



Munich Personal RePEc Archive

Applications and prospects of distributed ledger technology in the energy sector

Filkin, Mikhail and Bozhko, Maksim

Central Economics and Mathematics Institute of the RAS,
Unimatch AI LTD

18 October 2023

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/119244/>
MPRA Paper No. 119244, posted 29 Nov 2023 09:18 UTC

**ПРИЛОЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕХНОЛОГИИ
РАСПРЕДЕЛЕННОГО РЕЕСТРА В ЭНЕРГЕТИКЕ**

**APPLICATIONS AND PROSPECTS OF DISTRIBUTED LEDGER
TECHNOLOGY IN THE ENERGY SECTOR**

Filkin Mikhail Evgenyevich
Senior researcher
PhD in Economics
Central Economics and Mathematics Institute of the RAS

Bozhko Maksim Aleksandrovich
Chief Operations Officer
Unimatch AI LTD

Abstract. The article discusses the technology of operation of distributed ledger algorithms (blockchain) and smart contracts as applied to the energy industry. It is shown how the advantages of technology can help optimize the energy industry amid ongoing energy transition. Examples of global projects for implementing blockchain into existing or new energy systems are reviewed, and risks and obstacles associated with the implementation of blockchain platform solutions in energy systems are discussed.

Keywords. energy industry, blockchain, distributed ledger, energy transition, smart contract, electricity, decentralization

Введение

Технология распределенного реестра, также называемая технологией блокчейн – развивающаяся концепция хранения и управления данными, которая постепенно внедряется во многие сферы экономической активности. Изначально реализованная как средство для создания одноранговой сети обмена специальными электронными активами (названными биткоинами) и записи реестра транзакций, не требующая посреднических услуг со стороны финансовых институтов, данная технология в настоящее время вышла далеко за пределы выполнения функций платежных систем. Ключевые особенности концепции блокчейн, такие как надежность, децентрализация, открытость и устойчивость к недобросовестному внесению данных (как и изменению их «задним числом») делают технологию распределенного реестра универсальным инструментом для решения многих задач и построения интеллектуальных систем в совершенно разных сферах жизни. Уже сейчас обсуждаются и внедряются приложения блокчейн в сфере здравоохранения, информационных системах, беспроводных сетях, государственном управлении, финансах, Интернете вещей и многих других сферах экономики [7].

Отрасль электроэнергетики также не является исключением. Многообразие применения технологии даже в рамках одной индустрии позволяет изучать возможности внедрения и оптимизации различных сфер энергетики, в частности, широкомасштабных систем продажи электроэнергии (в том числе peer-to-peer торговля, то есть напрямую от производителя к потребителю без участия посредников), проектного финансирования, отслеживания цепочек поставок и управления активами [5]. Применение децентрализованных алгоритмов и смарт-контрактов эффективно соотносится с особенностями процессов в мировой и российской энергетике, которое носит обобщенное название «четвертый энергетический переход». Основные тенденции перехода связывают с ростом значимости возобновляемых источников энергии (ВИЭ), декарбонизацией, ростом энергоэффективности, осознанным потреблением и уменьшением негативного воздействия на окружающую природную среду. Цифровизация алгоритмов мониторинга, распределения и диспетчирования энергии с помощью средств блокчейн, в частности, позволяет потребителям понимать и контролировать свои энергетические потребности, а производителям эффективно распределять и управлять предложением энергии. С появлением возможности локальной генерации электроэнергии с помощью частных солнечных панелей или ветрогенераторов, отдельные потребители становятся также и производителями, что позволяет им монетизировать излишки сгенерированной ими энергии, отдавая ее в сеть, что управляется алгоритмами распределенного реестра и способствует

эффективному перераспределению мощностей и энергосбережению. В исследовании [4], в частности, отмечается, что каждый агент, подключенный к распределенной сети «*может одновременно являться и потребителем, и поставщиком, продавая излишки другим участникам. Из таких локальных производителей и потребителей электроэнергии будет формироваться своего рода микросеть, имеющая (либо не имеющая) доступ к центральной сети*» [4]. Децентрализованный принцип работы блокчейн и открытость всех транзакций обуславливает прозрачность, и контролируемость всех этапов производства, хранения, распределения и потребления электроэнергии и устраняет необходимость участия каких-либо посреднических сторон, что в свою очередь, снижает издержки отрасли.

Далее мы рассмотрим технологию работы алгоритмов распределенного реестра (блокчейн) и смарт-контрактов, покажем, как ее преимущества могут способствовать оптимизации энергетической отрасли в свете продолжающегося энергоперехода, приведем примеры мировых проектов внедрения блокчейн в существующие или новые энергосистемы, рассмотрим риски и препятствия, связанные с применением технологии и проанализируем перспективы использования блокчейн в реалиях российской энергетической отрасли.

Блокчейн и смарт-контракты

Технология распределенного реестра или блокчейн (от англ. «block+chain», «цепочка блоков») представляет собой специфическую форму хранения данных в виде последовательной структуры массивов (блоков), объединенных в связанный список, который растет по мере добавления новых данных. Каждый из последовательных блоков содержит в себе криптографический хэш, связывающий его с предыдущим и последующим блоком в цепочке. Помимо этого, блок может содержать указатель времени, идентификаторы блока, а также непосредственно данные (иногда обобщенно называемые транзакциями, рис. 1.).



Рис.1. Схема возможного хранения данных в структуре блоков блокчейн

Данная структура представляет собой криптографически неразрывную связную последовательность блоков информации, которая хранится сразу у многих участников общей сети. В каждый момент времени участник имеет возможность получить актуальное состояние базы, обратившись к выделенным участникам сети, которые называются узлами (иногда нодами, от англ. «nodes»). Узлы обладают «привилегией» вносить новые блоки в цепочку в том случае, когда они успешно подобрали хэш нового блока, удовлетворяющий определенным математическим условиям и прошли подтверждение на других узлах сети. После утверждения нового блока большинством узлов (валидация), сформированные транзакции с хэшем присоединяются к концу цепочки, и у всех участников происходит обновление базы. Существенным является тот факт, что криптографический хэш имеет критическую чувствительность к предшествующим данным, на которых он непосредственно считается. Таким образом, реализуется невозможность внесения изменения в уже существующую цепочку блоков «задним числом»: любое изменение информации хотя бы на один бит приводит к неверному подсчету хэш-функции, которая будет не удовлетворять условиям валидации, и, таким образом, будет отвергнута системой. Этот факт является одним из базовых элементов всей концепции блокчейн, его строгость имеет обратной стороной принципиальную необратимость транзакций: если данные внесены в распределенный реестр и прошли валидацию, их невозможно исправить или удалить из базы. В некоторых случаях данное свойство может оказаться недостатком. Подробнее о концепции работы технологии блокчейн можно узнать в работе [1].

Стоит отметить, что за исключением специальных случаев шифрования самих данных в распределенном реестре, сама база обычно открыта для всех участников сети, и все транзакции общедоступны, что обеспечивает прозрачность операций. В контексте применения данного свойства к электроэнергетике, это создает дополнительные возможности для осознанного контроля как для производителей, так и для потребителей. К примеру, можно представить себе ситуацию, при которой потребитель электроэнергии сознательно хочет получать электричество только из возобновляемых источников, в этом случае мощности, поступающие в сеть и регистрируемые в распределенном реестре, могут носить «зеленую метку» при условии, что они получены из ВИЭ. Потребитель, выставляя заявку на приобретение энергии, может в качестве требования выставить наличие «зеленой метки» от производителя, и такую операцию блокчейн обработает автоматически.

Децентрализация хранения общей базы обеспечивается тем обстоятельством, что каждый из множества узлов, а также любые участники сети, могут в каждый момент времени иметь свою копию актуальной единой базы. Наличие таких копий, с одной стороны,

предотвращает риск утраты данных об операциях вследствие технической неисправности, а с другой, устраняет необходимость существования централизованного института-посредника, который бы следил за правомерностью операций, что создавало бы дополнительные риски доверия к такому институту.

Наконец, распределенный реестр, имеющий в сети большое количество узлов, обретает устойчивость и высокую степень надежности в плане недопущения проведения неправомερных транзакций, а также рисков двойной траты.

Эти особенности блокчейн, как общей алгоритмической концепции, а именно: устойчивость, надежность, открытость и децентрализация, – обеспечили возможность применения технологии в столь широком спектре экономических активностей. Для электроэнергетики, на фоне продолжающегося энергоперехода, главные задачи, которые может помочь решить использование распределенного реестра, связаны с безопасностью и прозрачностью локальных и глобальных энергосистем.

Важнейшей вехой в развитии концепции распределенного реестра явились так называемые смарт-контракты. Появление данного инструмента позволило некоторым исследователям говорить о новом поколении технологии блокчейн 2.0 [3]. Смарт-контракт представляет собой программный код или алгоритм, который исполняется в системе блокчейн и дает возможность осуществлять транзакции и проводить операции в сети при достижении определенных условий. Автоматизированное функционирование позволяет смарт-контракту контролировать исполнение условий договора всеми сторонами (опять же, без посредников и регулирующих институтов), а также фиксировать любые коммерческие соглашения в распределенном реестре, ведя протоколы и историю документооборота. Все упомянутые ранее достоинства, связанные с работой блокчейн, проявляются в полной мере также для смарт-контрактов. Установленные алгоритмическим порядком условия обеспечивают надежность в отсутствие внешних арбитров, запись в блокчейн создает прозрачность и публичность сделок, устраняются издержки на административные и юридические процедуры, наконец, будучи грамотно составленными, такие контракты обеспечивают мотивы и стимулы сторон к наиболее добросовестному исполнению своих обязательств. Так же, как и для «первого поколения» блокчейн 1.0 (которое условно связывается преимущественно с функцией обеспечения децентрализованного обмена криптовалютой), криптографическое хэширование защищает смарт-контракт от внешних попыток его изменения или внесения новых записей «задним числом». Как только условия смарт-контракта будут реализованы в виде кода на специфическом программном языке в блокчейне, контроль и исполнение его будут зависеть от наступления установленных

условий, контролируемых всей виртуальной средой, размещаемой на узлах сети распределенного реестра, как если бы она была единым компьютером.

Хотя смарт-контракты вследствие своих многочисленных преимуществ имеют потенциал использования во многих сферах экономики (см. напр. [8]), представляется, что реализация их возможностей именно в отношении приложений для российской электроэнергетики может дать исключительный (по экономическому эффекту) позитивный результат. Примером задач, которые можно решить, используя алгоритмы распределенного реестра, является координация малых генерирующих активов, появляющихся на местном уровне в связи с постепенным внедрением локальных систем генерации на основе, к примеру, возобновляемых источников энергии. Такие небольшие мощности в настоящий момент не координируются системным оператором и часто слишком незначительны для участия в рынках распределения энергии, поскольку агрегатор не может эффективно диспетчировать их, балансируя всю территориальную сеть. Таким образом, при появлении все большего числа локальных ветровых генераторов или солнечных панелей, будет только усиливаться неэффективность управления и распределения мощностей, если не будет найдено релевантное решение интеграции их в энергосистемы местного уровня. Нынешняя парадигма не имеет технической возможности координации и использования преимуществ большого числа децентрализованных мощностей и реагировать на непрогнозируемое изменение каких-либо новых типов нагрузки. Между тем, тенденции, связанные с четвертым энергопереходом подразумевают, во-первых, возрастание роли именно малых децентрализованных генераторов (в России этот эффект тем более окажется значимым, поскольку будет связан с текущей низкой базой), во-вторых, появлением растущего спроса на электроэнергию, требующего реагирования со стороны предложения (к примеру, появление и массовое внедрение электромобилей). Смарт-контракты и технология распределенного реестра могут предложить решение указанной задачи на любом уровне масштабирования.

Разнообразие иных задач, которые способен решить распределенный реестр и смарт-контракты, включает в себя управление системами хранения энергии, управление выбросами парниковых газов, реагирование на шоки спроса, оптимизацию зарядок электромобилей, управление электросетью, peer-to-peer торговлю, коммуникацию электросети с системами «умный дом», обеспечение операций на розничном рынке [6] и другие.

Говоря о преимуществах и перспективах технологии распределенного реестра, тем не менее, нельзя обойти стороной экономические риски, связанные с ее применением, а также сложности внедрения решений блокчейн в существующие энергосистемы. Одна из

главных проблем – правовое регулирование. Как указывается в [2], из-за того, что пока не разработана (хотя и находится в стадии активного формирования) единая методология оценки правовых аспектов использования смарт-контрактов в экономической деятельности, *«на данном этапе развития гражданского права в РФ правовая сторона отношений при использовании смарт-контрактов не регулируется нормами закона, а остается исключительно в платформе блокчейн. Иначе говоря, лица, использующие такие технологии, вынуждены опираться исключительно на верность программы смарт-контракта или специальных платформ, позволяющих заключать смарт-контракты»* [2].

Другая проблема связана с технологическими сложностями внедрения блокчейн-платформ в существующую энергетическую инфраструктуру страны. Помимо высоких издержек, непосредственно связанных с разработкой платформ распределенного реестра и адаптации их к реалиям российских энергетических систем, необходимо изначально учесть, что на ранних этапах имплементации решений будет отсутствовать эффект масштаба. Таким образом, общие издержки на данной стадии могут значительно превысить затраты на текущие «традиционные» решения. Рост эффективности и раскрытие потенциала технологии проявляется только при большом охвате привлечения в систему как производителей, так и потребителей энергии. Существуют также чисто технологические проблемы скорости обработки транзакций, хранения криптографических ключей, уже упомянутая проблема необратимости операций, внесенных в реестр, что характерно в принципе для технологии блокчейн, и не связано непосредственно с энергетикой.

Далее мы рассмотрим уже существующие пилотные проекты внедрения технологии распределенного реестра в энергетические системы различного масштаба. Представляется, что подобные системы помимо решения упомянутых задач, связанных с мониторингом, диспетчированием, торговлей, распределением и управлением сетью, также будут способствовать появлению конкуренции на розничном рынке электроэнергии, что дополнительно будет способствовать росту общественного благосостояния.

Внедренные платформенные решения для электроэнергетики

Power Ledger – австралийский частный проект, добившийся успехов в области торговли электроэнергией на основе блокчейна. Их платформа обеспечивает одноранговую торговлю мощностями на основе ВИЭ, позволяя потребителям напрямую покупать и продавать излишки энергии. Power Ledger успешно внедрила свою технологию в различные проекты по всему миру, включая Австралию, Японию и США.

Схема работы платформы Power Ledger является типовой для многих энергетических блокчейн-проектов (рис. 2). Токеномика платформы Power Ledger основана на обращении двух видов токенов – POWR и Sparkz. POWR – это утилитарный токен (utility token) блокчейна Power Ledger. Для поддержания работоспособности децентрализованной платформы необходимо, чтобы у валидаторов (владельцев узлов, подключенных к блокчейну и выполняющих проверку, подтверждение и хранение транзакций) был стимул поддерживать работу своих узлов. За подтверждение транзакций валидаторы получают вознаграждение в виде комиссии за транзакцию. Токены POWR могут быть обменены на другие валюты через торговую платформу или на криптовалютной бирже. Также токен POWR может использоваться для оплаты других сервисов платформы. Эмиссия токенов POWR ограничена 1 млрд. токенов. При масштабировании экосистемы возрастает давление рынка со стороны покупателей, и при ограниченной эмиссии цена токена будет органически расти.

Sparkz – это токен, номинал которого привязан к единице электроэнергии. Его функция – быть проводником ликвидности в сделках на покупку электроэнергии. Эмиссия токена происходит под залог токенов POWR через специальный смарт-контракт (Smart Bond). Этот механизм ограничивает эмиссию токенов в обращении и вытягивает часть токенов POWR из обращения, снижая его рыночное предложение. По сути Sparkz – это токенизированный фьючерс на поставку электроэнергии с неограниченным сроком экспирации. Как и в случае с POWR, торговая площадка PowrLedger и криптовалютные биржи обеспечат доступность обмена токенов друг с другом, на фиат или другие криптовалюты. Дополнительно это позволит просьюмеру (просьюмер – от англ. producer+consumer – производитель, который одновременно является и потребителем своей продукции) обменивать выручку в токенах асинхронно со сделками купли-продажи электроэнергии, что дает операционную и финансовую гибкость при бюджетировании, независимость от централизованных банков в вопросах хранения и передачи ликвидности.

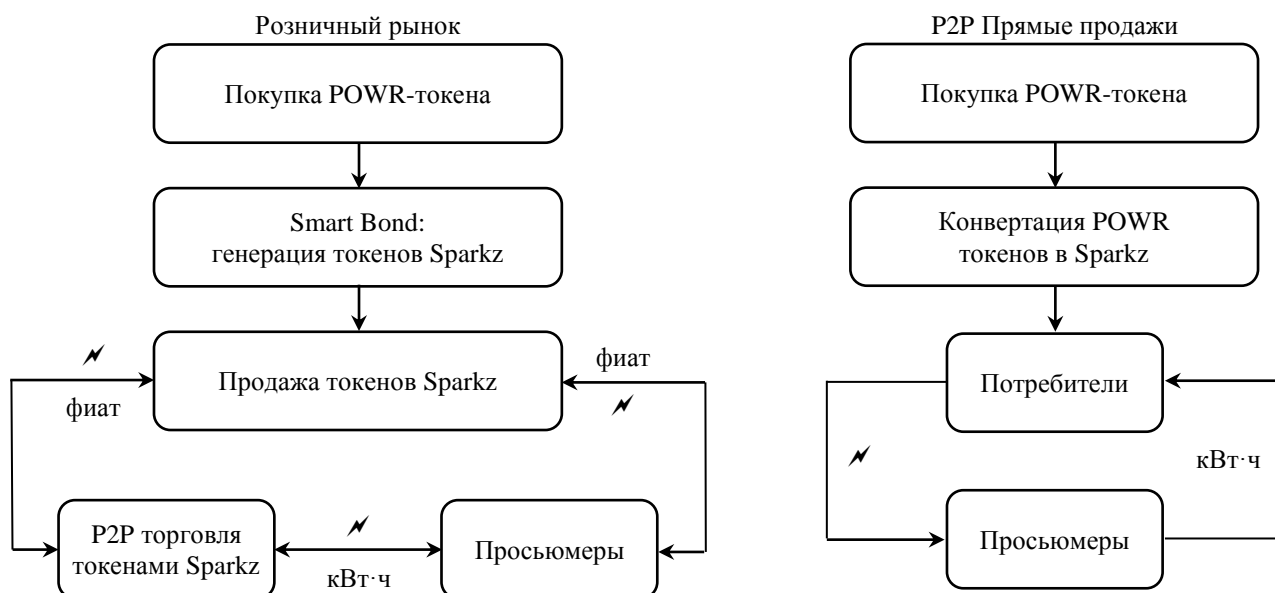


Рис 2. Модели работы платформы Power Ledger на розничном рынке и рынке прямых продаж (построено на основе Power Ledger White Paper)

Другой характерный пример внедряемых платформенных решений для электроэнергетики на базе блокчейн – проект WePower, базирующийся в Эстонии, специализирующийся на поддержке производителей возобновляемых источников энергии. Платформа WePower предоставляет возможным компаниям на основе ВИЭ продавать электричество напрямую конечным потребителям. Благодаря отсутствию издержек, связанных с наличием посредников, цена такой электроэнергии существенно снижается. Токены экосистемы WePower соответствуют количеству потребленной энергии (1 токен WPR равен 1 кВт·ч), смарт-контракты платформы содержат данные о производстве, типе и цене сгенерированной энергии. Предложение от производителей построено на системе аукциона, где происходит обмен токенов WPR на предоставляемую электроэнергию.

Нью-йоркский проект LO3 Energy примечателен благодаря своей новаторской работе по созданию микросетей на основе блокчейна. Их флагманский проект, микросеть Бруклина, позволяет местным жителям торговать избыточной возобновляемой энергией между собой с использованием технологии распределенного реестра. Они распространили свои инициативы на другие территории, сотрудничая с энергетическими компаниями.

Помимо частных инициатив, решения на основе технологии блокчейн также внедряют крупнейшие мировые энергетические компании. Так, в 2022 году Shell и Equinor совместно разработали блокчейн-платформу для торговли энергоресурсами. Платформа призвана обеспечить безопасную и прозрачную двустороннюю торговлю энергетическими продуктами, включая электроэнергию, природный газ и сертификаты на возобновляемые

источники энергии. Инициатива направлена на рационализацию торговых процессов и повышение эффективности рынка.

Немецкий энергетический концерн E.ON в 2021 году запустил основанное на распределенном реестре решение для выставления счетов и проведения расчетов за электроэнергию. Платформа использует смарт-контракты для автоматизации и упрощения процесса выставления счетов, обеспечивая точный и прозрачный расчет между поставщиками энергии, сетевыми операторами и потребителями, что привело к повышению эффективности, снижению затрат и снижению рисков ошибок в операциях.

RWE, одна из ведущих европейских энергетических компаний, в 2021 году провела пилотный проект с использованием блокчейна для сертификации происхождения и устойчивости производства электроэнергии. Используя технологию блокчейн, RWE создает прозрачную и защищенную от взлома запись о производстве возобновляемой энергии, обеспечивая подлинность и целостность сертификатов возобновляемой энергии. Схожая инициатива принадлежит крупнейшей энергетической датской компании Ørsted. Проект направлен на оцифровку и автоматизацию выпуска, отслеживания и торговли сертификатами возобновляемой энергии. Используя неизменяемость и прозрачность блокчейна, компания Ørsted стремится оптимизировать рынок сертификатов и обеспечить бесперебойную торговлю между производителями и потребителями возобновляемой энергии.

Заключение

Несмотря на упомянутые риски и технологические сложности, по-видимому, решения на основе технологии распределенного реестра, будут в том или ином виде внедряться в российские и мировые энергосистемы. Благодаря децентрализованной архитектуре технология блокчейн способна обслуживать большое количество независимых субъектов на уровне регионов, муниципалитетов и отдельных домохозяйств. Это делает возможным вовлечение экономических агентов в поддержание стабильности электрогенерации и потребления. К примеру, отдельное домохозяйство может установить солнечные панели и аккумуляторы и продавать избыток электроэнергии в часы пик с автономным процессингом оплат через смарт-контракты. Универсальность протоколов дает возможность подключить распределительное устройство абонента к сети блокчейн и управлять отдачей электроэнергии, продавая ее в наиболее выгодные периоды времени. Такая возможность продажи излишков будет стимулом для домохозяйства установки генерирующих элементов. На уровне региона рост числа домохозяйств, участвующих в генерации, ведет к выравниванию нагрузки в электросети, сокращает среднюю дистанцию доставки электроэнергии, а значит, и стоимость этой доставки.

В традиционных энергетических экосистемах взаиморасчеты сторон происходят через централизованные банковские структуры, что создает риски и ограничения, особенно для трансграничной торговли электроэнергией. Создание слоя ликвидности для расчетов на основе технологии блокчейн позволяет обойти эти ограничения и сделать расчеты более прозрачными и быстрыми. Для этого возможен выпуск токена на блокчейне, номинал которого привязан к кВт·ч электроэнергии. По сути, такой актив - это токенизированный фьючерс на поставку электроэнергии (в форме смарт-контракта).

Благодаря своей алгоритмической природе, блокчейн-технологии в перспективе могут быть встроены напрямую в устройства энергетической инфраструктуры. В таком устройстве может быть встроены блокчейн-валидатор и управляющий модуль, реагирующий на поступающую из блокчейна информацию, например счетчик электроэнергии, ограничивающий подачу при неоплаченном через смарт-контракт счете. При таком подходе, устройства, по сути, становятся полноценными экономическими субъектами и принимают на себя часть функций администрирования абонентов и распределения энергопотребления, делая общую энергосистему экономически более эффективной.

Список литературы

1. Генкин А., Михеев А. Блокчейн. Как это работает и что ждет нас завтра // М.: Альпина Паблишер. ISBN 978-5-9614-6558-7. 2017.
2. Пушилина, Е. Э. Проблема регулирования смарт-контрактов нормами гражданского права РФ / Е. Э. Пушилина // Процветание науки. – 2022. – № 4(10). – С. 47-56.
3. Свон М. Блокчейн: Схема новой экономики // М.: Олимп-бизнес, 2017.
4. Силин, А. В. Использование технологии распределенных реестров (блокчейн) в электроэнергетике / А. В. Силин, А. Ю. Кошляков, Д. А. Акимов // Энергия единой сети. – 2018. – № 5(41). – С. 48-54.
5. Khatoon, A., Verma, P., Southernwood, J., Massey, B. and Corcoran, P. Blockchain in energy efficiency: Potential applications and benefits. // *Energies*, 12 (17), 2019. p. 3317.
6. Kirli, D., Couraud, B., Robu, V., Salgado-Bravo, M., Norbu, S., Andoni, M., Antonopoulos, I., Negrete-Pincetic, M., Flynn, D. and Kiprakis, A., 2022. Smart contracts in energy systems: A systematic review of fundamental approaches and implementations // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, p. 112013.
7. Krichen, M., Ammi, M., Mihoub, A. and Almutiq, M., 2022. Blockchain for modern applications: A survey // *Sensors*, 22 (14), p. 5274.
8. Lin, S.Y., Zhang, L., Li, J., Ji, L.L. and Sun, Y., 2022. A survey of application research based on blockchain smart contract // *Wireless Networks*, 28 (2), pp. 635-690.