

УДК 621.3.05

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ КАК СВЯЗУЮЩЕЙ ЦИФРОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННУЮ ГЕНЕРАЦИЮ

Белкин П.А., Посмаков Н.П., Ростовский Н.С.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, e-mail: info@mephi.ru

Мировой рынок электроэнергетики существенно изменяется за счет перехода на возобновляемые источники генерации, децентрализацию и цифровизацию. Это влечет за собой увеличение сложности энергосистемы, приводит к дополнительному обмену информацией между ее частями, требует более сложного мониторинга и контроля каждого из узлов. При этом, помимо экологического выигрыша, от новой системы энергетики требуют сократить расходы на предоставление сервиса конечным потребителям при повышении его качества. В качестве перспективной технологии, позволяющей обеспечить необходимый уровень информационного обмена, мониторинга и управления в энергосистеме, может выступить технология блокчейна, также известная как технология распределенного реестра. Данная технология включена в Программу цифрового развития страны и сейчас активно обсуждается в различных сообществах. В текущей работе рассматриваются возможные сценарии и проблемы внедрения технологии блокчейна в различные сферы электроэнергетики в мире и в России. Первый раздел содержит краткий обзор технологии распределенного реестра, во втором и третьем разделе представлены потенциальные направления использования данной технологии в мировой электроэнергетике в целом и применительно к электроэнергетике России соответственно.

Ключевые слова: цифровая трансформация, блокчейн, блокчейн платформы, возобновляемые источники энергии, распределенная генерация, децентрализованное управление, потребление электроэнергии, торговля энергией

APPLICATION OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN ELECTRICITY AS A CONNECTING DIGITAL TECHNOLOGY IN TRANSITION TO DECENTRALIZED GENERATION

Belkin P.A., Posmakov N.P., Rostovskiy N.S.

National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, e-mail: info@mephi.ru

The global electricity market is changing significantly due to the transition to renewable sources of generation, decentralization and digitalization. This entails an increase in the complexity of the power system, leads to an additional exchange of information between its parts, requires more complex monitoring and control of each node. At the same time, in addition to environmental benefits, the new energy system is required to reduce the cost of providing services to end users while improving its quality. Blockchain technology also known as distributed registry technology can be a promising technology to ensure the necessary level of information exchange, monitoring and control in the power system. This technology is included in the country's Digital Development Program and is now actively discussed in various communities. The current work discusses possible scenarios and problems of introducing blockchain technology in various areas of the electric power industry in the world and in Russia. The first section contains a brief overview of the technology of the distributed registry, the second and third sections present potential directions for using this technology in the global electric power industry as a whole and in relation to the electric power industry in Russia, respectively.

Keywords: digital transformation, blockchain, blockchain platforms, renewable energy sources, distributed generation, decentralized management, electricity consumption, energy trade

По прогнозам Международного энергетического агентства и консалтингового агентства McKinsey&Co [1], мировой спрос на электричество с 2017 по 2040 г. возрастет на 60 %, главным образом за счет развития электромобильного сектора мировой экономики, повсеместной автоматизации процессов и увеличения времени потребления электричества объектами инфраструктуры. В то же время рынки углеводородной энергетики в последнее время испытывают спад [2] по причине загрязнения окружающей среды и снижения запасов полезных ископаемых, постепенного перехода энергетики на возобновляемые источники энергии, децентрализа-

ции генерации электричества, повышения энергоэффективности зданий и городской инфраструктуры, внедрения технологии интернета вещей.

В силу нестационарности генерируемых ВИЭ мощностей, зависящих от погодных условий, необходимо обеспечение следующих мер:

– Обеспечение высокой скорости переключения генерации и транспортировки ресурсов с одного источника на другие в случае сбоя одного или нескольких из них;

– Развитие технологий в области хранения энергии для обеспечения возможности использования резервных мощностей на время перебоев в генерации.

Децентрализация энергетической системы требует более сложного мониторинга и контроля каждого из узлов, но при этом должна позволить сократить расходы на предоставление сервиса конечным потребителям при повышении его качества. В качестве технологии, позволяющей обеспечить мониторинг состояния распределенных узлов сети, может выступить технология блокчейна [3].

В данной работе рассматриваются возможные сценарии и проблемы внедрения технологии блокчейна в электроэнергетике в мире и в России.

Первый раздел содержит краткий обзор технологии распределенного реестра, во втором и третьем разделе представлены потенциальные направления использования данной технологии в мировой электроэнергетике в целом и применительно к электроэнергетике России соответственно.

Целью исследования, проводимого в данной работе, является анализ экономических стимулов использования технологии блокчейна в электроэнергетике России вместе с внедрением возобновляемой энергетики.

Материалы и методы исследования

Обзор технологии блокчейн

Технология распределенного реестра или блокчейна представляет из себя структуру данных, распределенную между всеми узлами сети в виде цифровой реплики всей информации, записываемой в рамках обращения к ней [4]. Отличительной особенностью данной структуры является хранение всех транзакций с учетом их хронологического порядка. Сама информация поделена на сущности фиксированного объема – блоки, которые имеют временную отметку и связаны с предыдущими блоками средства-

ми асимметричного шифрования. Схематично данная структура представлена на рис. 1.

Хеш-функции в блокчейнах гарантируют «необратимость» всей цепочки транзакций. Каждый новый блок транзакций ссылается на хеш предыдущего блока в реестре. Хеш самого блока зависит от всех транзакций в блоке, но вместо того, чтобы последовательно передавать транзакции хеш-функции, они собираются в одно хеш-значение при помощи двоичного дерева с хешами (дерево Меркла).

Ключевой особенностью технологии блокчейн является способ хранения информации. Данные о транзакциях содержатся на всех компьютерах участников единой сети. Таким образом, хранение информации распределено и локализовано на отдельных машинах участников транзакций в отличие от традиционной транзакционной модели. В результате любой пользователь в сети может иметь доступ к истории транзакций системы и проверить их достоверность, за счет чего в итоге блокчейн обеспечивает высокий уровень прозрачности информации.

Также основной задачей систем, работающих с транзакциями, является подтверждение перевода средств с одного счета на другой во избежание повторной отправки оплаты со стороны плательщика. В традиционных подходах, используется централизованный орган, например Центральный банк, который выступает в качестве доверенного посредника между участниками сделки и чья работа заключается в том, чтобы хранить информацию о транзакциях и предоставлять к ней доступ по запросу на любую дату. Такое решение в некоторых случаях вводит промежуточные издержки и заставляет пользователей – участников сделки доверять третьей стороне. Централизованные системы также обладают недостатками в области отказоустойчивости и защиты от вредоносных атак.

Децентрализованные системы лишены этих недостатков, но после того, как централизованный орган был удален из сети, возникает проблема поиска эффективного пути консолидации и синхронизации копий информации хранящейся на различных узлах сети. Различные пути решения данной проблемы называются алгоритмами распределенного консенсуса. В зависимости от типа блокчейн платформы они могут отличаться [4].



Рис. 1. Схематичное представление блока

Блокчейн-платформы по своему функциональному назначению делятся на публичные и частные блокчейны. В публичных блокчейнах не требуется особых прав доступа к хранимой информации о конкретных транзакциях. Частные блокчейны представляют собой систему с правами доступа к информации, хранимой в определенной цепочке блоков [4].

Сценарии использования технологии блокчейна в энергетической отрасли

Технология распределенного реестра может быть применена в различных сферах электроэнергетического сектора [5]:

1. *Мониторинг систем управления.* Блокчейн платформа позволит отслеживать в режиме реального времени поведение участников распределенной сети и проводить соответствующую аналитику потребления и производства энергии.

2. *Приложения для умных сетей (smart grid) и передача данных.* Блокчейн платформа может использоваться для соединения интеллектуальных устройств в единую сеть, обеспечения передачи и хранения данных о коммуникации между ними, обеспечения безопасности, удобного контроля и менеджмента ситуаций. Интеллектуальными устройствами в интеллектуальной сети выступают умные счетчики, датчики, оборудование для мониторинга сети, системы контроля и управления электроэнергией, умные контроллеры потребления электроэнергии в умных домах и системы мониторинга здания.

3. *Управление энергосетью.* Возможности блокчейн платформы в части сбора, хранения и обработки данных потенциально могут быть использованы для управления сетью в децентрализованных сетях для обеспечения гибкости обслуживания или управления ресурсами. С его помощью можно достичь комплексной гибкости торговой платформы и оптимизировать доступные ресурсы, которые в противном случае могли привести к дорогостоящей модернизации сети. В результате это может также повлиять на доходы и тарифы в отрасли.

4. *Обеспечение обмена ресурсами между участниками сети.* За счет протоколов консенсуса, заложенных в блокчейн платформу, может появиться возможность для совместного использования ресурсов между несколькими пользователями в формате обмена энергоресурсами между объектами инфраструктуры, данными или использования общего централизованного хранилища. Блокчейн и смарт-контракты могут позволить предоставить возможность совместного использования одного источника на основе договоренностей, подписанных в цифровом виде.

5. *Создание конкуренции на рынке сбыта электроэнергии.* Использование технологии смарт-контрактов позволит ускорить и облегчить процесс выбора и замены поставщика электроэнергии. Такое повышение мобильности способствует конкуренции и снижению тарифов на электроэнергию.

6. *Прозрачность процесса с точки зрения потребителей коммунальных услуг.* Технология блокчейн позволяет сохранять приватность, конфиденциальность данных и управление идентификацией клиента.

7. *Автоматизированная система биллинга.* Комбинация блокчейн платформы, системы умных контрактов и счетчиков позволяет создать систему учета оплаты и поставки электроэнергии. Энергосбытовые

компании потенциально могут получить от этого выгоду в виде микроплатежей, предварительного расчета и предварительного заказа электроэнергии. Это позволит сделать спрос более гибким, а также потенциально сократит долю задолженностей в общем объеме платежей за их услуги.

8. *Продажи и маркетинг.* Методики продаж могут меняться в зависимости от профиля энергопотребления потребителей, их индивидуальных предпочтений и экологических проблем. Блокчейн, в сочетании с технологией искусственного интеллекта (AI) и машинным обучением, могут определить структуру энергопотребления каждого конкретного потребителя, так называемый энергетический шаблон (то, как энергия расходуется потребителем) и сигнализировать о возможности создания индивидуальной добавленной стоимости.

9. *Рынки и оптовая торговля.* Распределенные торговые площадки с использованием технологии блокчейна могут изменить текущие рыночные операции, такие как управление оптовой торговлей и управление рисками.

10. *Энергетическое финансирование.* Технология блокчейна позволит привлекать различного рода финансирование для проектов энергетического сектора путем выпуска энерготокенов, владея которыми потенциальные инвесторы могут впоследствии заработать на энергетической торговле без необходимости строительства энергетических установок.

Использование технологии блокчейн для энергетического сектора в мире

В ряде стран уже реализуется множество подобных проектов [6].

На рис. 2 представлено соотношение различных направлений использования блокчейн в энергетике.

Внедрение цифровых технологий также может привлечь внимание зарубежного капитала крупных корпораций. Примерами финансирования проектов ВИЭ со стороны крупных компаний являются Amazon [7], Google [8] и Apple [9]. Снижение барьера для входа на рынок и возможность привлечения инвестиций в такие проекты за счет создания блокчейн платформы, предоставляющей возможность покупки цифровых активов, без участия в производстве физических.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам проведенного исследования на обсуждение могут быть вынесены следующие экономические стимулы, создаваемые блокчейн-технологиями для развития ВИЭ в России:

1. Одним из потенциальных направлений привлечений средств и участников на рынок является возможность *получения прав на торговлю электроэнергией без необходимости постройки больших сооружений инфраструктуры.* Это может быть обеспечено путем строительства данной инфраструктуры на денежные средства бюджета государственных корпораций, но при этом права собственности на поставляемую электроэнергию могут быть проданы дру-

гим участникам. Такая возможность может быть обеспечена путем выпуска энергоtokens на ранней стадии проекта строительства и использования блокчейн платформы для торговли ими после того, как объекты были возведены и цифровой токен подкреплён реально существующей энергией. Такие проекты уже реализует компания WePower [10] в Австралии и Эстонии.

2. *Технология блокчейн может быть применена с самого начала перехода на возобновляемые источники энергии в качестве системы мониторинга [11].* Ее внедрение в промышленных масштабах, поможет отслеживать текущее состояние энергопотребления в разрезе каждого удаленного региона и даже потребителя в различных тайм-фреймах.

3. Также данная технология позволит *агрегировать данные о различных инцидентах и грамотно планировать дальнейшие работы по переходу на новые источники и новое потребление.* Например, платформа Origin Web Foundation от Energy [12] использует блокчейн для отслеживания выработки электроэнергии до киловатт-часа и для записи таких атрибутов, как выбросы углерода, связанные с выработкой электроэнергии. Это может сделать возможным более точный расчет квот на выбросы углерода для владельцев электроэнергии на время миграционного периода на возобновляемые источники. Призная этот потенциал, несколько коммунальных

служб и фирм, включая Engie, Microsoft и Singapore Power, участвуют в пилотных проектах, использующих Origin [13]. Ее внедрение позволит также существенно сократить затраты на строительство и обеспечение объектов инфраструктуры дорогостоящим оборудованием, которое требует пристального надзора на локальном уровне. На их замену могут прийти различные инструменты из сферы интернета вещей, с которой блокчейн активно применяется в других странах [11].

4. Необходимой инфраструктурой для энергетического финансирования является *создание проектов с системой микроплатежей.* Данные проекты совместно с постепенным внедрением возобновляемых источников предоставят владельцам энергоустановок возможность продавать и обмениваться электроэнергией между собой. Такого рода системы уже реализует в США компания PowerLedger [14]. Ее суть состоит в предоставлении платформы, на которой потенциальные участники сети могут быть зарегистрированы в качестве поставщиков и потребителей энергоресурсов и обмениваться заданиями на поставку энергии между собой в случае перебоев поставок в одном из регионов, энергетические ресурсы могут быть перебалансированы. При этом все транзакции в данной сети видны всем, в связи с этим достигается прозрачность и гибкость рынка розничной электроэнергии.

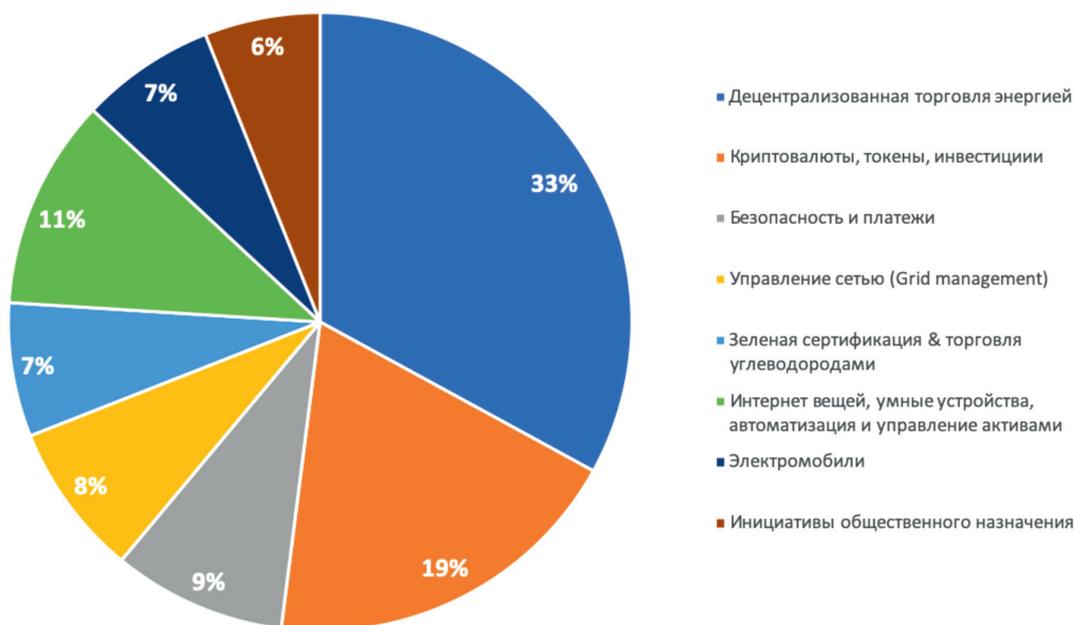


Рис. 2. Сценарии использования блокчейна среди проектов энергетической отрасли

5. Внедрение блокчейн будет способствовать появлению новых игроков на рынке генерации и распределения электроэнергии. Сейчас на типичном розничном рынке присутствует всего одна сбытовая компания, однако с переходом на децентрализованную энергогенерацию и снижению издержек на обслуживание энергоустановок на базе возобновляемых источников, потенциально может появиться конкуренция на рынке, что позволит сделать спрос на рынке более гибким [4].

6. Что касается макроэкономических проблем, то они могут быть разрешены регулированием цен на покупку и продажу электроэнергии посредством торговли на энергетической бирже [3]. *Участники сети могут заключать смарт-контракты*, в которых четко прописаны цена, объем и регулярность поставки, что в свою очередь также обеспечит прозрачность и удобство работы на рынке электроэнергии.

Потенциал внедрения технологии блокчейна в электроэнергетику России

Россия движется в сторону развития применения возобновляемых источников энергии. В частности, для ветряной энергии целевым показателем согласно постановлению Правительства № 449 к 2024 г. является установленная мощность в размере 3,35 ГВт [15].

Однако на сегодняшний день действующие электростанции, использующие возобновляемые источники энергии, в основном невелики. Несколько крупных проектов находятся в стадии реализации.

С точки зрения развития возобновляемой энергетики ее перспективы определяются следующими ключевыми факторами:

1. *Государственное регулирование.* Правительство страны продолжает активно стимулировать развитие проектов на базе возобновляемых источников энергии, о чем свидетельствуют льготы в области проектов по строительству генерирующих объектов, функционирующих на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [16]. Тем не менее на данный момент есть нехватка частных инвестиций в данные проекты.

2. *Доступность необходимых ресурсов.* Россия обладает значительным ресурсным потенциалом для развития возобновляемых источников энергии. Этот потенциал распределен по территории по типу генерации, однако использование разных видов генерации позволяет обеспечить непрерывную генерацию энергии, что требует дополнительных затрат на ее транспортировку, и поэтому необходима проработка схемы взаимодействия узлов сети между собой [17].

3. *Наличие уже реализованных проектов.* Этот фактор имеет особое значение для России в связи с действующей стратегией импортозамещения, направленной на развитие национальных технологических инноваций, поскольку российские регионы вынуждены полагаться на самые успешные проекты, реализуемые в стране. Однако из-за высоких затрат на строительство и обслуживание данного рода генераторов существует проблема появления данных проектов [18].

Заключение

Переход на возобновляемые источники и внедрение новых технологий неизбежно приводит к росту сложности системы. Появляются узкие места, о которых не было известно в процессе экспериментов или пилота проектов, все сложнее становится обслуживание данных систем [19]. Необходимы качественные системы мониторинга, которые быстро справляются с задачей агрегирования и защиты данных [5]. Успешным кандидатом является технология блокчейн [11]. В ее отсутствие децентрализованной энергетической системе придется заниматься мониторингом каждого из отдельно взятых источников энергии, что приводит к увеличению количества человеческих ресурсов, повышению риска внезапного отказа и несвоевременного реагирования на проблемы.

В связи с переходом на возобновляемые источники генерации возникает возможность появления на рынке коммерческих игроков по поставке электроэнергии конечному потребителю. Это обусловлено тем, что барьер входа на рынок в виде большого количества средств на поддержание инфраструктуры может быть существенно снижен [1], тем самым существует возможность появления конкуренции, а следовательно, тенденция к более высокому качеству услуг и сниженным ценам [5]. Еще одним положительным аспектом является появление потенциальных инвесторов таких проектов, которые готовы вкладываться ради получения регулярной прибыли за поставку электроэнергии [13, 9].

Создание энергетических розничных рынков на базе сетевых транзакций, проектов по энергетическому финансированию, которые могут за счет выпуска новых токенов привлекать краудсорсинговые средства, эффективных систем мониторинга позволят существенным образом улучшить текущее положение вещей в электроэнергетической отрасли страны. Однако здесь не обойтись без поддержки таких крупных участников, как государство и коммунальные предпри-

ятия [11]. Только за счет объединения усилий положение вещей может существенно измениться.

Список литературы

1. McKinsey. Global Energy Perspective 2019: Reference Case. McKinsey [Electronic resource]. URL: https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Industries/Oil%20and%20Gas/Our%20Insights/Global%20Energy%20Perspective%202019/McKinsey-Energy-Insights-Global-Energy-Perspective-2019_Reference-Case-Summary.ashx (date of access: 21.02.2020).
2. WorldBank. Electricity production from oil sources (% of total). WorldBank. [Electronic resource]. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.PETR.ZS> (date of access: 21.02.2020).
3. Dena. Blockchain in the energy transition a survey among decision-makers in the German energy industry. Dena [Electronic resource]. URL: https://www.esmt.org/system/files_force/dena_esmt_studie_blockchain_english.pdf (date of access: 21.02.2020).
4. Swan M. Blockchain: Blueprint for a New Economy. O'Reilly Media. 2015. [Electronic resource]. URL: <https://www.scrip.org/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=2529258> (date of access: 21.02.2020).
5. Merlinda Andoni, Valentin Robu, D. Flynn, Simone Abram, Dale Geach, David Paul Jenkins, Peter McCallum, Andrew Peacock. Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. ResearchGate [Electronic resource]. URL: https://www.researchgate.net/publication/328760651_Blockchain_technology_in_the_energy_sector_A_systematic_review_of_challenges_and_opportunities (date of access: 21.02.2020).
6. Engerati. Blockchain Europe: Utilities pilot peer-to-peer energy trading. Engerati [Electronic resource]. URL: <https://www.engerati.com/article/blockchain-europe-utilities-pilot-peer-peer-energy-Trading> (date of access: 21.02.2020).
7. Power Technology. Amazon announces three new renewable energy projects in US and UK. Power Technology [Electronic resource]. URL: <https://www.power-technology.com/news/amazon-renewable-energy-us-uk/> (date of access: 21.02.2020).
8. Sundar Pichai. Our biggest renewable energy purchase ever. Google [Electronic resource]. URL: <https://www.blog.google/outreach-initiatives/sustainability/our-biggest-renewable-energy-purchase-ever/> (date of access: 21.02.2020).
9. Apple. Apple-launched China Clean Energy Fund invests in three wind farms. Apple [Electronic resource]. URL: <https://www.apple.com/newsroom/2019/09/apple-launched-china-clean-energy-fund-invests-in-three-wind-farms/> (date of access: 21.02.2020).
10. WePower. WePower whitepaper version 2. WePower [Electronic resource]. URL: https://wepower.network/media/WhitePaper-WePower_v_2.pdf (date of access: 21.02.2020).
11. Blockchain for Power Utilities: A View on Capabilities and Adoption. Cognizant [Electronic resource]. URL: https://cfrd8-files.cfr.org/sites/default/files/report_pdf/Discussion_Paper_Livingston_et_al_Blockchain_OR_0.pdf (date of access: 21.02.2020).
12. Energy Web Origin. Energy [Electronic resource]. URL: <https://www.energyweb.org/technology/ew-origin/> (date of access: 21.02.2020).
13. Miller D., Griesing Jens. «Engie, Microsoft, SP Group, DBS Bank, TWL, E.ON, and Sonnen Test the First Version of EW Origin Blockchain App». Energy Web Foundation [Electronic resource]. URL: <https://energyweb.org/2018/04/20/engie-microsoft-sp-group-dbs-bank-tw-l-e-on-and-sonnen-test-the-first-version-of-ew-origin-blockchain-app/> (date of access: 21.02.2020).
14. Power Ledger. Power Ledger Whitepaper. Power Ledger [Electronic resource]. URL: <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/4519667/Documents%20Power%20Ledger%20Whitepaper.pdf> (date of access: 21.02.2020).
15. Правительство Российской Федерации. Постановление от 28 мая 2013 г. № 449 «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности» [Электронный ресурс]. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=102054722&backlink=1&nd=102165645> (дата обращения: 21.02.2020).
16. Правительство Российской Федерации. Постановление от 27 сентября 2018 г. № 1145 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам стимулирования использования возобновляемых источников энергии» [Электронный ресурс]. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=102165645&backlink=1&nd=102482798> (дата обращения: 21.02.2020).
17. Cherepovitsyn A., Tsvetkov P. Overview of the prospects for developing a renewable energy in Russia. In Green Energy and Applications (ICGEA), International Conference, 2017. P. 113–117.
18. IRENA (2018). Renewable Power Generation Costs in 2017. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. [Electronic resource]. URL: https://www.enerjiportali.com/wp-content/uploads/2019/05/IRENA_2018_Power_Costs_2019.pdf (date of access: 21.02.2020).
19. Тупчиенко В.А., Путилов А.В., Харитонов В.В., Гусева А.И., Киреев В.С., Бочкарев П.В., Кузнецов И.А., Крянев А.В., Силенко А.Н., Юшков Е.С., Аликова О.П., Ростовский Н.С., Смирнов Д.С. Цифровые платформы управления жизненным циклом комплексных систем / Под ред. В.А. Тупчиенко. М.: Научный консультант, 2018. 439 с.