabric четвертого поколения.

Ethereum - одна из самых известных децентрализованных Блокчейн-платформ для смарт-контрактов в области здравоохранения [31]. Ethereum также является криптовалютой и имеет большую рыночную капитализацию [32]. Корпорация Microsoft, которая активно использует Блокчейн-технологии, приняла Ethereum в качестве ядра своей технологии Blockchain-as-a-Service (BaaS) в среде облачных вычислений Azure [33].

Ethereum можно запускать в любой среде облачных вычислений. Ethereum используется в медицинских приложениях и, что наиболее важно, поддерживает смарт-контракты второго поколения. Ethereum может работать как с внешними учетными записями, созданными вне рассматриваемой сети (данные будут лишь интегрированы) так и с внутренними учетными записями (созданными в самой системе) [34]. Он также использует концепцию «Ether» для регулирования кода смарт-контракта, требующего больших вычислительных ресурсов. Ethereum имеет

встроенную валюту (эфир), а Wei - наименьшая часть эфира [35]. Пример кода Ethereum представлен на рисунке 5.

Hyperledger Fabric четвертого поколения — это межотраслевая платформа корпоративного уровня, поддерживаемая IBM. Hyperledger - проект под управлением Linux Foundation. Данная платформа удобна еще и потому, что это одна из популярных платформ смарт-контрактов, не требующая специального оборудования для работы. Hyperledger также имеет компонент Composer, который поддерживает несколько способов интеграции Блокчейн-технологий с другими сервисами [36].

Hyperledger Fabric позволяет использовать такие компоненты, как службы консенсуса и членства, по принципу plug-and-play. Его модульная и универсальная конструкция подходит для широкого спектра отраслевых вариантов использования. Он предлагает уникальный подход к консенсусу, который обеспечивает масштабируемую производительность при сохранении конфиденциальности.

Hyperledger Composer вместе с функцией Playground позволяет разработчикам интегрировать Блокчейн платформу в существующие цифровые образцы с помощью удобного и легкодоступного веб-интерфейса. На веб-сайте Hyperledger Fabric также доступны комплекты разработки программного обеспечения (SDK) для потенциальных разработчиков, что позволит интегрировать Hyperledger в существующие цифровые медицинские платформы с наименьшими финансовыми затратами, что значительно снизит себестоимость проекта.

Tencent Cloud заинтересована в поддержке Web3-разработчиков, занятых в сфере безопасности, хранения, идентификации, создания ПО и инструментов разработки, а также данных и аналитики. Платформа предложит им кредиты, маркетинговые семинары и возможности продвижения с помощью экосистемы и ресурсов Tencent Cloud.

Tencent Chain — это относительно молодое Блокчейн-решение с функцией оптимизации скорости передачи данных. 22 февраля на саммите Tencent Cloud Web3 Build Day в Сингапуре, компания изложила свой план по содействию развитию медицинской экосистемы Web3, а также объявила о сотрудничестве с блокчейн-проектами Ankr, Avalanche, Scroll и Sui. Web3 — это концепция развития интернета следующего поколения, которая базируется на идее децентрализации. Сегодня появляется все больше децентрализованных приложений (dApps), децентрализованных автономных организаций (DAO) и сервисов, обеспечивающие хранение и обработку данных на глобальном уровне. Web3-разработчики привлекают миллионы долларов на развитие своих проектов, а корпорации с мировыми именами начали внедрять технологии Web3 в свои системы [37].

В настоящее время интеллектуальный фильтр Tencent Chain ограничен инструкциями по программированию, которые не позволяют выполнять такие операции, как циклы и рекурсия. Однако Tencent Chain предоставляет множество встроенных функций для поддержки основных строительных блоков приложений и может использоваться непосредственно для таких операций, как отправка или получение транзакций (медицинских данных пациентов или ссылку на них в хранимом источнике).

По мимо этого, Tencent Chain также поддерживает потоки данных на основе метаданных транзакции. Многие API-интерфейсы Tencent Chain были разработаны для основных языков программирования, таких как Java и JavaScript, что позволяет разработчикам запускать сложные программы в Tencent Chain. Это дает, как и описанным выше платформам, быструю и дешевую интеграцию в существующие медицинские программные обеспечения. Структура Блокчейн кода представлена на рисунке 7.

Сравнительный анализ Блокчейн-решений был проведен тремя аспирантами факультета ПМ-ПУ СПбГУ под руководством профессора, доктора физика-математический наук, Малафеева Олега Алексеевича. Хотя

только один студент разработал код для каждой из платформ, научная группа вместе занималась сравнением данных при содействии упомянутого выше профессора. Сначала группа построила три выбранные Блокчейн-сети. Далее в них были созданы смарт-контракты. Мы использовали шесть виртуальных машин (далее - VM), каждая из которых имела двухъядерный процессор, 8 ГБ ОЗУ и 100 ГБ хранилища, с 64-разрядной операционной системой Ubuntu 14.04 на платформе Google Cloud Platform. Затем исследовательская группа протестировала рассматриваемые Блокчейн-платформы, создавая в них медицинские метрики, отправляя транзакции и выполняя на них смарт-контракты.

Так как медицинские данные могут быть крайне габаритны (вся история болезни пациента может занимать гигабайты информации – снимки МРТ, УЗИ, видеозаписи кардиохирургических исследований и т. д.), пересылать их через Блокчейн – не уместно и крайне затратно. По мимо этого, передача таких объемов информации может занять огромное время, которого может не быть у пациента. В связи с этим, научная группа использовала гибридные виды Блокчейна, которые позволяют хранить всю информацию (в анонимированном, хешированном виде) в облачном хранилище (или на серверах лечебных учреждений), а внутри Блокчейна передавать лишь ссылку на хранилище в хешированном виде. Результаты эксперимента приведены в таблице 3.

**Таблица 3. Техническое и экономическое сравнение Блокчейн-технологий**

Платформа	Ethereum	Hyperledger Fabric	Tencent Chain
Тип смарт-контракта	Второе поколение	Второе поколение	Второе поколение
Язык программирования	Solidity, Serpent и LLL	Go и Node.js для Chaincode	JavaScript для смарт-фильтра

Сетевое разрешение	Разрешено / Без разрешения	Разрешено	Разрешено
Лицензия с открытым исходным кодом	Go-Ethereum: LGPL v3.0, CPP-Ethereum: GPL v3.0, Py-Ethereum: MIT License, Ethereum J: GPL v3.0, Parity: GPL v3.0	Apache License v2.0	GPL v3.0
Приложения	MedRec, Patientory, Nebula Genomics, HealPoint, MedCredits, Healthureum, Zealeum, Robomed Network, Prescript, Aenco, Sunny Lake Patient monitoring и т. д.	IBM blockchain Healthcare, Healthchain, Medicalchain, Clinical data sharing, Institutional Review Boards (IRB) regulation enforcement, mobile healthcare, medical data storage/access и т. д.	<u>Bambusoft</u> , <u>Block data SAS</u> , <u>CrimsonLogic</u> , <u>Enuke Software</u> , <u>Indra Sistemas</u> , <u>Minddeft Technologies</u> , <u>Mphasis Ltd</u> , <u>VTeam Financial Technology</u> и т. д.
Потребление электроэнергии на 1000 транзакций	Min – 0,9 кВт*ч Max – 3,1 кВт*ч	Min – 0,3 кВт*ч Max- 0,7 кВт*ч	Min – 0,5 кВт*ч Max- 1,8 кВт*ч
Среднее количество транзакций в секунду	более 2 000	более 2 000	более 2 000
Среднее время интеграции в существующие цифровые решения	менее 5 рабочих дней	менее 10 рабочих	Менее 5 рабочих дней
Среднее время обучения персонала	5 рабочих дней	10 рабочих дней	2 рабочих дня

Расчет потребления средних показателей потребления электроэнергии строился на методологии канадской консалтинговой компании MNP (общее потребление электроэнергии за весь период, общее количество созданных

блоков за весь период, общее количество транзакций за весь период, общее количество проверенных мегабайт за весь период и т. д.) [38,39]. Замер результатов проводился в течение 1 месяца.

Ethereum. Научная группа построила Блокчейн-сеть с использованием Go-Ethereum. Затем отправила транзакции (медицинские данные в 1 мегабайт) и проверила, что ввод транзакции для обоих серверов был одинаковым. Наконец, группа написала, скомпилировала, развернула и выполнила смарт-контракты с использованием Solidity в созданной Блокчейн-сети. Весь процесс построения сети блокчейн занял около 30 минут, скорость одной транзакции – 5 минут (оценки времени предполагают, что транзакция была подтверждена в первом блоке после отправки транзакции), время обучения для работы с системой для студента бакалавриата (СПбГУ) составляло около 5 дней. Среднее энергопотребление составило 2,75 кВт\*ч на 10000 транзакций.

Hyperledger Fabric. Научная группа построила распределенную сеть, используя технологию Hyperledger Fabric. Затем группа отправила транзакции (поток медицинских данных, размер 1 Мб) для проверки возможности подключения к сети и инициировала выполнение смарт-контракты с использованием Chaincode на языке Go. Весь процесс построения сети Блокчейн занял около 45 минут, скорость передачи данных – 3 минут, общий период обучения (ввод медицинских данных, их ведение и запросы доступа) для студентов бакалавриата составил около 10 дней. Среднее энергопотребление составило 0,95 кВт\*ч на 1000 транзакций. Данный показатель в 2,89 раз ниже показателя энергопотребления Ethereum, что говорит о энергоэффективности рассматриваемой Блокчейн-системы.

Tencent Chain. Построив сеть распределённых реестров и отправив транзакции между узлами, научная группа убедилась в быстродействии и работоспособности сети. После этого, группа создала потоки информации (медицинские записи пациентов) для распространения парных данных

"ключ-значение". Наконец, группа исследовала общую защищенность сети и ее пропускные способности. Весь процесс построения сети Блокчейн занял около 30 минут, скорость передачи данных – 5 минуты. Общий период обучения работы с системой у бакалавров занял 2 дня, что свидетельствует о простом интерфейсе использования. Среднее энергопотребление составило 1,25 кВт\*ч на 1000 транзакций. Данный показатель ниже показателя Ethereum 2,2 раз, но все равно превышает показатели Hyperledger Fabric в 1,32 раза.

Основываясь на экспериментальные данные, проведенные нашей научной группой при СПбГУ, MultiChain является самой простой платформой распределенной сети с точки зрения настройки, использования и быстродействия. Настройка Ethereum как разрешенной сети заняла больше времени, чем рассмотренный выше MultiChain.

Hyperledger Fabric содержит больше уровней верификации в своей сети (для повышения безопасности и управляемости), чем прочие примеры. Это приводит к более длительному времени интеграции, а также усложняет взаимодействие между участниками сети по сравнению с другими платформами. Но по уровню защиты данных и по уровню энергопотребления, это самая эффективная Блокчейн-технология из трех рассмотренных.

Установка необходимого программного обеспечения (в существующие медицинские платформы) для Tencent Chain и Ethereum также происходит быстрее, чем установка программного обеспечения в Hyperledger Fabric. С другой стороны, Ethereum и Hyperledger предоставляют полнофункциональные возможности смарт-контрактов, в то время как поддержка смарт-контрактов для Tencent Chain ограничена. Смарт-контракты легко читаются и легко программируются.

Что же касается биометрических медицинских приложений, основные характеристики трех платформ следующие. Ethereum поддерживается



большим количеством разработчиков по всему миру. Открытость программного кода делает его хорошим выбором с учетом долгосрочной устойчивости платформы, на которой базируются медицинские приложения. Hyperledger Fabric, в связи с многослойностью системы контроля доступа, делают данный язык универсальным в области безопасности хранения данных и их управляемости. Tencent Chain, являясь разрешенной блокчейн-сетью (permissioned blockchain), очень прост в обучении и использовании, что делает его наиболее эффективным с точки зрения повсеместной интеграции.

Основываясь на Федеральные законы о защите персональных данных и на Постановления Правительства (описаны выше) о здравоохранении, автор приходит к выводу, что ключевыми положениями цифровизации медицины РФ являются защита персональных данных и скорость передачи информации. Также не стоит забывать и себестоимости технологии, которая напрямую зависит от уровня энергопотребления. В связи с этим, автор считает, что наиболее подходящей Блокчейн-технологией для цифровизации социально-страховой системы здравоохранения РФ, является децентрализованная система Hyperledger Fabric (ее гибридная форма).

#### **Список источников**

1. Склад Т. М. Экономика и управление здравоохранением. Экономика медицины и здравоохранения / Отраслевая экономика, СПбГУ, Учеб. пособие. СПб, 2004 г.
2. Смышляев А. В., Платонова Н. И., Мельников Ю. Ю., Особенности финансирования национальной системы здравоохранения в США, Социально-политические науки, 2019 г.
3. Соболева Е. А., Бюджетно-страховая модель финансирования здравоохранения в России, Финансы: теория и практика, 2021 г.

4. Zaborovskaia O., Nadezhina O., Avduevskaya E., The Impact of Digitalization on the Formation of Human Capital at the Regional Level, *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 2020
5. Абдрахманова Г.И. Что такое цифровая экономика? Тенденции, компетенции, измерение. Материалы Международной научной конференции по проблемам экономического и социального развития, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия, 17–18 октября 2019 г.; п. 82.
6. Полосухина М.А. Национальные модели цифровой экономики. *Дж. Экон. соц. Пробл. Русь*. 2018 , 1 , 111–154.
7. Инициатива G20 по развитию цифровой экономики и сотрудничеству. Доступно в Интернете: <http://www.g20.utoronto.ca/2016/g20-digital-economy-development-and-cooperation.pdf> (Дата обращения 17.03.2023 г.)
8. Vrchota, J.; Maříková, M.; Řehoř, P.; Rolínek, L.; Toušek, R. Human Resources Readiness for Industry 4.0. *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex.* 2020, 6, 3.
9. Assessing the impact of digital transformation of health services, Report of the Expert Panel on effective ways of investing in Health (EXPH), [https://health.ec.europa.eu/system/files/2019-11/022\\_digitaltransformation\\_en\\_0.pdf](https://health.ec.europa.eu/system/files/2019-11/022_digitaltransformation_en_0.pdf)
10. Barlybaev A., Ishnazarova Z., Sitnova I., Quality of Life of the Population: the Impact of Digitalization, *E3S Web of Conferences* 295, 01034 (2021) *WFSDI* 2021, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202129501034>
11. Ienca M., Schneble C., Kressig R., Wangmo T., Digital health interventions for healthy ageing: a qualitative user evaluation and ethical assessment, <https://doi.org/10.1186/s12877-021-02338-z>

12. Empowering the health workforce, Strategies to make the most of the digital revolution, OECD, <https://www.oecd.org/health/health-systems/Empowering-Health-Workforce-Digital-Revolution.pdf> (Дата обращения: 16.03.2023 г.)
13. Hasselgren A, Krlevska K, Gligoroski D, Pedersen SA, Faxvaag A. Blockchain in healthcare and health sciences-A scoping review. *Int J Med Inform.* 2020 Feb;134:104040. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2019.104040.
14. Khezr S, Moniruzzaman M, Yassine A, Benlamri R. Blockchain technology in healthcare: a comprehensive review and directions for future research. *Appl Sci.* 2019 Apr 26;9(9):1736. doi: 10.3390/app9091736.
15. Durneva P, Cousins K, Chen M. The current state of research, challenges, and future research directions of blockchain technology in patient care: systematic review. *J Med Internet Res.* 2020 Jul 20;22(7):e18619. doi: 10.2196/18619.
16. Zibin Zheng, Shaoan Xie<sup>1</sup>, Hongning Dai, An Overview of Blockchain Technology:Architecture, Consensus, and Future Trends, 2017 IEEE 6th International Congress on Big Data
17. Guizhou Wang, Si Zhang, Tao Yu, Yu Ning, A Systematic Overview of Blockchain Research, From the journal *Journal of Systems Science and Information*, <https://doi.org/10.21078/JSSI-2021-205-34>
18. Taghreed Justinia, Blockchain Technologies: Opportunities for Solving Real-World Problems in Healthcare and Biomedical Sciences, *cta Inform Med.* 2019 Dec; 27(4): 284–291, doi: 10.5455/aim.2019.27.284-291
19. Min Xu, Xingtong Chen, Gang Kou, A systematic review of blockchain, <https://doi.org/10.1186/s40854-019-0147-z>
20. Gaynor M, Tuttle-Newhall J, Parker J, Patel A, Tang C. Adoption of blockchain in health care. *J Med Internet Res.* 2020 Sep 17;22(9):e17423. doi: 10.2196/17423.
21. Mello MM, Adler-Milstein J, Ding KL, Savage L. Legal barriers to the growth of health information exchange-boulders or pebbles? *Milbank Q.* 2018 Dec;96(1):110–43. doi: 10.1111/1468-0009.12313.

22. Biot C, Johnson P, Massart S, Pecuchet N. Data sharing is the key to innovation in healthcare. MIT Technology Review. 2019. [2021-12-01]
23. Orcutt M. Why the CDC wants in on blockchain. MIT Technology Review. 2017. [2021-12-01]. <https://www.technologyreview.com/s/608959/why-the-cdc-wants-in-on-blockchain/>
24. Maslove DM, Klein J, Brohman K, Martin P. Using blockchain technology to manage clinical trials data: a proof-of-concept study. JMIR Med Inform. 2018 Dec 21;6(4):e11949. doi: 10.2196/11949. <https://medinform.jmir.org/2018/4/e11949/>
25. Bass J. Introduction. In: Metcalf D, Bass J, Hooper M, Cahana A, Dhillon V, editors. Blockchain in Healthcare. Boca Raton, FL: CRC Press; 2019. pp. 3–24.
26. Halamka J, Lippman A, Ekblaw A. The potential for blockchain to transform electronic health records. Harvard Business Review. 2017. [2021-12-02]. <https://hbr.org/2017/03/the-potential-for-blockchain-to-transform-electronic-health-records>
27. Kuo T-T, Zavaleta Rojas H, Ohno-Machado L. Comparison of blockchain platforms: a systematic review and healthcare examples. Journal of the American Medical Informatics Association. 2019
28. The Solidity Contract-Oriented Programming Language. Available from: <https://github.com/ethereum/solidity>
29. The MIT License. Available from: <https://opensource.org/licenses/MIT>.
30. GNU General Public License. Available from: <https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.en.html>.
31. Delmolino K, Arnett M, Kosba A, Miller A, Shi E, editors. International Conference on Financial Cryptography and Data Security. Springer: 2016. Step by step towards creating a safe smart contract: Lessons and insights from a cryptocurrency lab.
32. CoinMarketCap. Crypto-Currency Market Capitalizations. Available from: <https://coinmarketcap.com>

33. Castillo Md. Microsoft Doubles Down on Ethereum With New Blockchain Product. Available from: <http://www.coindesk.com/microsoft-launching-new-ethereum-blockchain-product/>
34. The Ethereum Community. Account Types, Gas, and Transactions. <http://ethdocs.org/en/latest/contracts-and-transactions/account-types-gas-and-transactions.html>.
35. Ether. Available from: <http://ethdocs.org/en/latest/ether.html>
36. Hyperledger Fabric, Type: Distributed ledger software, <https://www.hyperledger.org/use/fabric>
37. Tencent is finally joining the web3 wild west, <https://techcrunch.com/2023/02/22/tencent-is-finally-joining-the-web3-wild-west/>
38. MNP Report "Blockchain Technology and Energy Consumption: The Pursuit of Efficiency"
39. Measuring Bitcoin Energy Consumption and Efficiency, <https://bitcoinassociation.net/ru/measuring-the-energy-consumption-and-efficiency-of-bitcoin/>

### References

1. Sklyar T. M. Economics and health management. Economics of medicine and healthcare / Branch economics, St. Petersburg State University, Proc. allowance. St. Petersburg, 2004
2. Smyshlyaev A. V., Platonova N. I., Melnikov Yu. Yu., Features of financing the national health care system in the USA, Socio-political sciences, 2019
3. Soboleva E. A., Budget-insurance model of healthcare financing in Russia, Finance: theory and practice, 2021
4. Zaborovskaia O., Nadezhina O., Avduevskaya E., The Impact of Digitalization on the Formation of Human Capital at the Regional Level, Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 2020
5. Abdrakhmanova G.I. What is the digital economy? Trends, competencies, measurement. Proceedings of the International Scientific Conference on Economic

and Social Development, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia, October 17–18, 2019; 82.

6. Polosukhina M.A. National models of the digital economy. J. Econ. social Probl. Rus. 2018, 1, 111–154.

7. G20 Digital Economy Development and Cooperation Initiative. Available online: <http://www.g20.utoronto.ca/2016/g20-digital-economy-development-and-cooperation.pdf> (Accessed 03/17/2023)

8. Vrchota, J.; Maříková, M.; Řehoř, P.; Rolínek, L.; Toušek, R. Human Resources Readiness for Industry 4.0. J. Open Innov. Technol. Mark. Complex. 2020, 6, 3.

9. Assessing the impact of digital transformation of health services, Report of the Expert Panel on effective ways of investing in Health (EXPH), [https://health.ec.europa.eu/system/files/2019-11/022\\_digitaltransformation\\_en\\_0.pdf](https://health.ec.europa.eu/system/files/2019-11/022_digitaltransformation_en_0.pdf)

10. Barlybaev A., Ishnazarova Z., Sitnova I., Quality of Life of the Population: the Impact of Digitalization, E3S Web of Conferences 295, 01034 (2021) WFSDI 2021, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202129501034>

11. Ienca M., Schneble C., Kressig R., Wangmo T., Digital health interventions for healthy ageing: a qualitative user evaluation and ethical assessment, <https://doi.org/10.1186/s12877-021-02338-z>

12. Empowering the health workforce, Strategies to make the most of the digital revolution, OECD, <https://www.oecd.org/health/health-systems/Empowering-Health-Workforce-Digital-Revolution.pdf> (Дата обращения: 16.03.2023 г.)

13. Hasselgren A, Králevska K, Gligoroski D, Pedersen SA, Faxvaag A. Blockchain in healthcare and health sciences-A scoping review. Int J Med Inform. 2020 Feb;134:104040. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2019.104040.

14. Khezr S, Moniruzzaman M, Yassine A, Benlamri R. Blockchain technology in healthcare: a comprehensive review and directions for future research. Appl Sci. 2019 Apr 26;9(9):1736. doi: 10.3390/app9091736.

15. Durneva P, Cousins K, Chen M. The current state of research, challenges, and future research directions of blockchain technology in patient care: systematic review. *J Med Internet Res.* 2020 Jul 20;22(7):e18619. doi: 10.2196/18619.
16. Zibin Zheng, Shaoan Xie<sup>1</sup>, Hongning Dai, An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends, 2017 IEEE 6th International Congress on Big Data
17. Guizhou Wang, Si Zhang, Tao Yu, Yu Ning, A Systematic Overview of Blockchain Research, From the journal *Journal of Systems Science and Information*, <https://doi.org/10.21078/JSSI-2021-205-34>
18. Taghreed Justinia, Blockchain Technologies: Opportunities for Solving Real-World Problems in Healthcare and Biomedical Sciences, *cta Inform Med.* 2019 Dec; 27(4): 284–291, doi: 10.5455/aim.2019.27.284-291
19. Min Xu, Xingtong Chen, Gang Kou, A systematic review of blockchain, <https://doi.org/10.1186/s40854-019-0147-z>
20. Gaynor M, Tuttle-Newhall J, Parker J, Patel A, Tang C. Adoption of blockchain in health care. *J Med Internet Res.* 2020 Sep 17;22(9):e17423. doi: 10.2196/17423.
21. Mello MM, Adler-Milstein J, Ding KL, Savage L. Legal barriers to the growth of health information exchange—boulders or pebbles? *Milbank Q.* 2018 Dec;96(1):110–43. doi: 10.1111/1468-0009.12313.
22. Biot C, Johnson P, Massart S, Pecuchet N. Data sharing is the key to innovation in healthcare. *MIT Technology Review.* 2019. [2021-12-01]
23. Orcutt M. Why the CDC wants in on blockchain. *MIT Technology Review.* 2017. [2021-12-01]. <https://www.technologyreview.com/s/608959/why-the-cdc-wants-in-on-blockchain/>
24. Maslove DM, Klein J, Brohman K, Martin P. Using blockchain technology to manage clinical trials data: a proof-of-concept study. *JMIR Med Inform.* 2018 Dec 21;6(4):e11949. doi: 10.2196/11949. <https://medinform.jmir.org/2018/4/e11949/>

25. Bass J. Introduction. In: Metcalf D, Bass J, Hooper M, Cahana A, Dhillon V, editors. Blockchain in Healthcare. Boca Raton, FL: CRC Press; 2019. pp. 3–24.
26. Halamka J, Lippman A, Ekblaw A. The potential for blockchain to transform electronic health records. Harvard Business Review. 2017. [2021-12-02]. <https://hbr.org/2017/03/the-potential-for-blockchain-to-transform-electronic-health-records>
27. Kuo T-T, Zavaleta Rojas H, Ohno-Machado L. Comparison of blockchain platforms: a systematic review and healthcare examples. Journal of the American Medical Informatics Association. 2019
28. The Solidity Contract-Oriented Programming Language. Available from: <https://github.com/ethereum/solidity>
29. The MIT License. Available from: <https://opensource.org/licenses/MIT>.
30. GNU General Public License. Available from: <https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.en.html>.
31. Delmolino K, Arnett M, Kosba A, Miller A, Shi E, editors. International Conference on Financial Cryptography and Data Security. Springer: 2016. Step by step towards creating a safe smart contract: Lessons and insights from a cryptocurrency lab.
32. CoinMarketCap. Crypto-Currency Market Capitalizations. Available from: <https://coinmarketcap.com>
33. Castillo Md. Microsoft Doubles Down on Ethereum With New Blockchain Product. Available from: <http://www.coindesk.com/microsoft-launching-new-ethereum-blockchain-product/>
34. The Ethereum Community. Account Types, Gas, and Transactions. <http://ethdocs.org/en/latest/contracts-and-transactions/account-types-gas-and-transactions.html>.
35. Ether. Available from: <http://ethdocs.org/en/latest/ether.html>
36. Hyperledger Fabric, Type: Distributed ledger software, <https://www.hyperledger.org/use/fabric>



37. Tencent is finally joining the web3 wild west,  
<https://techcrunch.com/2023/02/22/tencent-is-finally-joining-the-web3-wild-west/>

38. MNP Report "Blockchain Technology and Energy Consumption: The Pursuit of Efficiency"

39. Measuring Bitcoin Energy Consumption and Efficiency,  
<https://bitcoinassociation.net/ru/measuring-the-energy-consumption-and-efficiency-of-bitcoin/>

**Для цитирования:** Кадиров А.О. Сравнение финансово-экономической рентабельности Блокчейн-технологий в процессах цифровизации социально-страховой системы здравоохранения РФ // Московский экономический журнал. 2023. № 5. URL: <https://qje.su/ekonomicheskaya-teoriya/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-5-2023-57/>

© Кадиров А.О., 2023. Московский экономический журнал, 2023, № 5.