

УДК 621.311

**ПЕРСПЕКТИВНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА***А.А. Степанов¹, Р. Осеи-Овусу²*¹АО «Тверьгорэлектро», (г. Тверь)²ООО «Электрическая компания Ганы» (г. Аккра, Гана)

© Степанов А.А., Осеи-Овусу Р., 2022

Аннотация. В статье описаны общемировые тенденции перехода к распределенной генерации, которые ставят перед энергетическими рынками всех стран задачу формирования централизованного органа управления. Перечислены актуальные задачи, решаемые таким органом. Дана оценка сложившейся ситуации, не позволяющей предоставить потребителям минимальные цены на электроэнергию.

Ключевые слова: рынки электроэнергии, прогнозирование, управление, распределенная генерация, трансформация.

DOI: 10.46573/2658-7459-2022-2-57-66

Организованные оптовые рынки электрической энергии – это относительно недавнее новшество (в РФ – с ноября 2003 года) за более чем вековую историю электроэнергетического сектора. Они были разработаны и внедрены в мире в начале 1990-х годов. Организованные рынки, которыми управляет специализированный оператор, включают в себя рынки с определенными временными рамками (например, на сутки вперед, на час вперед и в режиме реального времени), а также услуги поддержки системы, такие как «горячий» и «холодный» резервы мощности, часто называемые вспомогательными.

Для большинства стран Евросоюза (ЕС) характерен полный переход на конкурентный механизм построения рынка электроэнергии. Тем не менее, несмотря на схожесть энергосистем и даже значительные перетоки мощности между странами, оптовые энергорынки в ЕС ограничены территориями единичных стран, что создает значительный дисбаланс цен на электроэнергию. Как отмечается в отчете по мониторингу рынка [1], это привело в 2019 году к росту цен на электроэнергию на 8–15 %, в то же время в результате пандемии коронавируса последовало значительное снижение спроса.

В третьем квартале 2021 года потребление электроэнергии в Европе вышло на допандемийный уровень (третий квартал 2019 года) благодаря восстановлению экономики и смягчению ограничений. Оптовые цены на электроэнергию достигли рекордно высокого уровня на европейских рынках, и ожидаемое дальнейшее повышение в следующем квартале подтвердилось [2]. Наибольший годовой рост цен вследствие повышения цен на

газ на спотовом рынке был зарегистрирован в Ирландии (+323 %), Португалии (+215 %) и Испании (+214 %).

Воздействие роста цен на потребителей значительно варьировалось в пределах ЕС, так как в некоторых странах изменения оптовых цен почти сразу же отражаются в розничных ценах, тогда как в других на это уходит до двух лет. Наибольший годовой прирост цен для конечных бытовых потребителей в сентябре наблюдался в Эстонии (+53 %), на Кипре (+48 %) и в Испании (+30 %).

При этом наличие малорегулируемых мощностей распределенной генерации вызывало кратковременное явление «отрицательных» тарифов, когда спрос значительно уступал предложению, что привело к почти бесплатному отпуску электроэнергии в сети распределяющих компаний. При этом стоимость электроэнергии для потребителей оставалась, конечно, высокой.

Рынок электроэнергии в ЕС чрезвычайно волатилен. В качестве примера можно указать, что в Европе резко упала выработка электроэнергии за счет ветряных электростанций. Так, по состоянию на 4 марта 2022 года ветрогенераторы обеспечивали лишь 9 % баланса энергосистемы ЕС – это минимум с января. В период с 21 по 27 февраля 2022 года средний уровень был 22 % с максимумом до 29 % (об этом свидетельствуют данные ассоциации WindEurope) [3].

Стоит отметить, что реализация стратегии по переходу к «зеленой» энергетике в ЕС начала «пробуксовывать», так как многие страны постепенно отказываются субсидировать строительство электрических станций альтернативной энергетики. Основными причинами этого являются следующие:

невысокий КПД альтернативных источников энергии, особенно ветровых электрических станций;

нерегулируемый отпуск электроэнергии, вызванный малопрогнозируемой выработкой электроэнергии на ветровых и солнечных электростанциях [3];

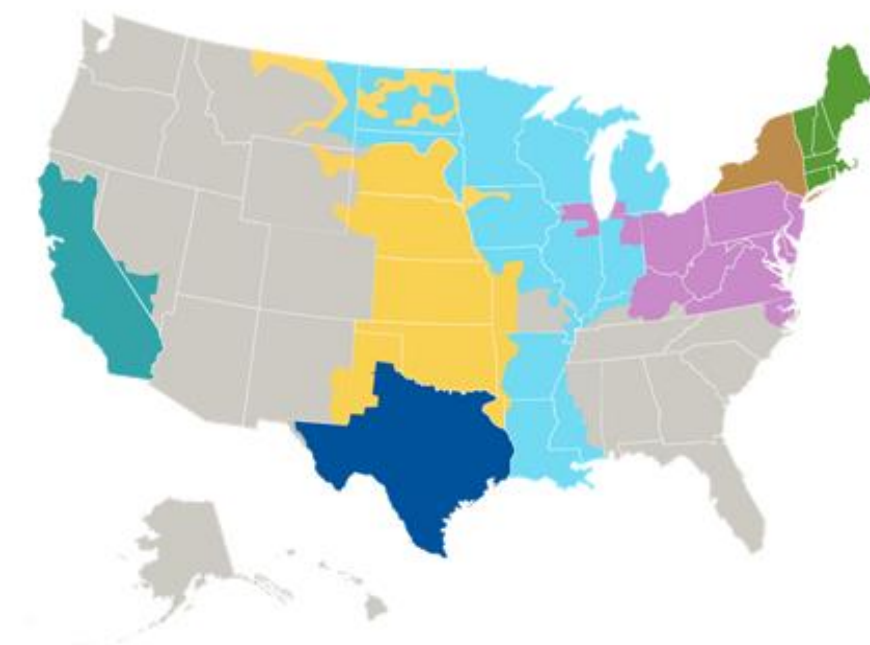
высокие затраты на сопутствующую инфраструктуру (землеотведение и необходимость наличия промышленных накопителей электроэнергии большой мощности);

малоэффективные системы управления потоками электроэнергии в системах распределенной генерации.

Высокая зависимость цен потребителей от оптовых цен на рынке характерна для стран с изолированными энергосистемами (или участками энергосистем). Показателен пример США, где оптовая цена на электроэнергию в штате Техас во время торгов увеличилась более чем в 100 раз относительно средневзвешенной цены [4, 5]. Причиной этого стало кратковременное, но значительное похолодание в феврале 2021 года, которое привело к отказу части электростанций и лавинообразному возрастанию спроса со стороны потребителей. На рис. 1 представлена карта США с нанесенными на ней областями действия оптовых рынков [5]. Видно, что Техас (синий цвет) обладает своим собственным (изолированным) рынком электроэнергии, а также и почти изолированной энергосистемой, но это не ограничивает для энергокомпаний возможность устанавливать цены.

Для РФ ситуация с наличием и функционированием оптовых рынков на отдельных территориях во многом определяется наличием линий электропередач между этими территориями и соседними регионами, а также присутствием в регионе конкурирующих производителей электроэнергии (рис. 2) [6]. В связи с высокой изолированностью

некоторых регионов или отсутствием альтернативных поставщиков цены формируются не на базе торгов, а местным регулирующим органом.



Source: Federal Energy Regulatory Commission

Рис. 1. Зоны функционирования независимых оптовых рынков электроэнергии на территории США (серый цвет – зоны без оптовых рынков)



Рис. 2. Оптовый рынок электроэнергии РФ

Как правило, в РФ отсутствует конкурентный рынок мощностей, если речь идет о величинах, превышающих мегаватты. Это связано со сложившейся еще во времена СССР концепцией единой энергосистемы (в рамках плана ГОЭЛРО). В связи с этим фактически существуют только компании, которые управляют централизованно созданными оптовыми рынками для торговли энергией (т.е. только МВт·ч в противовес сделкам по мощности, которые предназначены для транзакций только МВт). В совокупности эти сделки играют важную роль в эксплуатации и экономической оптимизации региональных сетей, а в конечном счете – в поставке электроэнергии потребителям по справедливой цене. Доля компаний, которые управляют рынками вспомогательных услуг, а также рынками мощности, предназначенными для обеспечения достаточности общих ресурсов электроэнергии для удовлетворения немедленного спроса на электроэнергию, невелика. Оптовая торговля электроэнергией осуществляется путем двусторонних сделок. Эти транзакции различаются по продолжительности контракта, а также по объему, ежедневным срокам и продолжительности доставки.

Оптовые рынки развивались по многим причинам – от требований к системам передачи энергии с открытым доступом, которые позволяют развивать конкурентоспособную генерацию электроэнергии, до необходимости более совершенной оценки ресурсов для обеспечения надежности системы при большом разнообразии сторонних действующих факторов. При этом многие технические проблемы надежности сети продолжают решаться на уровне местных энергокомпаний без учета возможностей и потребностей смежных сетей. Примером является авария на подстанции «Чагино» в Москве, произошедшая 25 мая 2005 года и повлекшая за собой отключение электроэнергии не только в Московской области, но и в ряде смежных областей.

Оптовая торговля электроэнергией осуществляется путем двусторонних сделок. Эти транзакции дифференцируются по продолжительности контракта, а также по объему и продолжительности доставки. Торговля различается по регионам в зависимости от отличительных характеристик региональных сетей. Объемы прямых договоров в рамках двусторонней торговли, как правило, намного больше, чем ежедневная торговля на краткосрочных рынках.

Последнее время на рынках появляются новые бизнес-модели – агрегаторы мощностей, выделенные генераторы у потребителей. Однако при этом не всегда проработаны юридические вопросы, а также плохо отрегулирована их роль на рынке продажи электроэнергии и мощности. Например, на уровне оптовой торговли электроэнергией регулирующие органы считают краткосрочные рынки практически конкурентоспособными, но в то же время высказываются опасения по поводу способности таких рынков решать долгосрочные проблемы, такие как обеспечение необходимой мощности по запросу. Попытки интеграции распределенной генерации и систем управления спросом в существующие управляемые оптовые рынки предпринимаются регулярно, но здесь часто возникают сложности, вызванные опасениями в невозможности предоставить стабильный уровень мощности в течение продолжительных периодов времени.

На региональном уровне и уровне распределительных энергокомпаний оптовые рынки электроэнергии, которые предназначены для предоставления новых услуг и снижения цен для потребителей, добились пока незначительных успехов, и уровень

потребительского спроса на эти услуги может стать значительным фактором изменений. Однако на уровне области многим существующим энергокомпаниям невыгодно создание конкурентного рынка электроэнергии, так как это может привести к снижению цен со стороны новых участников рынка, что повлечет отток потребителей и снижение прибыли.

Производство и доставка электроэнергии традиционно организовывались вокруг крупных централизованных электростанций и высоковольтных линий электропередачи. Электроэнергия доставляется на большие расстояния до того, как напряжение снижается, и проходит через распределительные системы для доставки потребителям. Эту систему называют магистральной. Организованные оптовые рынки структурированы таким образом, чтобы обеспечивать формирование средней оптовой цены на электроэнергию в энергосистеме. В тарифе поставки электроэнергии конечному потребителю эта средняя оптовая цена составляет от 50 до 70 %. Остальное – компенсация потерь при передаче потребителю и сбытовая надбавка. Тем не менее сбытовая надбавка в некоторых регионах демонстрирует признаки нерыночного регулирования, т.е. устанавливается местным регулирующим органом (например, региональной энергетической комиссией) исходя из сложившейся практики или по иным нерыночным соглашениям.

Инфраструктура передачи мощности на высоком напряжении имеет больше признаков сетевого регулирования, чем системы распределения. Сетевая инфраструктура повышает отказоустойчивость системы, позволяя операторам сети перенаправлять потоки электроэнергии, когда одна или несколько линий отключены по тем или иным причинам. Инфраструктура передачи уже в значительной степени автоматизирована (с помощью таких инструментов, как автоматизированное управление подстанциями и система SCADA) и требует все больших объемов информации. Новые инструменты, такие как высокодетализированные решения для визуализации систем, интеллектуальные реле и интеллектуальные инверторы, повышают отказоустойчивость сети. Хотя изменение погодных условий и интенсивность аномальных явлений имеют большое значение, структура большинства сетей электропередачи уже защищена от таких разрушительных факторов. Тем не менее даже для таких высокоавтоматизированных рынков с избыточным резервированием проблема надежности остается чрезвычайно актуальной.

Стоимость выработки альтернативной электроэнергии, несмотря на ее значительное снижение в последние годы, остается выше стоимости генерации на традиционных источниках. В то же время по причине своей мобильности в сочетании с непредсказуемостью по величине электроэнергия от альтернативных источников может временно становиться условно бесплатной на оптовом рынке. Это приводит к появлению выпадающих доходов у объектов классической энергетики, так как краткосрочные спотовые контракты заключаются именно с альтернативными источниками. Поэтому вопрос о возможности интегрировать увеличивающуюся ветровую и солнечную генерацию в энергорынок, позволяя при этом традиционным источникам генерации получать достаточный доход для продолжения предоставления необходимых услуг, требует детального изучения и регулирования посредством не только рыночных механизмов, но и нормативных документов [7].

Тем не менее одной из неустраняемых проблем управления оптовых рынков остается избыточная генерация, которая возникает, когда генерация «обязательна» и вызвана неуправляемыми источниками возобновляемой энергии, комбинированным производством тепла и электроэнергии, атомной генерацией, русловой гидроэнергетикой, и которая необходима для стабильности сети. При этом величина такой генерации оказывается больше, чем существующая подключенная нагрузка плюс экспорт в смежные сети. Основным средством смягчения последствий избыточной генерации во многих существующих системах является сокращение доли возобновляемых ресурсов в общей структуре ресурсов. В будущих системах может повыситься роль систем хранения электроэнергии, систем аварийного восстановления и повышения гибкости для управления избыточной генерацией. Кроме того, возобновляемым ресурсам характерны внезапные изменения структуры предложения (например, с заходом солнца или ухудшением погодных условий производство солнечной энергии прекращается, что требует быстрого наращивания компенсационного производства электроэнергии).

Изменяющаяся роль потребителя, которая стимулирует трансформацию распределения, также вызывает потребность в новых подходах и инструментах планирования распределения для эффективной интеграции распределенной генерации и управления спросом в электрических сетях, а также понимания выгод и затрат на разработку перспективных инвестиционных планов. Новые решения, такие как применение интеллектуальных инверторов для осуществления преобразования от накопителей энергии, ставят перед участниками рынка вопросы оценки экономичности таких решений перед развертыванием. Поскольку предпочтения и потребности потребителей меняются быстрее, чем темпы планирования энергосистемы, может иметь место несоответствие условий эксплуатации. Какие бы инвестиции ни планировались, вероятно, в течение срока реализации проекта может потребоваться пересмотр.

В ряде стран мира, а также в отдельных регионах РФ разрабатываются методы для интеграции распределенной генерации в энергосистему, и их роль возрастает. При этом в различных регионах распределенная генерация играет разную роль: в одних она используется для балансировки нагрузки, в других – для устранения дефицита мощности, в третьих – для замещения «классической» энергетики исходя из экологических, экономических или других факторов. Процессы планирования потребуют достаточной прозрачности, чтобы позволить всем заинтересованным сторонам, включая поставщиков услуг распределенной генерации, на равных участвовать в принятии долгосрочных решений по функционированию рынка. Необходимо будет разрабатывать договорные положения между электроснабжающими компаниями и поставщиками услуг распределенной генерации для обеспечения надежности и безопасности всего рынка электроэнергии региона, что предпочтительнее заключения кратковременных договоров.

Как правило, решения о надежности основываются на детерминированном двоичном решении: новое предприятие утверждается, если оно устраняет нарушение стандарта надежности. Напротив, экономические решения основаны на том, что ожидаемая стоимость объекта оценивается по ряду вероятных сценариев. Изменяющаяся топология системы электроснабжения, неопределенная нормативно-правовая база, децентрализованные рыночные решения и развивающиеся уязвимости вносят

экономические неопределенности и риски, связанные с надежностью, которые не могут быть адекватно оценены с помощью детерминированной бинарной структуры [8].

Методологии вероятностной оценки рисков предлагают основу для рассмотрения основных неопределенностей и рисков. Методы такой оценки при планировании передачи все еще находятся на стадии исследования и не получили широкого распространения. В настоящее время некоторые элементы этой методологии используются для моделирования топологических изменений, таких как вариации уровней возобновляемой генерации, изменение уровня нагрузки из-за погодных условий и выходной мощности распределенной генерации. Однако при этом существенными препятствиями на пути реализации подходов вероятностной оценки рисков при планировании передачи являются:

- традиция планирования по наихудшим сценариям с использованием детерминированного подхода (произойдет событие или не произойдет);

- отсутствие общепринятого в энергетической отрасли подхода к показателям надежности в рамках вероятностной оценки рисков;

- отсутствие стандартизации в сборе данных, а также доступности исторических данных о надежности элементов электросетей (есть общие сводные региональные данные, по которым невозможно оценить надежность отдельных элементов);

- отсутствие квалифицированных специалистов по оценке рисков применительно к энергетике;

- отсутствие эффективных и понятных инструментов моделирования электросетей с элементами разной степени надежности;

- отсутствие общедоступных коммерческих инструментов для оценки безопасности системы в рамках вероятностной оценки рисков.

Долгая история электроэнергетического сектора – это история управления непрерывными (хотя и медленными) изменениями при обеспечении высокого уровня надежности. Технологические возможности электроэнергетики постепенно обновляются по мере необходимости, но изменения, отмечаемые в отчетах исследователей [9, 10], привлекают внимание к усилиям по поддержанию высокой надежности, безопасности и устойчивости электроэнергетического сектора.

Преобразованная сеть 21-го века, вероятно, будет больше инвестировать в гибкость и отказоустойчивость для достижения того же желаемого результата, который является главной директивой сетевых операторов, а именно устойчивой надежности с высоким уровнем обслуживания. Способ управления сетью зависит от возможностей, заложенных в запас активов, которые составляют сквозную цепочку поставок, но для управления операционными потоками в реальном времени также требуются определенные системы и процессы для постоянного успеха. Сложность сетевых операций требует инструментов управления сетью, которые обеспечивают детальную видимость, и разработки определенных операционных алгоритмов, которые помогают операторам сетки оставаться в курсе изменений от секунды до секунды и от миллисекунды к миллисекунде. Наступила эра расширенных сетевых операций, выполняемых с помощью искусственного интеллекта. Однако это должно происходить в контексте, гарантирующем отражение кибератак, которые могут вывести сети из строя, и осуществляться через рыночные механизмы, чтобы помочь в оценке и обеспечении рентабельных результатов.

Государственные и федеральные регулирующие органы и лица, определяющие политику, играют ключевую роль в обеспечении целостности системы, безопасности и постоянного финансирования электроэнергетического сектора. Планирование, играющее главную роль в обеспечении долгосрочных запасов и целостности потоков, должно развиваться по мере развития самого сектора. Более надежное моделирование, улучшенный анализ рисков и лучшая реализация оптимизации на двустороннем интерфейсе потоков информации и энергии между потребителями и операторами сетей – важные улучшения, которые, вероятно, внесут значительный вклад в преобразование, обеспечат надежность и качество сегодняшних услуг.

Таково состояние управления электроэнергетической сетью в настоящее время. Происходят масштабные трансформации, необходимые для адаптации к новым проблемам безопасности, в сочетании с эволюционным процессом, вызванным инициативами перехода к «зеленой» энергетике и распределенной генерации, которая качественно меняет рынки предложения и спроса. Есть много способов облегчить трансформацию и помочь операторам сетей и другим заинтересованным сторонам адаптироваться к меняющейся физической и кибернетической «топографии» энергетического сектора. Энергетики только начинают отвечать на вопрос, как обеспечить поддержание высокой надежности электроэнергетического сектора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ACER Market Monitoring Report 2019 – Electricity Wholesale Markets Volume (рус. Отчет ACER о мониторинге рынка за 2019 г. – Объем оптовых рынков электроэнергии). URL: https://documents.acer.europa.eu/Official_documents/Acts_of_the_Agency/Publication/ACER%20Market%20Monitoring%20Report%202019%20-%20Electricity%20Wholesale%20Markets%20Volume.pdf (дата обращения: 04.03.2022).
2. Quarterly report on European electricity markets. Volume 14 (issue 3, covering third quarter of 2021). European Commission, 2022. URL: https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-01/Quarterly%20Report%20on%20European%20Electricity%20markets%20Q3%202021_v1.2_1.pdf. (дата обращения: 04.03.2022).
3. Wind energy in Europe 2021 Statistics and the outlook for 2022-2026 (рус. Ветроэнергетика в Европе 2021. Статистика и перспективы на 2022-2026 годы). Published in February 2022 WindEurope Business Intelligence. URL: <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2021-statistics-and-the-outlook-for-2022-2026/> (дата обращения: 04.03.2022).
4. Дегтярев А. Замерзающие жители Техаса начали получать счета за свет на тысячи долларов // *ВЗГЛЯД. Деловая газета*. URL: <https://vz.ru/news/2021/2/19/1085983.html> (дата обращения: 04.03.2022).
5. Бездействие властей спровоцировало гуманитарную катастрофу в замороженном Техасе // *РИА ФАН*. URL: <https://riafan.ru/1393247-bezdeistvie-vlastei-sprovocirovalo-gumanitarnuyu-katastrofu-v-zamorozhenom-tekhase> (дата обращения: 22.02.2022).
6. U.S. Electricity Grid & Markets (рус. Электрическая сеть и рынки США). URL: <https://www.epa.gov/green-power-markets/us-electricity-grid-markets> (дата обращения: 04.03.2022).
7. Оптовый рынок электрической энергии и мощности // *Ассоциация «Некоммерческое партнерство Совет рынка по организации эффективной системы оптовой и розничной*

торговли электрической энергией и мощностью». URL: <https://www.npsr.ru/ru/market/wholesale/index.htm> (дата обращения: 04.03.2022).

8. Смир В. Энергетика: мифы и реальность. Научный подход к анализу мировой энергетической политики. М.: АСТ-ПРЕСС КНИГА. 2012. 272 с.

9. Корнеев К.Б., Павлова Ю.М., Осеи-Овусу Р. Управление рисками и надежностью в системах электроснабжения // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. № 2 (10). 2021. С. 56–67.

10. Quadrennial energy review. Transforming the nation's electricity system: the second installment of the QER. (рус. Четырехлетний энергетический обзор. Преобразование системы электроснабжения страны: вторая часть QER). January 2017. URL: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/02/f34/Quadrennial%20Energy%20Review-Second%20Installment%20%28Full%20Report%29.pdf> (дата обращения: 04.03.2022).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

СТЕПАНОВ Александр Александрович – главный инженер АО «Тверьгорэлектро», 170008, Россия, г. Тверь, ул. Ротмистрова, 27. E-mail: gitge@mail.ru

ОСЕИ-ОВУСУ Раймонд – инженер, ООО «Электрическая компания Ганы», г. Аккра, Гана. E-mail: orajmond2008@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Степанов А.А., Осеи-Овусу Р. Перспективное планирование развития электроэнергетического сектора // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2022. № 2 (14). С. 57–66.

FORWARD PLANNING FOR THE DEVELOPMENT OF THE ELECTRICITY SECTOR

A.A. Stepanov¹, R. Osei-Ovusu²

¹*«Tvergorelektro» (Tver)*

²*Electricity Company of Ghana Ltd, Electro-Volta House (Accra, Ghana)*

Abstract. The article describes the global trends in the transition to distributed generation, which pose the task of forming a centralized management body to the energy markets of all countries. The actual tasks solved by such a body are listed. The assessment of the current situation that does not allow to provide consumers with minimum prices for electricity is given.

Keywords: electricity markets, forecasting, management, distributed generation, transformation.

REFERENCES

1. ACER Market Monitoring Report 2019 – Electricity Wholesale Markets Volume. Document version 1.2, 12/02/2021. URL: https://documents.acer.europa.eu/Official_documents/Acts_of_the_Agency/Publication/ACER%20Market%20Monitoring%20Report%202019%20-%20Electricity%20Wholesale%20Markets%20Volume.pdf (date of access: 04.03.2022).
2. Quarterly report on European electricity markets. Volume 14 (issue 3, covering third quarter of 2021). European Commission, 2022. URL: https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-01/Quarterly%20Report%20on%20European%20Electricity%20markets%20Q3%202021_v1.2_1.pdf (date of access: 04.03.2022).
3. Wind energy in Europe 2021 Statistics and the outlook for 2022–2026. Published in February 2022 WindEurope Business Intelligence. URL: <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2021-statistics-and-the-outlook-for-2022-2026>. (date of access: 04.03.2022).
4. Degtyarev A. Freezing Texas residents start getting thousands of dollars worth of electricity bills. *VZGLYAD. Delovaya gazeta*. URL: <https://vz.ru/news/2021/2/19/1085983.html> (date of access: 04.03.2022).
5. Inaction of the authorities provoked a humanitarian catastrophe in frozen Texas. RIA. URL: <https://riafan.ru/1393247-bezdeistvie-vlastei-sprovocirovalo-gumanitarnuyu-katastrofu-v-zamorozhenom-tekhashe> (date of access: 22.02.2022). (In Russian).
6. U.S. Electricity Grid & Markets. URL: <https://www.epa.gov/green-power-markets/us-electricity-grid-markets> (date of access: 04.03.2022).
7. Wholesale market of electric energy and power. URL: <https://www.npsr.ru/ru/market/wholesale/index.htm> (date of access: 04.03.2022). (In Russian).
8. Smil V. *Energetika: mify i real'nost'. Nauchnyj podhod k analizu mirovoj energeticheskoy politiki* [Energy: myths and reality. Scientific approach to the analysis of world energy policy]. Moscow: AST-PRESS KNIGA. 2012. 272 p.
9. Korneev K.B., Pavlova YU.M., Osei-Ovusu R. Risk and reliability management in power supply systems. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: «Stroitel'stvo. Elektrotekhnika i himicheskie tekhnologii»*. No. 2 (10). 2021. pp. 56–67. (In Russian).
10. Quadrennial energy review. Transforming the nation's electricity system: the second installment of the QER. January 2017. URL: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/02/f34/Quadrennial%20Energy%20Review-Second%20Installment%20%28Full%20Report%29.pdf> (date of access: 04.03.2022).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

STEPANOV Alexandr Alexandrovich – Chief Engineer of JSC «Tvergorelektro», 27, Rotmistrova st., Tver, 170008, Russia. E-mail: gitge@mail.ru

OSEI-OVUSU Raymond – Engineer, Electricity Company of Ghana Ltd, Accra, Ghana. E-mail: orajmond2008@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Stepanov A.A., Osei-Ovusu R. Forward planning for the development of the electricity sector // *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Series «Construction. Electrical engineering and chemical technologies»*. 2022. No. 2 (14), pp. 57–66.