УДК 336.744

В. Б. Криштаносов
Белорусский государственный технологический университет

БЛОКЧЕЙН: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТЫ

Выявлены технологические и экономические аспекты внедрения технологии Блокчейн, обоснованы главные характеристики данной технологии, отмечена принятая типология разновидностей Блокчейн в зависимости от специфики внедрения и технологических особенностей. Приведены разновидности алгоритмов согласований «консенсуса» как в разрезе технологий, так и экономических преимуществ их имплементации. Проведен анализ концепции смарт-контрактов в разрезе различных платформ (Ethereum, Hyperleger Fabric, R3 Corda), выявлены экономические преимущества внедрения данной технологии и перспективные направления ее использования в различных секторах экономики, обоснован инновационный характер приложений «DApp». Сделан детальный анализ преимуществ применения как технологий Блокчейн в различных отраслях экономики, так и объективных барьеров их широкого и стремительного внедрения. Выявлены предпосылки и движущие силы эволюции технологий Блокчейн. Сделан общий анализ законодательных рамок внедрения технологий Блокчейн в Республике Беларусь, а также приведены примеры реализации блокчейн-проекта Национального банка Республики Беларусь.

Ключевые слова: технологии Блокчейн, частный, публичный и консорциум Блокчейн, алгоритм согласования «консенсус», смарт-контракт.

V. Kryshtanosau
Belarusian State Technological University

BLOCKCHAIN: TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC ASPECTS

There have been revealed the technological and economic aspects of the implementation of Blockchain, substantiated the main characteristics of this technology, noted the adopted typology of the Blockchain varieties, depending on the specifics of implementation and technological features. There have been presented different types of “consensus” algorithms in terms of technologies and the economic advantages of their implementation. It has been carried out the analysis of the concept of smart contracts in the context of various platforms (Ethereum, Hyperleger Fabric, R3 Corda), revealed the economic advantages of introducing this technology and promising directions of its use in various sectors of the economy, substantiated the innovative nature of DApp applications. There has been made a detailed analysis of both the advantages of using Blockchain technologies in various sectors of the economy and the objective barriers of their wide and rapid implementation. The prerequisites and driving forces for the evolution of Blockchain technologies are identified. A general analysis of the legislative framework for the implementation of Blockchain technologies in the Republic of Belarus is made, as well as examples of the implementation of the blockchain project of the National Bank of the Republic of Belarus.

Key words: Blockchain technologies, private, public and consortium blockchain, “consensus”, smart contract.

Введение. Проблематика технологий Блокчейн является одной из самых обсуждаемых в экономической литературе, ввиду взрывного успеха криптовалют, новых парадигм смарт-контрактов, ICO, DApp, которые модифицируют имеющийся инструментарий и механизмы функционирования на уровне отраслей и рынков. Исследуются предпосылки формирования новых финансовых и информационных продуктов. Разрушительные технологии Блокчейн бросают вызов как на уровне международных, так и национальных регуляторов. В этой связи целью данной статьи является рассмотрение современных подходов к влиянию Блокчейн на различные социально-экономические аспекты государственного развития, отраслевые и бизнес-решения с учетом особенностей и специфики данной технологии.

Термин «Блокчейн» [1] первоначально применялся для описания системы распределенного хранения записей, используемого протоколом Биткойн. В настоящее время применяются для описания любых технологий распределенной бухгалтерской книги, которые основаны на дизайне цепочки блоков Биткойн.

Термин «технология распределенного реестра» (Distributed Ledger Technology DLT) относится к распределенной системе ведения записей, которая доступна только для добавления и защищена с помощью согласованных протоколов.

Блокчейн в разрезе технологических аспектов, экономических подходов определяется исследователями таким образом (табл. 1).

Таблица 1

Теоретические подходы к определению технологий Блокчейн [составлено автором]

Определение технологии Блокчейн	Авторы/ссылка
Блокчейн представляет собой цифровые платформы, где «управление» распределено или децентрализовано среди большого числа держателей токенов, валидаторов блоков (майнеры в случае биткойнов) и разработчиков	Darcy W.E. Allen, Chris Berg, Brendan Markey-Towler, Mikayla Novak, Jason Potts [2]
Блокчейн – распределенная и децентрализованная публичная база данных всех транзакций или цифровых событий, которые были выполнены или совместно использованы участвующими узлами. Каждое событие в общедоступной базе данных проверяется на основе соглашения большого количества узлов в сети блокчейна. Блокчейн – это новая парадигма децентрализованных и распределенных вычислений, лежащая в основе криптовалюты Биткойн, которая обеспечивает конфиденциальность и безопасность в одноранговых (Peer-to-Peer P2P) сетях	Rakesh Shrestha, Rojeena Bajracharya, Anish P. Shrestha, Seung Yeob Nam [3]
Блокчейн – это программный протокол, который позволяет безопасно передавать деньги, активы и информацию через Интернет без необходимости использования сторонних посредников, таких как банки или другие финансовые учреждения. Транзакции проверяются, выполняются и записываются в хронологическом порядке в базе данных, доступной только для добавления и защищенной от несанкционированного доступа, где они всегда доступны в Интернете 24/7 для поиска и проверки по требованию	Swan Melanie [4]
Блокчейн – база данных распределенного реестра для достоверной и постоянной регистрации транзакций между сторонами	Xiongfeng Pan, Xianyou Pan, Malin Song, Bowei Ai, Yang Ming [5]
Блокчейн – сеть распределенного реестра, использующая криптографию с открытым ключом для криптографической подписи транзакций, которые хранятся в распределенном реестре, причем реестр содержит криптографически связанные блоки транзакций	Sophocles Theodorou, Nicolas Sklavos [6]
Блокчейн – это открытая децентрализованная криптографическая база данных без прав доступа, которая действует как открытая книга всех записанных транзакций, и эта запись является неизменной и защищенной от подделки, так что она может быть проверена каждым участником сети	Narayanan A [7]
Блокчейн – децентрализованная транзакционная база данных, которая позволяет хранить проверенные, защищенные от несанкционированного доступа транзакции для большого числа участников (то есть узлов) в сети. С точки зрения бизнеса блокчейн может быть определен как одноранговая сеть обмена для передачи ценности, в то время как с юридической точки зрения он может быть определен как технология для проверки транзакций	Theo Lynn, John G. Mooney, Pierangelo Rosati, Mark Cummins [8]
Блокчейн – это распределенный программный механизм, который предоставляет системе постоянно растущий список транзакций с доверенными активами без необходимости в центральном доверительном органе	Atin Angrish, Benjamin Craver, Mahmud Hasan, Binil Starly [9]
Технология Блокчейн означает технологию распределенного реестра, являющегося распределенным, децентрализованным, совместно используемым и реплицируемым, который может быть общедоступным или частным, разрешенным или неразрешенным или управляемым токенизированной криптоэкономикой или без токенов. Данные в реестре защищены криптографией, являются неизменными	Закон Аризоны (США) от 2017 г. [10]

Технологические аспекты Блокчейн. В технологическом разрезе Блокчейн представляет собой структуру, в которой транзакции хранятся в цепочке блоков, по сути, являющихся связанными структурами данных, содержащими пакет действительных и проверенных транзакций [9]. Его можно считать постоянно растущим реестром, в котором хранятся записи обо всех транзакциях, которые произошли в хронологическом порядке и содержимое которых является неизменным. Каждый блок состоит из неизменяемого хэша предыдущего блока, к которому он подключен, который в конечном итоге образует цепочку ссылок из блоков, содержащих данные, которые могут быть уникальным образом связаны с физическим активом, таким как человек или физическое свойство. Эта распределенная база данных работает на нескольких серверах (узлах) по всей сети, причем каждый узел проверяет безопасность и целостность ввода данных в блоках. Поскольку центральное управление отсутствует, проверка распределяется между узлами

в сети цепочки блоков. Каждый блок в Блокчейн – это запись некоторых или всех недавних транзакций, которые произошли по сети. Транзакция может содержать записи значимых событий, связанных с отслеживаемым активом. Структура блока содержит информацию о последних транзакциях, размере блока, счетчике транзакций, который отслеживает добавление экземпляра блока в цепочку блоков, заголовок блока, сохраняющий информацию о криптографическом хэше предыдущего и текущего блока, текущей временной метке и случайном числе Nonce, которое помогает в генерации действительных хэшей для последующих блоков. Майнинг подразумевает механизм обеспечения безопасности и защиты Блокчейна от несанкционированного доступа.

Ключевые свойства Блокчейн – это то, как программное обеспечение работает для обеспечения передачи уникальных экземпляров стоимости (например, денег, имущества, контрактов и идентификационных данных) через Интернет, не требуя сторонних посредников, таких как банки или государственные организации [4]. Таким образом, следует выделить ряд *основных характеристик Блокчейна* [8]:

1) распределенная сеть: все участники сети могут проверять транзакции. Майнеры являются ключевыми действующими лицами в этой распределенной сети, поскольку они работают над решением вычислительных проблем, которые позволяют создавать, проверять и надежно хранить транзакции;

2) криптография: позволяет сторонам сохранять конфиденциальность информации, пересылаемой друг другу;

3) метка времени: каждая транзакция, которая происходит в Блокчейне, имеет метку времени, которая не может быть изменена после осуществленной записи.

Основная часть. На основе характеристик Блокчейн, функциональных особенностей выделяют *три типа сетей: публичные, частные и консорциум* [4].

Публичный Блокчейн предполагает наличие возможности для любого участника в сети Интернет присоединиться или выйти из сети Блокчейн без необходимости предоставления форм идентификации или запроса разрешения [1].

Частный Блокчейн предполагает, что все участники сети известны и заслуживают доверия; принадлежат к контролируемому сообществу. Субъектами могут быть как отдельные лица, такие как сотрудники и клиенты, так и организации (компании или отделы внутри компаний). Пользователи частной сети могут иметь определенные типы доступа для записи в реестр. Частный Блокчейн составляют большинство корпоративных, промышленных и государственных проектов. Различные другие стороны могут иметь различные частные представления данных только для чтения (например, сотрудники регулирующих органов).

Блокчейн консорциума объединяет элементы публичного и частного блокчейна. В качестве валидаторов функционирует уполномоченная группа, видимость сети может быть ограничена валидаторами, авторизованными лицами или не иметь ограничений.

На основе особенностей типологии Блокчейн можно выделить следующие слабые и сильные характеристики соответствующих разновидностей сетей (табл. 2).

Важным нововведением протокола Блокчейн является *алгоритм согласования «консенсус»*, который позволяет построить открытую распределенную сеть, где все стороны могут прийти к соглашению [4]. Данный механизм призван обеспечить достижение общей надежности в распределенной сети регистров. Предполагается, что 51% осуществляет согласование контента, хранящегося в сети регистров [14].

В публичном Блокчейн алгоритмы согласования «Доказательство выполнения работы» (Proof of Work (PoW) и «Доказательство доли владения» (Proof of Stake (PoS) являются наиболее распространенными и популярными алгоритмами консенсуса.

Алгоритм *«Доказательство выполнения работы» (Proof-of-Work (PoW)* разработан таким образом, что требует, чтобы все узлы в сети конкурировали за вознаграждение при добавлении блока записей в конец цепочки. Это соревнование включает в себя поиск одноразового номера путем простого использования вычислительной мощности [1]. Это создает модель стимулирования, согласно которой выигравший узел, который добавляет блок в цепочку блоков, получает вознаграждение цифровыми токенами – биткойнами. Для взлома сети злоумышленник вынужден не только бороться за право добавить блок, но и конкурировать за создание самой длинной цепочки. Это подрывает экономические стимулы атак, делая их финансово затратными (тип атаки – *Sybil attack*).

Алгоритм *«Доказательство доли владения» (Proof of Stake (PoS)* [1] предполагает, что майнер или валидатор, который создает новый блок, выбирается детерминированным образом в зависимости от его богатства или доли [15]. Концепция данного протокола предполагает увеличение вероятности успеха узла в создании новых цифровых токенов пропорционально количеству цифровых токенов, уже принадлежащих узлу. Логическое обоснование состоит в том, что чем больше цифровых токенов принадлежит узлу, тем больше будет заинтересованность узла в защите сети.

Таблица 2

Теоретические подходы к определению технологий Блокчейн, составлено автором на основе [11, 12, 13]

Характеристика	Тип Блокчейн		
	частный	публичный	консорциум
Общие характеристики	1. Публичный или частный доступ в сеть. 2. Средние издержки. 3. Средняя степень безопасности. 4. Частично децентрализованная сеть	1. Публичный доступ в сеть. 2. Более высокие издержки. 3. Высокая степень безопасности. 4. Децентрализованная сеть	1. Публичный или частный доступ в сеть. 2. Низкие издержки. 3. Средняя степень безопасности. 4. Практически полностью централизованная сеть
Сильные стороны	1. Объединение проверенных участников под одним зонтиком с большим контролем и доказательством полномочий. 2. Возможность отмены транзакций при необходимости. 3. Меньший пул доверенных лиц, чтобы договориться об изменении программного обеспечения (консенсус)	1. Использование силы толпы во всем мире и согласование с общей ценностью. 2. Возможность иметь неизменные данные путем распространения согласованных алгоритмов в большем масштабе	1. Высокая степень внесения возможных изменений в сеть. 2. Более высокая масштабируемость и большая конфиденциальность транзакций (используется в банковском секторе). 3. Наиболее выгоден в условиях, когда несколько организаций работают в одной отрасли и требуют общей основы для выполнения транзакций или передачи информации. 4. Снижение транзакционных издержек и избыточности данных, а также замена устаревших систем, упрощение обработки документов и избавление от полуручных механизмов соответствия
Слабые стороны	1. Согласованные правила могут быть изменяемыми, угрожая неизменности данных, где количество участников невелико	1. Во власти потенциально неизвестных участников. 2. Изменения в консенсусе невозможны в зависимости от архитектуры системы	1. Узкие рамки эффективного применения
Угрозы	1. Повторное введение отдельных точек отказа, которые могут поставить под угрозу основные данные. 2. Неправильный дизайн может привести к фаворитизму и подрыву алгоритмов консенсуса	1. Сбой алгоритма консенсуса или другой компромисс, который может привести к хаосу. 2. Технология Блокчейн все еще находится на стадии эксперимента и пока преждевременна, чтобы распространять контроль над толпой. 3. Желание организаций регистрировать свои транзакции в прозрачной общедоступной базе данных, что может привести к непреднамеренному конкурентному преимуществу (оно не обеспечивает полной анонимности, хотя транзакции являются псевдонимами)	1. Существует возможность взлома системы в случае превышения определенного порога атаки
Алгоритм согласований	PBFT, RAFT	PoW, PoS, DPoS	Отсутствует
Примеры использования	MONAX, Multichain	Bitcoin, Ethereum, Monero, Dash, Litecoin	R3 (банки), EWF (энергетика), B3i (страхование), Corda

Алгоритм согласования защищает сеть без использования вычислительной мощности в качестве средства защиты от атак и снижает барьер входа, устраняя преимущества, связанные с использованием специализированного оборудования [12]. Таким образом PoS – это более дешевая и экологичная распределенная форма согласованного алгоритма. Данный протокол впервые был реализован для криптовалюты Peercoin [1].

Алгоритм *«Делегированное доказательство доли владения» (Delegated Proof of Stake (DPoS)* [3] служит для стимулирования заинтересованных сторон и поощрения их к участию в сети путем делегирования или передачи своих монет более крупным заинтересованным сторонам [16].

В частном Блокчейн общим алгоритмом консенсуса является «Задача Византийских генералов» (Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT), который обеспечивает консенсус независимо от злонамеренного поведения со стороны некоторых участвующих узлов [17]. В рамках данного протокола согласования все узлы соединяются друг с другом, и законные узлы достигают системного соглашения, основанного на правиле большинства. Консенсус предполагает, что количество вредоносных узлов не может быть равным или превышающим 33% всех узлов в сети. Протокол консенсуса требует, чтобы все клиенты в сети проходили аутентификацию и авторизовались для отправки транзакций валидаторам [1].

Алгоритм *«Доказательство прошедшего времени» (Proof of Elapsed Time (PoET)* – это частный согласованный механизм цепочки блоков, которому необходимо, чтобы все участвующие узлы идентифицировали себя, прежде чем они будут участвовать в сети [18]. PoET основан на системе честной лотереи по технологии Intel Guard Guard [14], где каждый участник имеет равную возможность быть победителем среди всех участников сети.

Отказоустойчивый консенсусный алгоритм *«Raft»* следует модели «лидера-последователя», когда руководитель избирается для принятия решения об общих состояниях сети и передает изменения на узлы-последователи. Процесс выбора, основанный на случайных настройках тайм-аута, происходит, когда лидер отсутствует или не реагирует в течение заранее определенного периода времени.

Алгоритм согласования *«Ripple» (RPCA)*, разработанный в 2014 г. [1], является еще одним согласованным протоколом на основе токенов без использования майнинга. Целью Ripple является обеспечение безопасных, мгновенных, дешевых международных финансовых транзакций любого размера безвозвратных платежей [4].

В дополнение к основным разработанным протоколам можно добавить некоторые менее популярные [6].

Алгоритм *«Доказательство деятельности» (Proof of Activity (PoA)* объединяет компоненты из PoS и PoW. Этот гибридный протокол обеспечивает функционирование сети при меньшей затрате электроэнергии.

Алгоритм *«Доказательство голоса» (Proof of Vote (PoV)* основан на платформе биткойнов. Механизм нацелен на то, чтобы «установить другую идентификационную информацию безопасности для участников сети так, чтобы решение о представлении и проверке блоков принималось голосованием агентств вне зависимости от посреднической деятельности третьей стороны или неконтролируемой осведомленности общественности». По сравнению с основными протоколами, PoV стремится обеспечить более контролируемую безопасность и низкую задержку в течение времени, необходимого для проверки транзакции.

Алгоритм *«Доказательство важности» (Proof of Importance (PoI)* использует показатель важности для выбора генераторов блоков на основе владения долей распространенной криптовалюты и взаимодействия с другими узлами, чтобы стимулировать распределение и транзакции собственных токенов [14]. Механизм консенсуса представлен в блокчейне NEM.

Алгоритм *«Доказательство с нулевым разглашением» (Zero-Knowledge Proof)* позволяет сертифицирующей стороне доказать верификатору, что утверждение является верным, не раскрывая никакой другой информации.

Сравнение различных характеристик консенсуса приведено в табл. 3.

Таблица 3

Сравнение базовых характеристик различных типов консенсуса технологий Блокчейн [13]

Характеристики	PoW	PoS	PoET	PBFT	DPOS	Ripple
Стоимость транзакции	Высокая	Высокая	Средняя	Низкая	Средняя	Низкая
Потребление электроэнергии	Высокое	Среднее	—	Низкое	Среднее	Низкое
Масштабируемость	Высокая	Высокая	Высокая	Низкая	Низкая	Низкая
Необходимый объем хранения данных	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий	Средний	Средний

Следует выделить некоторые из *основных функциональных особенностей Блокчейна* [3].

А) Неизменность: информация, записанная и подтвержденная в цепочке блоков, не может быть изменена или удалена из сети. Кроме того, информация не может быть добавлена произвольно.

Б) Распределенная и надежная среда: в Блокчейн любой добавляемый узел может синхронизировать и проверять все содержимое Блокчейн распределенным образом без центрального контроля. Это гарантирует безопасность и предотвращает единую точку отказа. Это обеспечивает доверие к системе.

В) Конфиденциальность и анонимность: пользователь может присоединиться к сети анонимно, информация о нем не может быть известна другим пользователям. Личная информация является конфиденциальной, безопасной и анонимной.

Г) Более быстрые транзакции: обработка транзакций или событий занимает от нескольких секунд до нескольких минут.

Д) Надежные и точные данные: сеть Блокчейн может противостоять злонамеренным атакам и не иметь единой точки отказа.

Е) Прозрачность: Блокчейн хранит сведения о каждой отдельной транзакции или событии, которое происходит в сети. Любой участник сети может просматривать транзакции.

Концепция смарт-контрактов. Одной из важнейших концепций, которая помогает повысить эффективность использования Блокчейн, являются смарт-контракты [19]. Концепция смарт-контракта была впервые предложена Ником Сабо в 1994 г. [20]. Смарт-контракт – это цифровой протокол, который проверяет и обеспечивает выполнение условий контрактов, которые были согласованы между сторонами, без необходимости полагаться на третьи стороны [21, 22]. Смарт-контракт, по мнению М. Раскина, представляет собой «соглашение, исполнение которого автоматизировано и осуществляется с помощью компьютера, где выполняется код, преобразующий юридический текст в исполняемую программу» [23]. В самой простой форме смарт-контракт – это утверждение «если – то», которое выполняется в Блокчейн, где «стороны могут вступать в обязательные коммерческие отношения, полностью или частично увековеченные с применением кода, и использовать программное обеспечение для управления исполнением контрактов» [24].

В штате Аризона (США), принявшем законодательные меры по этому вопросу, смарт-котракты определены следующим образом: «Смарт-контракт» означает управляемую событиями программу с указанием состояния, которая выполняется в распределенной, децентрализованной, совместно используемой и реплицированной бухгалтерской книге и которая может захватывать и инструктировать передачу активов в этом реестре» [10].

Это означает, что смарт-контракт должен представлять собой компьютерную программу, которая следует за серией событий, и что он предназначен для запоминания предыдущих инструкций или взаимодействия с пользователем (с учетом состояния). Это означает, что эти документы начинаются как строки компьютерного кода, написанные на языке, способном делать заявления «если – то» (If-Then), которые могут выражать правовые концепции, но они также могут определять более сложные нормы. Контракт должен быть детерминированным в том смысле, что один и тот же вход всегда будет давать один и тот же результат, и контракт должен также содержать все возможные варианты, вытекающие из контракта, выраженного в коде [25].

В настоящее время смарт-контракты рассматриваются как удобный способ оцифровки, обмена, автоматизации и обеспечения выполнения бизнес-процессов в сети ненадежных организаций, особенно в цепочках консорциумов, без необходимости полагаться на какую-либо единственную точку доверия или объекты с ошибками [26].

Существуют различные платформы для написания умных контрактов. Некоторые из них предназначены специально для этой задачи [22], например *Ethereum* (https://www.ethereum.org/). Ethereum – глобальная децентрализованная прикладная платформа, используемая для разработки и эксплуатации смарт-контрактов [1]. Он был запущен в 2014 г. Благодаря первоначальной продаже монет Ethereum стал платформой для (i) финансовых (валюты, системы токенов), (ii) кредитно-финансовых (например, crowdfunding) и (iii) нефинансовых приложений (онлайн-голосование, децентрализованное управление) [27].

Quorum – это ориентированная на предприятия версия Ethereum [4], предназначенная для работы с корпоративной цепочкой и платформой смарт-контрактов. Кворум оптимален для любого приложения, требующего высокоскоростной и высокопроизводительной обработки частных транзакций в пределах разрешенной группы известных участников (например, группы инвестиционных банков).

Смарт-контракты имеют следующие преимущества по сравнению с обычными контрактами [28].

1. Снижение рисков. По причине неизменности Блокчейн умные контракты не могут быть произвольно изменены после их выпуска. Более того, все транзакции, которые

хранятся и дублируются во всей распределенной системе Блокчейн, отслеживаются и проверяются. В результате злонамеренное поведение, такое как финансовое мошенничество, может быть в значительной степени нивелировано.

2. Сокращение административных и сервисных расходов. Цепочки блоков обеспечивают доверие всей системы с помощью распределенных механизмов консенсуса, не проходя через центрального брокера или посредника. Умные контракты, хранящиеся в Блокчейн, могут автоматически запускаться децентрализованно. Следовательно, затраты на администрирование и обслуживание благодаря вмешательству третьей стороны могут быть значительно снижены.

3. Повышение эффективности бизнес-процессов. Устранение зависимости от посредника может значительно повысить эффективность бизнес-процесса.

Вместе с тем смарт-контракты влекут за собой *проблемы* с точки зрения неизменности, так как после регистрации невозможно исправить ошибку в смарт-контракте. Единственным решением является создание нового контракта для отмены операций, выполненных по первому контракту [29].

Кроме того, может не сохраняться конфиденциальность всего исполнения договора, поскольку все транзакции доступны по всей сети [28].

Важно отметить сложность обеспечения исполнения смарт-контрактов из-за уязвимости компьютерных программ к сбоям. Так, смарт-контракты уязвимы для злонамеренных атак, инициированных мошенниками. В результате исследования схем финансовых пирамид (схема Ponzi) на Ethereum с июля 2015 г. по май 2017 г. выявлено 17 777 мошеннических транзакций на сумму 410 тыс. долл. США [30].

«DApp» – это веб-приложения, которые взаимодействуют с экосистемами Блокчейн и предоставляют конечным пользователям аналогичные веб-сервисы, так что базовая технология инкапсулируется аналогичным пользовательским интерфейсом [31]. DApp обеспечивает быстрые транзакции с умными контрактами, которые выполняются автоматически в заранее оговоренных обстоятельствах. Ethereum [32] как платформа позволяет разработчикам легко создавать децентрализованные приложения (DApp) с помощью технологии Блокчейн [33].

Кроме Ethereum, среди наиболее популярных платформ смарт-контракта: Hyperledger Fabric [34], Corda [35], Stellar [36], Rootstock [37].

Платформа *«Hyperledger Fabric» (HLF)* создана в 2016 г. в качестве проекта «Linux Foundation» [38] при участии IBM, Intel, Soramitsu и Monax [29], является консорциумным решением, платформой с открытым исходным кодом, использует технологию распределенного реестра корпоративного уровня [39]. Это решение позволяет внедрять инновации для широкого спектра отраслевых применений, включая банковское дело, финансы, страхование, здравоохранение, IoT, цепочку поставок. Недавние исследования [40, 41, 42] показали, что пропускная способность этой технологии может составлять приблизительно 3000 ткс/с, а архитектура HLF может быть модифицирована для обработки 20 000 ткс/с.

Протокол HLF [38] реализован в платформе IBM Watson IoT ™ [39]. Это платформа BC-as-a-Service (BaaS), которая позволяет устройствам IoT отправлять данные в частные регистры Блокчейн для включения в общие транзакции с записями, защищенными от несанкционированного доступа.

R3 Corda – это платформа распределенной бухгалтерской книги для записи и обработки финансовых соглашений [1], разработанная R3 [43, 44]. R3 Corda предназначена для работы в регулируемых средах с ограниченным числом известных участников, специализируется на случаях использования, применимых только к финансовому сектору. Для работы в банковских учреждениях Corda предназначена для работы с универсальными стандартами обмена финансовыми сообщениями, такими как ISO 20022.

Использование смарт-контарктов по различным направлениям представлено в табл. 4.

Экономические аспекты применения технологий Блокчейн. По мнению ряда исследователей S. Davidson, P. De Filippi, J. Potts [45], распределение управления делает Блокчейн «институциональной технологией», которая должна рассматриваться через призму трансакционных издержек и экономической организации [2]. Как объясняют C. Catalini, J. S. Gans [46], экономический эффект от внедрения технологии Блокчейн характеризуется снижением затрат на верификацию и сетевых затрат, которые являются формами операционных затрат [47]. Основной эффект институциональных технологий, таких как Блокчейн, заключается в низких транзакционных издержках экономической координации и управления между сетью экономических агентов [48], а не во влиянии инноваций на производительность для экономического агента. Как институциональная технология, Блокчейн способствует институциональному предпринимательству новыми формами экономической координации и управления.

Инновационный процесс Блокчейн внедряется во многих секторах экономики одновременно и по-разному, включая финансы, сельское хозяйство, торговлю и логистику, творческую индустрию и государственные службы, страхование, здравоохранение и энергетику [19].

Основные направления использования смарт-контрактов показаны в табл. 4.

Таблица 4

Основные направления использования смарт-контрактов [28]

Отрасль приложения	Преимущества	Примеры использования
IoT	1) Снижение затрат на обслуживание центрального сервера. 2) Автоматизация P2P-торговли. 3) Снижение затрат для доверенных третьих лиц	1) Автоматическое обновление прошивки устройства IoT. 2) Ускорение цепочек поставок
Безопасность распределенных систем	1) Быстрый и надежный обмен списком атак. 2) Проверка надежности поставщиков облачных услуг. 3) Избегание использования брокеров	1) Защита от DDoS-атак в компьютерных сетях. 2) Облачные вычисления
Финансы	1) Снижение финансовых рисков. 2) Снижение затрат на администрирование и обслуживание. 3) Повышение эффективности финансовых услуг	1) Рынки капитала и инвестиционный банкинг. 2) Коммерческий и розничный банкинг. 3) Страхование
Происхождение данных	1) Выявление вредоносной фальсификации данных. 2) Повышение надежности данных. 3) Сохранение конфиденциальности	1) Научные исследования. 2) Общественное здравоохранение. 3) Источник облачных данных
Шеринговая экономика	1) Снижение потребительских затрат. 2) Снижение затрат для доверенных третьих лиц. 3) Сохранение конфиденциальности	1) Обмен предметами. 2) Автоматические платежные системы P2P. 3) Платформы обмена валюты
Государственный сектор	1) Предотвращение подделки данных. 2) Информационная прозрачность публичной информации. 3) Сохранение конфиденциальности	1) Системы электронного голосования. 2) Системы личной репутации. 3) Умные платформы обмена недвижимостью

Ряд исследователей выделяет следующую классификацию применения технологий Блокчейн: 1) денежные активы (валюта, платежи, денежные переводы, финансы, ценные бумаги и финансовые инструменты); 2) собственность (реестры земельных участков, недвижимости и автоматических прав собственности); 3) контракты (деловые соглашения, лицензирование, регистрация, завещания и доверительные отношения, партнерские соглашения и регистрации в области ИС) и 4) удостоверения личности (паспорт, виза, водительские права и реестры рождений) [4]. Распределенные реестры Блокчейн создают новый способ управления экономическими и информационными транзакциями с помощью безопасных сетей связи.

Вместе с тем Блокчейн не является универсальным решением для любых бизнес-процессов [29], его следует рассматривать только как «средство» для решения конкретных бизнес-задач. Например, технология Блокчейн может повысить уровень дезинтермедиации [49], когда поставщики могут напрямую взаимодействовать с клиентами, устраняя необходимость в сверках, эффективно отслеживая активы и обеспечивая целостность данных [50].

Блокчейн может записывать экономические операции между любыми видами активов [51, 52]. Технология Блокчейн позволяет получать информацию с отметкой времени, проверять подлинность и хранить ее [29]. Он может применяться для нотариального заверения информации без центрального стороннего лица. Возможные применения включают следующее.

1. Нотариальное заверение документов – «Factom» является ранним примером решений Блокчейн, предоставляющих совместную неизменяемую платформу для ведения записей для бизнеса.

2. Аккредитация клиентов между субъектами – клиенты одного финансового учреждения могут делиться своими учетными данными с другими учреждениями («KYC Passporting»).

3. Управление цепочкой поставок – Блокчейн можно использовать для отслеживания происхождения товаров или сертификации интеллектуальной собственности.

4. Суверенная идентичность – Блокчейн может использоваться для управления цифровыми идентификаторами. Данной проблематикой занимаются, в том числе, организация Civic.io и проект «World Identity Network», инициированный в 2017 г.

5. Услуги условного депонирования – деньги могут храниться на платформе и отправляться получателю только после предоставления услуги.

6. Параметрическая страховка – оплата может быть согласована заранее в случае катастрофических событий;

7. Распределение роялти – платежи могут быть инициированы, когда клиенты приобретают защищенную авторским правом услугу или продукт.

8. Контракты Интернета вещей (IoT) – машины могут потреблять услуги между собой на открытом рынке в режиме реального времени.

Следует отметить успешную практику применения технологий Блокчейн [53]: в области электронного правительства многие страны предложили использовать технологии Блокчейн, например: для паспортов в Дубае, электронной идентичности в Эстонии, штате Иллинойс (США) для оцифровки свидетельств о рождении, в Индии для регистрации земли.

В исследовании P. Michelman подчеркиваются преимущества использования технологий Блокчейн для снижения затрат: 1) связанных с аудитом и проверкой транзакций; 2) между сторонами по причине отсутствия дорогостоящих промежуточных продуктов [54].

Поскольку Блокчейн спроектирован с неизменяемостью в качестве одной из основных характеристик, этот факт рассматривается как гарантия подлинности и доверия, что повышает безопасность и снижает вероятность мошеннических транзакций [55, 56]. Блокчейн обеспечивает происхождение данных, а также отказоустойчивую модель безопасности [50]. Приложения Блокчейна создают повышенный уровень безопасности по сравнению с традиционными архитектурами, поскольку они игнорируют ошибочные, вредоносные или подозрительные транзакции и узлы.

Практическое применение Блокчейн связано со значительной экономией затрат, улучшением производительности, уменьшением человеческих ошибок и устранением необходимости бумажных процедур в контексте управления цепочками поставок и финансовыми транзакциями [57, 58].

Вместе с тем в настоящее время существует немного реальных применений Блокчейн, поэтому точные расчеты являются ориентировочными показателями и, следовательно, субъективными. Представляется, что благодаря технологическим преимуществам, бизнес транзакции на основе Блокчейн будет иметь низкую стоимость, единовременную транзакцию и плату за хранение.

Согласно результатам Глобального опроса «Deloitte» 2020 г., 39% руководителей и специалистов-практиков в 14 странах заявили, что уже включили Блокчейн в производственные процессы в своих компаниях – на 16% больше, чем в прошлом году. Этот показатель увеличивается до 41%, если рассматривать компании с доходом более 100 млн долл. в год. При этом, если в США 31% респондентов заявил о наличии блокчейна в производстве, в Китае – 59% [59].

Британская исследовательская компания «Juniper» [4] в своем отчете (по состоянию на 2017 г.) отметила, что 57% крупных корпораций (компании с более чем 20 000 сотрудников) либо активно рассматривают, либо находятся в процессе развертывания Блокчейн [60]. Ожидается, что к 2022 г. экономия за счет сокращения посредников (и сетей с медленными платежами) с переходом на Блокчейн может составить 15–20 млрд долл. США [61, 62].

В исследовании Iansiti and Lakhani [63] утверждается, что Блокчейн – это не разрушительная технология, он может породить новые экономические и социальные системы, но потребует десятилетий, чтобы повлиять на экономическую и социальную инфраструктуру [49].

Исследования D. Drescher и K. Rabah [64, 65] указывают на ряд этих *преимуществ*, которые были названы как прямое следствие реализации решения Блокчейн [49].

1. Дезинтермедиация – это относится к сокращению потребности в посредниках или в третьих сторонах в рамках цепочки блоков.

2. Безотказность – это преимущество относится к целостности цепочки блоков, когда стороны не могут отрицать или оспаривать свои дополнения к цепочке блоков из-за целостности истории транзакций.

3. Автоматизация – рабочий механизм Блокчейн может заменить задачи ручного труда, если в конкретном случае используются автоматические взаимодействия между сторонами.

4. Оптимизированный процесс. В рамках Блокчейн бизнес-процессы станут более стандартизированными, прозрачными и оптимизированными, поскольку они были переработаны для перехода от традиционных технологий.

5. Скорость обработки – более широкое использование автоматизации в процессах Блокчейн по сравнению с централизованными архитектурами, вероятно, обеспечит значительные преимущества в скорости выполнения для конкретных случаев использования.

6. Снижение затрат. Чистым эффектом дезинтермедиации и автоматизации является снижение затрат для тех приложений, которые могут использовать преимущества технологии Блокчейн.

7. Доверие – Блокчейн эффективно заменяет доверие людей проверкой, технологиями и

связанными с ними протоколами. Это, вероятно, будет существенным изменением бизнеса по сравнению с существующей рабочей практикой. Доверие к целостности безопасности и обработке платежей может перерасти в товар, поскольку Блокчейн становится повсеместным, а затраты начинают падать.

8. Повышение осведомленности о технологиях – возможно, это побочное преимущество от реализации блокчейна, но благодаря повышению осведомленности и использованию этой технологии разрабатываются новые приложения и новое понимание.

Такие исследователи, как Sana Moin, Ahmad Karim, Zanab Safdar, Kalsoom Safdar, Ejaz Ahmed, Muhammad Imran, к *преимуществам* Блокчейн добавили в том числе [66]:

а) безопасность и масштабируемость. Технология Блокчейн не предполагает единой точки отказа, и кибератаки на такую систему сложны, являются затратными и малоэффективными для организации. Системы биткойнов и смарт-контрактов могут обеспечить надежные одноранговые соглашения и платежные услуги без участия сторонних систем [67];

б) децентрализованность. Данная характеристика Блокчейн делает эту технологию оптимальным решением проблем безопасности, конфиденциальности и надежности в среде IoT;

в) целостность данных;

г) устойчивость экосистемы. Отсутствие единой точки отказа позволяет сохранять работоспособность системы в случае сбоя в работе какой-либо ее части.

Rakesh Shrestha, Rojeena Bajracharya, Anish P. Shrestha, Seung Yeob Nam выделили такие *преимущества* Блокчейн [3], как децентрализацию, анонимность, хронологический порядок данных, распределенную безопасность, прозрачность, а также неизменность и пригодность для доверенных сред [28].

Особенности характеристик Блокчейн, а именно неизменный характер сохраняемых цифровых данных, защита от несанкционированного доступа любых контрактов, решений, транзакций и информации, привели к пониманию Министерством обороны США перспективности данных технологий в области кибербезопасности [13].

Вместе с тем ученые выделяют и ряд актуальных *проблем широкого внедрения технологий Блокчейн в экономике государств*, объединяя их по критериям технических, нетехнических и нормативных ограничений [8].

Ряд экономистов (Bohme R., Christin N., Edelman B., Coyne J.G., McMickle P.L. Drescher D.) выявили следующие ограничения в технологии Блокчейн [68, 69, 70].

1. Отсутствие конфиденциальности – каждый узел в сети поддерживает полную историю данных транзакций сети. Это может быть атрибутом для конкретных приложений и преимуществом в контексте безопасности, но ограничением для случаев использования, где конфиденциальность является необходимостью. Финансовые учреждения хранят и обмениваются конфиденциальной информацией о своих клиентах и действуют в строгих регуляторных рамках. Согласно Общему положению о защите данных ЕС (GDPR), организации должны получать согласие своих клиентов на использование их частной информации. Вместе с тем при использовании общедоступного Блокчейн трудно контролировать конфиденциальность.

2. Высокие затраты. Базовая обработка Блокчейна, где вся история транзакций реплицируется на все узлы, требует больших вычислительных ресурсов. Этот атрибут имеет преимущества безопасности, но может быть ограничением для больших сетей.

3. Модель безопасности – Блокчейн используют шифрование с открытым ключом для транзакционной аутентификации и выполнения. Этот процесс требует использования открытого и закрытого ключа. Если сторона теряет или невольно публикует свой закрытый ключ, система не имеет механизма для обеспечения дополнительной безопасности.

4. Ограничение гибкости – неизменяемое добавление только характеристик Блокчейн, гарантирующих целостность транзакций, но может выступать в качестве барьера для случаев использования, которые требуют изменений в транзакциях.

5. Задержка. Принцип работы всех узлов в сети Блокчейн, в которой хранятся полные записи транзакций всех информационных блоков, нарушает учетные данные безопасности сети, однако добавление новых блоков и последующих записей транзакций в настоящее время требует больших затрат. Так, Baidyanath Biswas, Rohit Gupta, Yli-Huumo [70, 71] отмечают, что Биткойн-блокчейн допускают медленную пропускную способность – всего 7 транзакций в секунду, а Ethereum Блокчейн – 25 транзакций в секунду, тогда как Visa и PayPal могут обрабатывать в среднем 500 и 2000 транзакций в секунду соответственно [29, 72]. Более того, сеть Visa может масштабироваться до более чем 50 000 транзакций в секунду. Таким образом, данные показатели сетей Блокчейн не соответствуют современным стандартам, необходимым в таких отраслях, как финансы и розничная торговля [73].

Вместе с тем создано новое поколение систем Блокчейн, в которых одним из основных

драйверов проектирования является масштабируемость: Ripple (может обрабатывать до 1500 транзакций в секунду), протокол Stellar Consensus (может достигать около 1000 транзакций в секунду), Hashgraph (может масштабировать свыше 250 000 транзакций в секунду).

6. Управление. Распределенная природа архитектуры Блокчейн предлагает определенные преимущества для конкретных случаев использования, но может быть существенным ограничением для общего контроля и управления со стороны организаций, основанных на надзоре.

7. Системная интеграция.

Нетехнические проблемы [8], в основном, связаны а) с созданием легитимности инноваций [75]; б) пониманием факторов, определяющих принятие пользователями новой технологии; в) измерением ценности, получаемой от инвестиций в Блокчейн, и г) оценкой потенциального воздействия на общество [75].

Baidyanath Biswas, Rohit Gupta выделяют такие *ограничения* реализации технологий Блокчейн в различных отраслях экономики, как проблемы масштабируемости, риски на уровне транзакций, рыночные риски и регуляторные риски, использование на «черном рынке», проблемы конфиденциальности данных, высокие затраты на устойчивость и плохое экономическое поведение [71].

Нормативные проблемы возникают: 1) из-за распределенной природы приложений Блокчейн, которые могут охватывать несколько юрисдикций, при этом обязанности по обслуживанию системы распределяются между всеми участниками сети; 2) отсутствия признания со стороны юридических и регулирующих органов [76].

Одной из проблем внедрения блокчейнов также является *отсутствие общепризнанной стандартизации* [77, 78]. Вместе с тем международные организации по стандартизации начали формировать некоторые инициативы блокчейна, например W3C и IEEE, создали рабочие группы сообщества. ISO создала рабочую группу со своими технологиями Блокчейн TC 307 и электронной распределенной книги [29].

Эволюция технологий Блокчейн. В целом, анализируя перспективы внедрения технологий Блокчейн, следует принять во внимание его эволюцию за последние 6 лет. Исследователи выделяют четыре этапа эволюции данной технологии [79].

Блокчейн 1.0 ориентирован на транзакции, в основном на развертывание криптовалют в приложениях, связанных с наличными деньгами, денежными переводами, системами цифровых платежей [80]. Возможно, наиболее известным примером является биткойн, децентрализованная цифровая валюта, в которой методы шифрования используются для обеспечения одноранговых транзакций в системе, работающей без центрального банка или единого администратора. Блокчейн 1.0 напрямую связан с уменьшением стоимости транзакции не только в узком финансовом смысле, но и с более широкой идеей устранения необходимости в центральном органе для обеспечения безопасных транзакций. Такой децентрализованный консенсус снижает затраты, например, за счет устранения посредников.

Блокчейн 2.0 дополнительно включает в себя улучшенную конфиденциальность, смарт-контракты, появление токенов и возможностей, не связанных с нативными активами [81]. Примерами могут служить Ethereum, партнерский блокчейн IBM-Maersk, поддерживающий глобальные поставки и консорциум блокчейнов торгового финансирования we.trade [82, 83]. Блокчейн 2.0 позволяет разрабатывать и использовать смарт-контракты, Блокчейн больше не ограничивается только финансовыми отношениями. Прозрачная и автономная природа смарт-контрактов снижает риски манипуляций и ошибок.

Блокчейн 3.0 расширяет фокус Блокчейн в направлении децентрализованных приложений (DApp). Приложения DApp разработаны таким образом, чтобы быть гибкими, прозрачными, распределенными, отказоустойчивыми и иметь четкую структуру [84]. Возможность создания децентрализованного хранилища и вычислений обеспечивает большую масштабируемость приложений. Блокчейн 3.0 меняет более традиционный тип структуры транзакций, поддерживает сетевой подход. Это может повысить инновационность услуг или скорость выхода на рынок новых продуктов.

Добавленные функции последующих версий Блокчейн позволяют создавать новые рынки и увеличивают потенциальную ценность использования данной технологии.

Блокчейн 4.0 предлагает значительные возможности для создания ценности путем включения искусственного интеллекта (ИИ) в технологии Блокчейн. Успешным примером такого комбинированного использования технологии является CognitiveScale, стартап AI, поддерживаемый IBM, Intel, Microsoft и USAA, который использует технологию Блокчейн для безопасного хранения результатов приложений AI, созданных для соответствия нормативным требованиям на финансовых рынках [85]. Блокчейн 4.0 является результатом совместного использования Блокчейн и искусственного интеллекта. Это позволяет системам принимать решения и действовать на них без необходимости прямого вмешательства человека. Особенности этапов эволюции Блокчейн отражены в табл. 5.

Таблица 5

Особенности и драйвера эволюционных версий Блокчейна [79]

Эволюционные версии Блокчейн	Особенности	Драйвер стоимости
Блокчейн 1.0	Децентрализованный консенсус	Стоимость транзакций
Блокчейн 2.0	Смарт контракты	Дополнительные сервисы
Блокчейн 3.0	Децентрализованные приложения, хранение и вычисления	Организационные границы
Блокчейн 4.0	Децентрализованный искусственный интеллект	Автономное принятие решений

Блокчейн в Республике Беларусь. В 2017 г. Президентом подписан Декрет № 8 «О развитии цифровой экономики», который значительно расширил перечень разрешенных видов деятельности для резидентов ПВТ. Данным правовым документом легализованы криптовалюты, ICO и смарт-контракты. В ПВТ начали функционировать криптобиржи и криптообменники, а у граждан и юридических лиц создана возможность майнить, покупать, дарить, обменивать криптовалюту, более того, до 2023 г. деятельность по майнингу, приобретению и отчуждению токенов для физических лиц и резидентов ПВТ не облагается налогами [86].

В 2017 г. постановлением Правления Национального банка Республики Беларусь от 14.07.2017 № 280 была принята Инструкция об общих принципах функционирования информационной сети, построенной с использованием технологии Блокчейн. В рамках данного документа определены общие принципы функционирования информационной сети, построенной с использованием технологии Блокчейн, основные роли участников информационной сети блокчейн, их права и обязанности, а также введено понятие коллегиального органа, осуществляющего регулирование сети.

Особенностью белорусской технологической платформы является то, что она разработана с использованием сертифицированных на территории Республики Беларусь средств защиты информации. Администратором информационной сети Блокчейн определен ОАО «Центр банковских технологий» [87].

На базе информационной сети, созданной Национальным банком Республики Беларусь, в январе 2019 г. в стране выпущена первая банковская гарантия с применением технологии Блокчейн на базе программного обеспечения «Реестр банковских гарантий» и программного обеспечения «Система открытого взаимодействия». Принципалами в сделке являлись ОАО «Банк Москва – Минск» и «Банк ВТБ (Беларусь)», банками-гарантами выступили ЗАО «БТА Банк» и ОАО «Белинвестбанк».

Для выпуска банковской гарантии была использована инновационная технология, внедренная в банковскую систему страны на базе информационной сети, созданной Национальным банком Республики Беларусь.

В дальнейшем на базе технологии Блокчейн планируется организовать выпуск и обращение банковских гарантий в пользу таможенных органов [88].

В 2018 г. в Республике Беларусь создана ассоциация блокчейн-технологии «Технологии распределенных реестров», призванная консолидировать усилия, направленные на развитие сферы предпринимательства, технологии и науки. Целями организации заявлены:

1) цифровая трансформация бизнеса, экономики, общественных отношений в рамках использования технологии Блокчейн;

2) популяризация технологии Блокчейн среди предпринимателей в качестве направления для создания собственных коммерческих проектов и других инициатив;

3) содействие развитию субъектов цифрового бизнеса, использующих технологию Блокчейн;

4) проведение и поддержка научных исследований в области технологии Блокчейн и связанных с ней информационных технологий;

5) проведение научных конференций, форумов, встреч, сессий на тему внедрения и использования технологии Блокчейн в современном обществе;

6) создание оптимальной регуляторной среды, способствующей развитию и эффективному ведению бизнеса с использованием технологии Блокчейн [89].

Заключение. Внедрение технологии Блокчейн формирует возможности как на уровне государства, отраслей, так и коммерческих организаций использовать передовые инновации для повышения эффективности производственных и бизнес-процессов, снижение затрат и пр. Имеющийся IT потенциал нашей страны и развитая цифровая инфраструктура в условиях государственной поддержки создают прочный фундамент для эффективного решения данной задачи.

Список литературы

1. Roy Lai, David Lee, Kuo Chuen. Blockchain – From Public to Private. Handbook of Blockchain, Digital Finance and Inclusion. Vol. 2 (2018). Elsevier, pp. 146–177. https://doi: 10.1016/B978-0-12-812282-2.00007-3.

2. Darcy W. E. Allen, Chris Berg, Brendan Markey-Towler, Mikayla Novak, Jason Potts. Blockchain and the evolution of institutional technologies: Implications for innovation policy. Research Policy 49 (2020). 8 p. https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.103865.

3. Rakesh Shrestha, Rojeena Bajracharya, Anish P. Shrestha, Seung Yeob Nam. A new type of Blockchain for secure message exchange in VANET. Digital Communications and Networks, 2019. 10 p. https://doi.org/10.1016/j.dcan.2019.04.003.

4. Melanie Swan. Blockchain for Business: Next- Generation Enterprise Artificial Intelligence Systems. Advances in Computers. 2018 Elsevier. 42 p. https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2018.03.013.

5. Xiongfeng Pan, Xianyou Pan, Malin Song, Bowei Ai, Yang Ming. Blockchain technology and enterprise operational capabilities: An empirical test. International Journal of Information Management, (2019). 9 p. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.002.

6. Sophocles Theodorou, Nicolas Sklavos. Blockchain-Based Security and Privacy in Smart Cities. Smart Cities Cybersecurity and Privacy 2019. Elsevier Inc, 2019, pp. 21–37. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815032-0.00003-2.

7. Narayanan A and others, Bitcoin and Cryptocurrency Technologies: A Comprehensive Introduction. Princeton University Press, 2016, p. 27.

8. Theo Lynn, John G. Mooney, Pierangelo Rosati, Mark Cummins. Disrupting Finance. FinTech and Strategy in the 21st Century. Palgrave Studies in Digital Business & Enabling Technologies (2018). 175 p.

9. Atin Angrish, Benjamin Craver, Mahmud Hasan, Binil Starly. A Case Study for blockchain in Manufacturing: “FabRec”: A Prototype for Peer-to-Peer Network of Manufacturing Nodes. 46th SME North American Manufacturing Research Conference. Procedia Manufacturing. № 26 (2018), pp. 1180–1192.

10. Arizona House Bill 2417 (2017). https://www.azleg.gov/legtext/53leg/1r/bills/hb2417p.pdf.

11. James Duchenne. Blockchain and Smart Contracts: Complementing Climate Finance, Legislative Frameworks, and Renewable Energy Projects. Transforming Climate Finance and Green Investment with Blockchains. 2018. Elsevier, pp. 303–317. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814447-3.00022-7.

12. Riya Thakore, Rajkumar Vaghashiya, Chintan Patel, Nishant Doshi. Blockchain – based IoT: A Survey. 2nd International Workshop on Recent advances on Internet ofThings: Tnrhnology and Application Approaches (IoT-T&A 2019). August 19–21, 2019, Halifax, Canada. Procedia Computer Science 155 (2019), pp. 704–709. https://doi.org/10.1 016/j. procs.20s9.08.101.

13. Md. Mehedi Hassan Onik, Satyabrata Aich, Jinhong Yang, Chul-Soo Kim, Hee-Cheol Kim. Блок-чейн in healthcare: challenges and solutions. Big Data Analytics for Intelligent Healthcare Management (2019). Elsevier, pp. 197–226. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818146-1.00008-8.

14. Peng Zhang, Douglas C. Schmidt, Jules White, Abhishek Dubey. Consensus mechanisms and information security technologies. Advances in Computers, Volume 115 (2019), pp. 181–209. https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.05.001.

15. King S., Nadal S. PPCoin: peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake, Online. Available at: https://www.peercoin.net/whitepapers/peercoin-paper.pdf, 2012 (accessed 9 September 2020).

16. Larimer D. Delegated proof of stake, Bitshares.org, 2014. Online. Available at: http://107.170.30.182/security/delegated-proof-of-stake.php (accessed 10 May 2020).

17. Castro M., Liskov B. Practical Byzantine Fault tolerance miguel, in: Proc. Third Symposium on Operating Systems Design and Implementation, 2002, p. 114.

18. Intel Corporation. Proof of Elapsed Time, Sawtooth Lake, 2017. Online. Available at: https://sawtooth.hyperledger.org/docs/core (accessed 10 September 2020).

19. Dib O., Huyart C. and Toumi K. A novel data exploitation framework based on Blockchain, Pervasive and Mobile Computing (2019). 33 p. https://doi: https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2019.101104.

20. Szabo N. Smart contracts. Unpublished manuscript (1994). Online. Available at: https://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/smart.contracts.html (accessed 12 September 2020).

21. Clack C. D., Bakshi V. A., Braine L. Smart contract templates: foundations, design landscape and research directions. arXiv preprint arXiv:1608.00771 (2016).

22. Andres Guadamuz, All watched over by machines of loving grace: A critical look at smart contracts, Computer Law & Security Review: The International Journal of Technology Law and Practice, 2019. 16 p. https://doi.org/10.10167j.clsr.2019.105338.

23. Raskin M. Law and Legality of Smart Contracts. (2017), 1 Georgia Law Technology Review 305, p. 309.

24. De Filippi P. and Wright A. Blockchain and the Law: The Rule of Code (Harvard University Press 2018), p. 74.

25. Christidis K. and Devetsikiotis M. Blockchain s and Smart Contracts for the Internet of Things (2016), 4 IEEE Access 2292.

26. Dib O., Kei-Leo B., Antoine D., Eric T., and Ben-Hamida E. Consortium Blockchains: Overview, applications and challenges. International Academy, Reasearch and Industry Association, IARIA, 2018.

27. Mateuz Pustisek, Andrej Kos. Approaches to Front-End IoT Application Development for the Ethereum Blickchain. 2017. International Conference in Identification, Information and Knowledge in the Internet of Things. Procedia Computer Science 129 (2018), pp. 410–419. https://10.1016/j.procs.2018.03.017.

28. Zheng Z., Xie S., Dai H.-N. An overview on smart contracts: Challenges, advances and platforms, Future Generation Computer Systems (2019), 21 p. https://doi.org/10.1016/j.future.2019.12.019.

29. Sebastien Meunier. Blockchain 101: What is Blockchain and How Does This Revolutionary Technology Work? Transforming Climate Finance and Green Investment with Blockchains (2018). Elsevier Inc., pp. 23–34. doi: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814447-3.00003-3.

30. Bartoletti M., Carta S., Cimoli T., Saia R. Dissecting Ponzi schemes on Ethereum: identification, analysis, and impact, arXiv preprint arXiv:1703.03779 (2017).

31. Zhang P, White J, Schmidt DC, Lenz G. Applying software patterns to address interoperability in blockchain-based healthcare apps. June 5, 2017. arXiv preprint arXiv:1706.03700.

32. Quanqing Xu, Zhaozheng Het, Zengxiang Li, Mingzbhong Xiao, Rick Siow Mong Goh, Yongjun Li. An effective Blockchain-based, decentralized application for smart building system management. Time Data Analytics for Large Scale Sensor Data 2020. Elsevier Inc., pp. 157–181. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818014-3.00008-5.

33. Moreno M. V., Zamora M. A., Skarmeta A. F. User-centric smart buildings for energy sustainable smart cities. Trans. Emerg. Telecommun. Technol. 25 (1) (2014), pp. 41–55.

34. Cachin C. Architecture of the Hyperledger Blockchain Fabric, in: Workshop on Distributed Cryptocurrencies and Consensus Ledgers, 2016.

35. Brown R. G. The Corda platform: An introduction (2018). Online. Available at: https://www.corda.net/content/corda-platform-whitepaper.pdf (accessed 10 September 2020).

36. Mazieres D. The stellar consensus protocol: A federated model for internet-level consensus. 2016. Online. Available at: https://www.stellar.org/papers/-consensus-protocol.pdf (accessed 10 September 2020).

37. Lerner D. Rootstock whitepaper (2015). Online. Available at: https://docs.rsk.co/RSK_White_Paper-Overview.pdf (accessed 11 September 2020).

38. Mateuz Pustisek, Andrej Kos. Approaches to Front-End IoT Application Development for the Ethereum Blockchain. 2017 International Conference in Identification, Information and Knowledge in the Internet of Things. Procedia Computer Science 129 (2018), pp. 410–419. https://10.1016/j.procs.2018.03.017.

39. Dib O., Huyart C. and Toumi K. A novel data exploitation framework based on Blockchain, Pervasive and Mobile Computing (2019), 33 p. https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2019.101104.

40. Thakkar Parth and Viswanathan B. Performance benchmarking and optimizing Hyperledger fabric Blockchain platform. In IEEE 26th International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (2018).

41. Gorenflo Christian E. A. Scaling hyperledger fabric to 20,000 transactions per second. In arXiv preprint arXiv:1901.00910 (2019).

42. IBM Watson Internet of Things. Blockchain and IoT: Vending Machine with eSIM Demo [Internet]. 2017 [cited 2018 Jan 25]. Available at: https://www.youtube.com/watch?v=T9kYuBcOnjI (accessed 9 September 2020).

43. Brown R. G. The Corda non-technical whitepaper [online]. Available at: https://r3cev.com/blog/2016/8/24/the-corda-non-technical-whitepaper (accessed 15 September 2020).

44. Swanson T. Consensus-as-a-service: a brief report on the emergence of permissioned, distributed ledger systems [online]. Available at: http://www.ofnumbers.com/wp-content/uploads/2015/04/Permissioned-distributed-ledgers.pdf (accessed 10 September 2020).

45. Davidson S., De Filippi P., Potts J. Blockchains and the economic institutions of capitalism. J. Inst. Econ. 13 (4), 2018, pp. 639–658.

46. Catalini C., Gans J. S. Some Simple Economics of the Blockchain. Rotman School of Management Working Paper, no. 2874598; MIT Sloan Research Paper, no. 519116. 2016. Available at: https://ssrn.com/abstract = 2874598 (accessed 15 September 2020).

47. Luther W. J. Cryptocurrencies, network effects, and switching costs. Contemp. Econ. Policy 34 (3), 2016, pp. 553–571.

48. Langlois R. N., Robertson P. L. Firms, Markets and Economic Change: A Dynamic Theory of Business Institutions. Routledge, London. 1995.

49. Laurie Hughes, Yogesh K. Dwivedi, Santosh K. Misra, Nripendra P. Rana, Vishnupriya Raghavan, Viswanadh Akella. Blockchain research, practice and policy: Applications, benefits, limitations, emerging research themes and research agenda. International Journal of Information Management 49 (2019), pp. 27–129. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.02.005.

50. Lacity M. C. Addressing key challenges to making enterprise blockchain applications a reality. MIS Quarterly Executive, 17 (3), 2018, pp. 201–222.

51. Christoph G. Schmidt, Stephan M. Wagner. Blockchain and supply chain relations: A transaction cost theory perspective. Journal of Purchasing and Supply Management 25 (2019). 13 p. https://doi.org/10.1016/j.pursup.2019.100552.

52. Tapscott D., Tapscott A. Blockchain Revolution: How the Technology behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World. Penguin, New York, 2016.

53. Ana Reyna, Cristian Martin, Jaime Chen, Enrique Soler, Manuel Diaz. On Blockchain and its integration with IoT. Challenges and opportunities. Future Generation Computer Systems 88 (2018), pp. 27–190. https://doi.org/10.1016/j.future.2018.05.046.

54. Michelman P. Seeing beyond the blockchain hype. MIT Sloan Management Review, 58(4), 2017. 17 p.

55. Fengi L., Zhang H., Lou L., Chen Y. A blockchain-based collocation storage architecture for data security process platform of WSN. Paper Presented at the Proceedings of the 2018 IEEE 22nd International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (2018), pp. 39–44.

56. Guo Y., Liang C. Blockchain application and outlook in the banking industry. Financial Innovation, 2 (1), 2016. 24 p.

57. Dobrovnik M., Herold D., Furst E., Kummer S. Blockchain for and in logistics: What to adopt and where to start. Logistics, 2 (3), 2018. 18 p.

58. Holub M., Johnson J. Bitcoin research across disciplines. The Information Society, 34 (2), 2018, pp. 114–126.

59. Turner Wright. Deloitte: 39% of Companies Worldwide Now Have Blockchain in Production. Online. Available at: https://cointelegraph.com/news/deloitte-39-of-companies-worldwide-now-have-Blockchain-in-production (accessed 20 September 2020).

60. Browne R. Blockchain Technology Being Considered by More Than Half of Big Corporations, According to Study, CNBC, 2017.

61. Ramzi Abujamra, David Randall. Blockchain applications in healthcare and the opportunities and the advancements due to the new information technology framework. Advances in Computers, Volume 115. 2019, pp. 141–154. https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2018.12.002.

62. Yessi Bello Perez. Santander: Blockchain Tech Can Save Banks $20 Billion a Year. Available at: http://www.coindesk.com/santander-blockchain-tech-can-save-banks-20-billion-a-year/ (accessed 21 September 2020).

63. Iansiti M., Lakhani K. The truth about blockchain. Harvard Business Review, 95 (1), 2017, pp. 118–127.

64. Drescher D. Blockchain basics: A non-technical introduction in 25 steps (1st edn). Frankfurt am Main: Apress. March 16, 2017. 270 p.

65. Rabah K. Overview of Blockchain as the engine of the 4th industrial revolution. Mara Research Journal of Business & Management, 1 (1), 2017, pp. 125–135.

66. Sana Moin, Ahmad Karim, Zanab Safdar, Kalsoom Safdar, Ejaz Ahmed, Muhammad Imran. Securing IoTs in distributed Blockchain: Analysis, requirements and open issues. Future Generation Computer Systems 100, 2019, pp. 27–343. https://doi.org/10.1016/j.future.2019.05.023.

67. Kumara N. M., Mallickb P. K. Blockchain technology for security issues and challenges in IoT, Procedia Comput. Sci. 132, 2018, pp. 1815–1823.

68. Bohme R., Christin N., Edelman B., Moore T. Bitcoin: Economics, technology, and governance. The Journal of Economic Perspectives, 29 (2), 2015, pp. 213–238.

69. Coyne J. G., McMickle P. L. Can blockchains serve an accounting purpose? Journal of Emerging Technologies in Accounting, 14 (2), 2017, pp. 101–111.

70. Yli-Huumo J., Ko D., Choi S., Park S., Smolander K.. Where is current research on blockchain technology? – A systematic review. *PLoS ONE*, 11 (10), 2016. https://doi.org/10.1371/journal.pone. 0163477.

71. Baidyanath Biswas, Rohit Gupta. Analysis of barriers to implement blockchain in industry and service sectors. Computers & Industrial Engineering. No. 136 (2019), pp. 27–241. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.005.

72. Bitcoin and Ethereum vs Visa and PayPal – Transactions per second, Retrieved from: https://altcointoday.com/bitcoin-ethereum-vs-visa-paypal-transactions-per-second/ (accessed 10 May 2020).

73. Paco Garcia. Biometrics on the Blockchain. Biometric Technology Today. May 2018, pp. 5–7.

74. Lynn T., Rosati P., Fox G. Legitimizing #Blockchain: An empirical analysis of firm level social media messaging on Twitter. 26th European Conference on Information Systems (ECIS 2018).

75. Risius M., Spohrer K. A blockchain research framework. Business & Information Systems Engineering, 59 (6), 2017, pp. 385–409.

76. Yeoh P. Regulatory issues in blockchain technology. Journal of Financial Regulation and Compliance, 25 (2), 2017, pp. 196–208.

77. Christoph G. Schmidt, Stephan M. Wagner. Blockchain and supply chain relations: A transaction cost theory perspective. Journal of Purchasing and Supply Management 25, 2019. 13 p. https://doi.org/10.1016/j.pursup.2019.100552.

78. Babich V., Hilary G. Distributed ledgers and operations: what operations management researchers should know about blockchain technology. Manuf. Serv. Oper. Manag. 2019. https://doi.org/10.1287/msom.2018.0752. forthcoming.

79. Jannis Angelis, Elias Ribeiro da Silva. Blockchain adoption: A value driver perspective. Business Horizons 62, 2019, pp. 307–314. https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.12.001 0007-6813.

80. Swan M. Blockchain: Blueprint for a new economy (1st ed.). Sebastopol, CA: O'Reilly Media. 2015.

81. Schuster B. What is the third generation of blockchain technology? HackerNoon. January 26. 2018. Available at: https://hackernoon.com/what-is-the-third-generation-of-blockchain-technology-36a46af5ccbc (accessed 1 June 2020).

82. IBM. Maersk and IBM to form joint venture applying blockchain to improve global trade and digitize supply chains. January 16, 2018. Available at: https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/53602.wss (accessed 1 June 2020).

83. Wass S. Trade finance blockchain platform soon available to clients of nine European banks. 2018. Available at: https://www.gtreview.com/news/fintech/trade-finance-blockchain-platform-soon-available-to-clients-of-nine-european-banks/ (accessed 1 June 2020).

84. Raval S. Decentralized applications (1st ed.). Sebastopol, CA: O'Reilly Media. 2016.

85. Harris P. What blockchain technology means for artificial intelligence. NASDAQ. December 7, 2017. Available at: https://www.nasdaq.com/article/analysis-what-blockchain-technology-means-for-artificial-intelligence-cm888540 (accessed 18 June 2020).

86. О развитии цифровой экономики: Декрет Президента Республики Беларусь от 21 декабря 2017 г. № 8: зарегистрирован в Национальном реестре правовых актов Республики Беларусь 26 декабря 2017 г. № 1/17415. URL: http://president.gov.by/uploads/archives/Decret-8.zip (дата обращения: 10 сентября 2020 г.).

87. О функционировании банковской информационной сети Блокчейн в Республике Беларусь. URL: https://www.bcse.by/ru/home/index/1484 (дата обращения: 21.09.2020).

88. Выпущена первая банковская гарантия с применением технологии Блокчейн. URL: http://www.nbrb.by/news/8461 (дата обращения: 21.09.2020).

89. Цели ассоциации «Технологии распределенных реестров». URL: http://blockchainbelarus.by/ (дата обращения: 21.09.2020).

References

1. Roy Lai, David Lee, Kuo Chuen. Blockchain – From Public to Private. Handbook of Blockchain, Digital Finance and Inclusion. Vol. 2 (2018). Elsevier, pp. 146–177. https://doi: 10.1016/B978-0-12-812282-2.00007-3.

2. Darcy W. E. Allen, Chris Berg, Brendan Markey-Towler, Mikayla Novak, Jason Potts. Blockchain and the evolution of institutional technologies: Implications for innovation policy. Research Policy 49 (2020). 8 p. https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.103865.

3. Rakesh Shrestha, Rojeena Bajracharya, Anish P. Shrestha, Seung Yeob Nam. A new type of Blockchain for secure message exchange in VANET. Digital Communications and Networks, 2019. 10 p. https://doi.org/10.1016/j.dcan.2019.04.003.

4. Melanie Swan. Blockchain for Business: Next- Generation Enterprise Artificial Intelligence Systems. Advances in Computers. 2018 Elsevier. 42 p. https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2018.03.013.

5. Xiongfeng Pan, Xianyou Pan, Malin Song, Bowei Ai, Yang Ming. Blockchain technology and enterprise operational capabilities: An empirical test. International Journal of Information Management, (2019). 9 p. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.002.

6. Sophocles Theodorou, Nicolas Sklavos. Blockchain-Based Security and Privacy in Smart Cities. Smart Cities Cybersecurity and Privacy 2019. Elsevier Inc, 2019, pp. 21–37. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815032-0.00003-2.

7. Narayanan A and others, Bitcoin and Cryptocurrency Technologies: A Comprehensive Introduction. Princeton University Press, 2016, p. 27.

8. Theo Lynn, John G. Mooney, Pierangelo Rosati, Mark Cummins. Disrupting Finance. FinTech and Strategy in the 21st Century. Palgrave Studies in Digital Business & Enabling Technologies (2018). 175 p.

9. Atin Angrish, Benjamin Craver, Mahmud Hasan, Binil Starly. A Case Study for blockchain in Manufacturing: "FabRec": A Prototype for Peer-to-Peer Network of Manufacturing Nodes. 46th SME North American Manufacturing Research Conference. Procedia Manufacturing. № 26 (2018), pp. 1180–1192.

10. Arizona House Bill 2417 (2017). https://www.azleg.gov/legtext/53leg/1r/bills/hb2417p.pdf.

11. James Duchenne. Blockchain and Smart Contracts: Complementing Climate Finance, Legislative Frameworks, and Renewable Energy Projects. Transforming Climate Finance and Green Investment with Blockchains. 2018. Elsevier, pp. 303–317. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814447-3.00022-7.

12. Riya Thakore, Rajkumar Vaghashiya, Chintan Patel, Nishant Doshi. Blockchain – based IoT: A Survey. 2nd International Workshop on Recent advances on Internet ofThings: Tnrhnology and Application Approaches (IoT-T&A 2019). August 19–21, 2019, Halifax, Canada. Procedia Computer Science 155 (2019), pp. 704–709. https://doi.org/10.1 016/j. procs.20s9.08.101.

13. Md. Mehedi Hassan Onik, Satyabrata Aich, Jinhong Yang, Chul-Soo Kim, Hee-Cheol Kim. Блок-чейн in healthcare: challenges and solutions. Big Data Analytics for Intelligent Healthcare Management (2019). Elsevier, pp. 197–226. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818146-1.00008-8.

14. Peng Zhang, Douglas C. Schmidt, Jules White, Abhishek Dubey. Consensus mechanisms and information security technologies. Advances in Computers, Volume 115 (2019), pp. 181–209. https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.05.001.

15. King S., Nadal S. PPCoin: peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake, Online. Available at: https://www.peercoin.net/whitepapers/peercoin-paper.pdf, 2012 (accessed 9 September 2020).

16. Larimer D. Delegated proof of stake, Bitshares.org, 2014. Online. Available at: http://107.170.30.182/security/delegated-proof-of-stake.php (accessed 10 May 2020).

17. Castro M., Liskov B. Practical Byzantine Fault tolerance miguel, in: Proc. Third Symposium on Operating Systems Design and Implementation, 2002, p. 114.

18. Intel Corporation. Proof of Elapsed Time, Sawtooth Lake, 2017. Online. Available at: https://sawtooth.hyperledger.org/docs/core (accessed 10 September 2020).

19. Dib O., Huyart C. and Toumi K. A novel data exploitation framework based on Blockchain, Pervasive and Mobile Computing (2019). 33 p. https://doi: https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2019.101104.

20. Szabo N. Smart contracts. Unpublished manuscript (1994). Online. Available at: https://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/smart.contracts.html (accessed 12 September 2020).

21. Clack C. D., Bakshi V. A., Braine L. Smart contract templates: foundations, design landscape and research directions. arXiv preprint arXiv:1608.00771 (2016).

22. Andres Guadamuz, All watched over by machines of loving grace: A critical look at smart contracts, Computer Law & Security Review: The International Journal of Technology Law and Practice, 2019. 16 p. https://doi.org/10.10167j.clsr.2019.105338.

23. Raskin M. Law and Legality of Smart Contracts. (2017), 1 Georgia Law Technology Review 305, p. 309.

24. De Filippi P. and Wright A. Blockchain and the Law: The Rule of Code (Harvard University Press 2018), p. 74.

25. Christidis K. and Devetsikiotis M. Blockchain s and Smart Contracts for the Internet of Things (2016), 4 IEEE Access 2292.

26. Dib O., Kei-Leo B., Antoine D., Eric T., and Ben-Hamida E. Consortium Blockchains: Overview, applications and challenges. International Academy, Reasearch and Industry Association, IARIA, 2018.

27. Mateuz Pustisek, Andrej Kos. Approaches to Front-End IoT Application Development for the Ethereum Blickchain. 2017. International Conference in Identification, Information and Knowledge in the Internet of Things. Procedia Computer Science 129 (2018), pp. 410–419. https://10.1016/j.procs.2018.03.017.

28. Zheng Z., Xie S., Dai H.-N. An overview on smart contracts: Challenges, advances and platforms, Future Generation Computer Systems (2019), 21 p. https://doi.org/10.1016/j.future.2019.12.019.

29. Sebastien Meunier. Blockchain 101: What is Blockchain and How Does This Revolutionary Technology Work? Transforming Climate Finance and Green Investment with Blockchains (2018). Elsevier Inc., pp. 23–34. doi: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814447-3.00003-3.

30. Bartoletti M., Carta S., Cimoli T., Saia R. Dissecting Ponzi schemes on Ethereum: identification, analysis, and impact, arXiv preprint arXiv:1703.03779 (2017).

31. Zhang P, White J, Schmidt DC, Lenz G. Applying software patterns to address interoperability in blockchain-based healthcare apps. June 5, 2017. arXiv preprint arXiv:1706.03700.

32. Quanqing Xu, Zhaozheng Het, Zengxiang Li, Mingzbhong Xiao, Rick Siow Mong Goh, Yongjun Li. An effective Blockchain-based, decentralized application for smart building system management. Time Data Analytics for Large Scale Sensor Data 2020. Elsevier Inc., pp. 157–181. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818014-3.00008-5.

33. Moreno M. V., Zamora M. A., Skarmeta A. F. User-centric smart buildings for energy sustainable smart cities. Trans. Emerg. Telecommun. Technol. 25 (1) (2014), pp. 41–55.

34. Cachin C. Architecture of the Hyperledger Blockchain Fabric, in: Workshop on Distributed Cryptocurrencies and Consensus Ledgers, 2016.

35. Brown R. G. The Corda platform: An introduction (2018). Online. Available at: https://www.corda.net/content/corda-platform-whitepaper.pdf (accessed 10 September 2020).

36. Mazieres D. The stellar consensus protocol: A federated model for internet-level consensus. 2016. Online. Available at: https://www.stellar.org/papers/-consensus-protocol.pdf (accessed 10 September 2020).

37. Lerner D. Rootstock whitepaper (2015). Online. Available at: https://docs.rsk.co/RSK_White_Paper-Overview.pdf (accessed 11 September 2020).

38. Mateuz Pustisek, Andrej Kos. Approaches to Front-End IoT Application Development for the Ethereum Blockchain. 2017 International Conference in Identification, Information and Knowledge in the Internet of Things. Procedia Computer Science 129 (2018), pp. 410–419. https://10.1016/j.procs.2018.03.017.

39. Dib O., Huyart C. and Toumi K. A novel data exploitation framework based on Blockchain, Pervasive and Mobile Computing (2019), 33 p. https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2019.101104.

40. Thakkar Parth and Viswanathan B. Performance benchmarking and optimizing Hyperledger fabric Blockchain platform. In IEEE 26th International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (2018).

41. Gorenflo Christian E. A. Scaling hyperledger fabric to 20,000 transactions per second. In arXiv preprint arXiv:1901.00910 (2019).

42. IBM Watson Internet of Things. Blockchain and IoT: Vending Machine with eSIM Demo [Internet]. 2017 [cited 2018 Jan 25]. Available at: https://www.youtube.com/watch?v=T9kYuBcOnjI (accessed 9 September 2020).

43. Brown R. G. The Corda non-technical whitepaper [online]. Available at: https://r3cev.com/blog/2016/8/24/the-corda-non-technical-whitepaper (accessed 15 September 2020).

44. Swanson T. Consensus-as-a-service: a brief report on the emergence of permissioned, distributed ledger systems [online]. Available at: http://www.ofnumbers.com/wp-content/uploads/2015/04/Permissioned-distributed-ledgers.pdf (accessed 10 September 2020).

45. Davidson S., De Filippi P., Potts J. Blockchains and the economic institutions of capitalism. J. Inst. Econ. 13 (4), 2018, pp. 639–658.

46. Catalini C., Gans J. S. Some Simple Economics of the Blockchain. Rotman School of Management Working Paper, no. 2874598; MIT Sloan Research Paper, no. 519116. 2016. Available at: https://ssrn.com/abstract = 2874598 (accessed 15 September 2020).

47. Luther W. J. Cryptocurrencies, network effects, and switching costs. Contemp. Econ. Policy 34 (3), 2016, pp. 553–571.

48. Langlois R. N., Robertson P. L. Firms, Markets and Economic Change: A Dynamic Theory of Business Institutions. Routledge, London. 1995.

49. Laurie Hughes, Yogesh K. Dwivedi, Santosh K. Misra, Nripendra P. Rana, Vishnupriya Raghavan, Viswanadh Akella. Blockchain research, practice and policy: Applications, benefits, limitations, emerging research themes and research agenda. International Journal of Information Management 49 (2019), pp. 30–129. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.02.005.

50. Lacity M. C. Addressing key challenges to making enterprise blockchain applications a reality. MIS Quarterly Executive, 17 (3), 2018, pp. 201–222.

51. Christoph G. Schmidt, Stephan M. Wagner. Blockchain and supply chain relations: A transaction cost theory perspective. Journal of Purchasing and Supply Management 25 (2019). 13 p. https://doi.org/10.1016/j.pursup.2019.100552.

52. Tapscott D., Tapscott A. Blockchain Revolution: How the Technology behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World. Penguin, New York, 2016.

53. Ana Reyna, Cristian Martin, Jaime Chen, Enrique Soler, Manuel Diaz. On Blockchain and its integration with IoT. Challenges and opportunities. Future Generation Computer Systems 88 (2018), pp. 30–190. https://doi.org/10.1016/j.future.2018.05.046.

54. Michelman P. Seeing beyond the blockchain hype. MIT Sloan Management Review, 58(4), 2017. 17 p.

55. Fengi L., Zhang H., Lou L., Chen Y. A blockchain-based collocation storage architecture for data security process platform of WSN. Paper Presented at the Proceedings of the 2018 IEEE 22nd International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (2018), pp. 39–44.

56. Guo Y., Liang C. Blockchain application and outlook in the banking industry. Financial Innovation, 2 (1), 2016. 24 p.

57. Dobrovnik M., Herold D., Furst E., Kummer S. Blockchain for and in logistics: What to adopt and where to start. Logistics, 2 (3), 2018. 18 p.

58. Holub M., Johnson J. Bitcoin research across disciplines. The Information Society, 34 (2), 2018, pp. 114–126.

59. Turner Wright. Deloitte: 39% of Companies Worldwide Now Have Blockchain in Production. Online. Available at: https://cointelegraph.com/news/deloitte-39-of-companies-worldwide-now-have-Blockchain-in-production (accessed 20 September 2020).

60. Browne R. Blockchain Technology Being Considered by More Than Half of Big Corporations, According to Study, CNBC, 2017.

61. Ramzi Abujamra, David Randall. Blockchain applications in healthcare and the opportunities and the advancements due to the new information technology framework. Advances in Computers, Volume 115. 2019, pp. 141–154. https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2018.12.002.

62. Yessi Bello Perez. Santander: Blockchain Tech Can Save Banks $20 Billion a Year. Available at: http://www.coindesk.com/santander-blockchain-tech-can-save-banks-20-billion-a-year/ (accessed 21 September 2020).

63. Iansiti M., Lakhani K. The truth about blockchain. Harvard Business Review, 95 (1), 2017, pp. 118–127.

64. Drescher D. Blockchain basics: A non-technical introduction in 25 steps (1st edn). Frankfurt am Main: Apress. March 16, 2017. 270 p.

65. Rabah K. Overview of Blockchain as the engine of the 4th industrial revolution. Mara Research Journal of Business & Management, 1 (1), 2017, pp. 125–135.

66. Sana Moin, Ahmad Karim, Zanab Safdar, Kalsoom Safdar, Ejaz Ahmed, Muhammad Imran. Securing IoTs in distributed Blockchain: Analysis, requirements and open issues. Future Generation Computer Systems 100, 2019, pp. 31–343. https://doi.org/10.1016/j.future.2019.05.023.

67. Kumara N. M., Mallickb P. K. Blockchain technology for security issues and challenges in IoT, Procedia Comput. Sci. 132, 2018, pp. 1815–1823.

68. Bohme R., Christin N., Edelman B., Moore T. Bitcoin: Economics, technology, and governance. The Journal of Economic Perspectives, 29 (2), 2015, pp. 213–238.

69. Coyne J. G., McMickle P. L. Can blockchains serve an accounting purpose? Journal of Emerging Technologies in Accounting, 14 (2), 2017, pp. 101–111.

70. Yli-Huumo J., Ko D., Choi S., Park S., Smolander K.. Where is current research on blockchain technology? – A systematic review. *PLoS ONE*, 11 (10), 2016. https://doi.org/10.1371/journal.pone. 0163477.

71. Baidyanath Biswas, Rohit Gupta. Analysis of barriers to implement blockchain in industry and service sectors. Computers & Industrial Engineering. No. 136 (2019), pp. 31–241. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.005.

72. Bitcoin and Ethereum vs Visa and PayPal – Transactions per second, Retrieved from: https://altcointoday.com/bitcoin-ethereum-vs-visa-paypal-transactions-per-second/ (accessed 10 May 2020).

73. Paco Garcia. Biometrics on the Blockchain. Biometric Technology Today. May 2018, pp. 5–7.

74. Lynn T., Rosati P., Fox G. Legitimizing #Blockchain: An empirical analysis of firm level social media messaging on Twitter. 26th European Conference on Information Systems (ECIS 2018).

75. Risius M., Spohrer K. A blockchain research framework. Business & Information Systems Engineering, 59 (6), 2017, pp. 385–409.

76. Yeoh P. Regulatory issues in blockchain technology. Journal of Financial Regulation and Compliance, 25 (2), 2017, pp. 196–208.

77. Christoph G. Schmidt, Stephan M. Wagner. Blockchain and supply chain relations: A transaction cost theory perspective. Journal of Purchasing and Supply Management 25, 2019. 13 p. https://doi.org/10.1016/j.pursup.2019.100552.

78. Babich V., Hilary G. Distributed ledgers and operations: what operations management researchers should know about blockchain technology. Manuf. Serv. Oper. Manag. 2019. https://doi.org/10.1287/msom.2018.0752. forthcoming.

79. Jannis Angelis, Elias Ribeiro da Silva. Blockchain adoption: A value driver perspective. Business Horizons 62, 2019, pp. 307–314. https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.12.001 0007-6813.

80. Swan M. Blockchain: Blueprint for a new economy (1st ed.). Sebastopol, CA: O'Reilly Media. 2015.

81. Schuster B. What is the third generation of blockchain technology? HackerNoon. January 26. 2018. Available at: https://hackernoon.com/what-is-the-third-generation-of-blockchain-technology-36a46af5ccbc (accessed 1 June 2020).

82. IBM. Maersk and IBM to form joint venture applying blockchain to improve global trade and digitize supply chains. January 16, 2018. Available at: https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/53602.wss (accessed 1 June 2020).

83. Wass S. Trade finance blockchain platform soon available to clients of nine European banks. 2018. Available at: https://www.gtreview.com/news/fintech/trade-finance-blockchain-platform-soon-available-to-clients-of-nine-european-banks/ (accessed 1 June 2020).

84. Raval S. Decentralized applications (1st ed.). Sebastopol, CA: O'Reilly Media. 2016.

85. Harris P. What blockchain technology means for artificial intelligence. NASDAQ. December 7, 2017. Available at: https://www.nasdaq.com/article/analysis-what-blockchain-technology-means-for-artificial-intelligence-cm888540 (accessed 18 June 2020).

86. *O razvitii tsifrovoy ekonomiki: Dekret Prezidenta Respubliki Belarus' ot 21 dekabrya 2017 g. № 8* [On the Development of the Digital Economy: Decree of the Prezident of the Republic of Belarus, December 21.2017 No 8]. Available at: http://president.gov.by/uploads/archives/Decret-8.zip (accessed 10.09.2020).

87. *O funktsionirovanii bankovskoy informatsionnoy seti Blokcheyn v Respublike Belarus'* [Functioning of the blockchain banking information network in the Republic of Belarus]. Available at: https://www.bcse.by/ru/home/index/1484 (accessed 21.09.2020).

88. *Vypushchena pervaya bankovskaya garantiya s primeneniem tekhnologii Blokcheyn* [The first bank guarantee using Blockchain technology released]. Available at: http://www.nbrb.by/news/8461 (accessed 21.09.2020).

89. *Tseli assotsiatsii "Tekhnologii raspredelennykh reyestrov"* [Objectives of the Distributed Ledger Technologies Association]. Available at: http://blockchainbelarus.by/ (accessed 21.09.2020).

Информация об авторе

Криштаносов Виталий Брониславович – кандидат экономических наук, докторант Белорусского государственного технологического университета (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Krishtanosov@mail.ru

Information about the author

Kryshtanosau Vitaly – PhD (Economics), post-doctoral student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Krishtanosov@mail.ru

Поступила 21.09.2020