



Energetik o'zgarish sharoitida elektr energetikasini rivojlantirish va boshqarishning innovatsion texnologiyalari

Olga V. Radionova^{1, a)}, Rashid A. Sitdikov^{1, a)}

^{1, a)} DSc, prof., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; tstu_energy@mail.ru <https://orcid.org/0009-0002-0761-0787>

¹ PhD, dots. Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; tstu_energy@mail.ru <https://orcid.org/0009-0009-3909-4888>

Dolzarbli: zamonaviy jahon elektr energetikasi o'zgarishlar va muqobil energiyaga o'tish bilan tavsiflanadi, bu esa uning dekarbonizatsiya, desentralizatsiya va raqamlashtirish bilan bog'liq innovatsion jarayonlarni o'z ichiga oladi. Energetik o'zgarish samaradorligi va elektr energetikasining keyingi rivojlanishiga ta'sir etuvchi turli yondashuvlar va tendensiyalar (metodologik, intellektual, setecentrik, tashkiliy va boshqalar) ning umumiy tahlilini o'tkazish zarurati tug'iladi. Maqolada taqsimlangan energetika tizimlarini muvaffaqiyatli boshqarish uchun zarur bo'lgan innovatsion intellektual yondashuvlar ko'rib chiqiladi va tahlil qilinadi. Qayta tiklanadigan energiya manbalariga ega bo'lgan taqsimlangan energetikani boshqarish yondashuvlarining qisqacha sharhi keltiriladi. Taqsimlangan energetikani setecentrik boshqarishni boshqaruvning geteraxik konsepsiyasi bilan birgalikda tahlil qilingan. O'zbekiston Respublikasi sharoitlari uchun energetik o'zgarish samaradorligini oshirish va elektr energetikasini keyingi rivojlantirish yondashuvlari taklif etiladi.

Maqsad: taqsimlangan, desentralizatsiya qilingan elektr-energetika tizimlarini boshqarishga ta'sir etuvchi tendensiyalarni aniqlash va taqsimlangan tuzilishga ega bo'lgan elektr tizimlarini boshqarishning setecentrik modelining samaradorligini tasdiqlash.

Usullari: taqsimlangan elektr-energetika tizimlarida energetik o'zgarish jarayonlariga tendensiyalarning ta'sirini xalqaro tajriba va taqqoslama tahlil orqali, shu jumladan intellektual, setecentrik usullardan foydalangan holda o'rganiladi.

Natijalar: energetik o'zgarish jarayonlariga va elektr energetikasida bozor munosabatlarini joriy etishga ta'sir etuvchi tendensiyalar ro'yxati tuzilgan va tizimlashtirilgan, setecentrik usul taqsimlangan elektr tarmoqlarini boshqarish uchun eng samarali ekanligi aniqlangan, chunki setecentrik yondashuvda axborot va energiya elementlarining tuzilmalari bir xil bo'lib, yagona energiya-axborot elementini hosil qiladi. Tahlil asosida O'zbekistonning energetik o'zgarish jarayonining samaradorligi uchun setecentrik boshqaruv usulini qo'llash bo'yicha tegishli takliflar berilgan.

Kalit so'zlar: elektr energetikasi, rivojlanish, elektr tarmoqlari, tendensiya, desentralizatsiya, taqsimlangan energetika, boshqaruv, setecentrik usullar.

Инновационные технологии развития и управления электроэнергетикой в условиях энергетического перехода

Ольга В. Радионова^{1, a)}, Рашид А. Ситдиқов^{1, a)}

^{1a)} DSc, проф., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; tstu_energy@mail.ru <https://orcid.org/0009-0002-0761-0787>

¹ PhD, доц. Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; tstu_energy@mail.ru <https://orcid.org/0009-0009-3909-4888>

Актуальность: современная мировая электроэнергетика характеризуется трансформацией и энергетическим переходом к альтернативной энергетике и сопровождается инновационными процессами, связанными с её декарбонизацией, децентрализацией и цифровизацией. Возникает необходимость анализа различных подходов и трендов (методических, интеллектуальных, сетевых, организационных и других), влияющих на эффективный энергетический переход и дальнейшее развитие электроэнергетики. В статье рассмотрены и анализируются инновационные интеллектуальные подходы, необходимые для успешного управления распределёнными энергетическими системами. Приводится краткий обзор подходов к управлению распределённой энергетикой с возобновляемыми источниками энергии. Проведен анализ сетевых методов управления децентрализованной энергетикой в сочетании с гетерархической концепцией управления. Предложены подходы к повышению эффективности энергетического перехода и дальнейшему развитию электроэнергетики для условий Республики Узбекистан.

Цель: определение трендов, влияющих на управление децентрализованными, распределёнными энергетическими системами, и подтверждение эффективности сетевых методов управления электрическими системами с распределённой структурой.

Методы: используются международный опыт и сравнительный анализ влияния трендов на процессы энергоперехода в распределённых электроэнергетических системах с использованием интеллектуальных, в том числе сетевых методов.

For citation: Radionova O.V., Sitdikov R.A. Innovative technologies of development and management of electric power industry in the conditions of energy transition. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, no. 3, pp. 1-9. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16925186>

Received: 07.07.2025
Revised: 22.07.2025
Accepted: 08.08.2025
Published: 23.08.2025

Copyright: © Olga V. Radionova, Rashid A. Sitdikov, 2025. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Результаты: составлен и систематизирован перечень трендов, влияющих на процессы энергетического перехода и внедрение рыночных отношений в электроэнергетике, установлено, что сетевый метод наиболее эффективен для управления распределёнными электрическими сетями, так как при сетевом подходе структуры информационных и энергетических элементов совпадают, и образуют единый энергоинформационный элемент. На основе анализа сделаны соответствующие предложения для эффективности процесса энергоперехода Узбекистана по применению сетевого метода управления.

Ключевые слова: электроэнергетика, развитие, электрические сети, тренд, децентрализация, распределённая энергетика, управление, сетевые методы.

Innovative technologies of development and management of electric power industry in the conditions of energy transition

Olga V. Radionova¹, Rashid A. Sitdikov^{1,a)}

^{1a)} DSc, prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; tstu_energy@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0002-0761-0787>

¹ PhD., Assoc., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; tstu_energy@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0009-3909-4888>

Relevance: the global power industry is undergoing transformation and an energy transition towards alternative energy, accompanied by innovations related to decarbonization, decentralization, and digitalization. There is a need for an overview of various approaches and trends (methodological, intelligent, network-centric, organizational, etc.) affecting the efficiency of the energy transition and the further development of the power industry.

Aim: to identify trends influencing the management of decentralized, distributed power systems and to confirm the effectiveness of the network-centric management model for electrical systems with a distributed structure.

Methods: International experience and comparative analysis of the influence of trends on energy transition processes in distributed power systems using intelligent, including network-centric, methods are used.

Results: the list of trends influencing energy transition processes and the implementation of market relations in the electricity sector has been compiled and systematized. It was established that the network-centric method is most effective for managing distributed electricity grids, as in this approach, the structures of information and energy elements coincide, forming a unified energy-information element. Based on the analysis, corresponding proposals have been made for the efficiency of Uzbekistan's energy transition process through the application of the network-centric management method.

Keywords: power industry, development, electrical networks, trend, decentralization, distributed energy, management, network-centric methods.

1. Введение (Introduction)

Мировой энергетический переход [1-4], развивающийся с начала XXI века, дал толчок процессу трансформации энергетики многих стран. Необходимость энергетического перехода связана с истощением запасов ископаемых видов топлива, экологическими и климатическими изменениями, интенсивным развитием зелёной энергетики, увеличивающимся энергопотреблением, внедрением цифровизации и интеллектуализации, углублением рыночных принципов в энергетике и т.д. Под энергетическим переходом понимается значительное структурное изменение в электроэнергетической системе (ЭЭС), когда в ходе энергоперехода увеличивается доля новых источников энергии, происходят процессы декарбонизации, децентрализации и цифровизации, вытеснение старых источников в общем объёме энергогенерации [5-7], приводящее к изменениям различных процессов в ЭЭС [8].

Распределённая энергетика является одним из основных элементов энергетического перехода, осуществляемого на базе альтернативных и возобновляемых источников энергии (ВИЭ), децентрализации, цифровизации, интеллектуализации ЭЭС, с активным вовлечением во все процессы потребителей энергоресурсов [9-11].

Новые технологии распределённой энергетики, такие как малая распределённая генерация, управление спросом, накопители, возобновляемые источники энергии и др., внедряются во всех государствах. Ожидается, что к 2026 году объём ввода мощностей распределённой генерации превысит объёмы ввода централизованной генерации в три раза. По оценке Международного энергетического агентства (МЭА), распределённая энергетика обеспечит к 2030 году до 75% новых подключений в ходе глобальной электрификации.

В электроэнергетике Узбекистана также регулируется и стимулируется энергопереход путём развития зелёной распределённой энергетики и рыночных принципов [2,12-14]. Распределённая энергетика успешно внедряется в практику перспективного планирования развития энергосистемы республики.



В таких условиях важно оценить объективные преимущества и потенциал развития распределенной энергетики, а также возможности ее использования для решения проблем энергетической независимости и безопасности. Развитие распределенной энергетики может стать базовым сценарием развития электроэнергетики республики. Для реализации сценария с максимальным потенциалом распределенной энергетики необходимо осуществить системные изменения в архитектуре электроэнергетики, её нормативно-правовом регулировании, и с учётом интересов новых типов субъектов энергорынка (просьюмеры, агрегаторы спроса и др.). Новая архитектура электроэнергетики может строиться на принципах децентрализации управления, интеллектуализации и свободного обмена энергией между субъектами энергорынка на основе технологий Интернета энергии.

Интеллектуализация ЭЭС в условиях децентрализации и эффективный подход к развитию распределенной энергетики позволят существенно снизить затраты на энергопереход и повысить дальнейшую эффективность электроэнергетики. Необходимо постепенное внедрение принципов и рыночных механизмов интеграции, существующей централизованной и развивающейся децентрализованной электроэнергетики для обеспечения надежности их совместного функционирования [15].

2. Методы и материалы (Methods and materials)

В условиях энергетического перехода от централизованной к распределённой энергетике, предъявления более жестких условий к надёжности, эффективности и экологической чистоте энергетической отрасли, возникает необходимость развития более совершенных систем управления электроэнергетикой. Это обусловлено также требованиями к устойчивости функционирования ЭЭС [4,10,16].

Распределённая генерация. Распределенная генерация (РГ) представляет собой энергетические объекты мощностью до 10 МВт, расположенные рядом с потребляющими объектами. Распределённая генерация является ответом на появление новых технологий, который изменил подход к развитию ЭЭС. Объединение большого количества объектов распределённой генерации в «умную сеть» обеспечивает высокую надежность и гибкость работы системы. В настоящее время малая распределенная энергетика является действенным инструментом снижения стоимости электроэнергии для предприятий малого и среднего бизнеса. Возможность работы оборудования малой распределённой энергетике на разных видах энергоресурсов позволяет устанавливать такие объекты на удалённых и изолированных территориях. Поэтому необходимо учитывать принципы глобальной декарбонизации, освоения и электрификации удалённых и изолированных территорий, увеличения доли ВИЭ в энергобалансах.

Большой интерес здесь представляют опубликованные Navigant Research результаты и прогноз, говорящий о трехкратном превышении объёмов ввода малых распределённых генерирующих мощностей (рассчитанных в МВт) над вводом в работу централизованных мощностей (рис.1).

Основные характеристики распределенной генерации зависят от таких аспектов: локализация и диверсификация типов РГ, их масштабируемость, надёжность, регулируемость режимов, энергоэффективность, а также степень цифровизации и интеллектуализации.

РГ обеспечивает преимущества: сокращение потерь при передаче; резервирование электроснабжения, балансирование мощности в пиковые периоды, повышение стабильности и надежности режимов сети. Распределенная генерация может обеспечить экологические преимущества за счёт использования ВИЭ, снизить затраты потребителей на электроэнергию, создать новые рабочие места в секторах возобновляемой энергетики.

Увеличение объёмов распределённой генерации ставит задачу учёта технологических особенностей её функционирования в составе ЭЭС. И один из острых вопросов, встающих перед энергетиками, — сохранение надёжности работы энергосистемы при интеграции в неё объектов распределённой генерации. Поэтому в центре внимания экспертов находятся вопросы интеллектуализации присоединения объектов распределённой генерации к сетям, оперативно-диспетчерского управления такими объектами, организации надёжного электроснабжения потребителей с использованием распределённой генерации. Существует множество интеллектуальных технологий, которые уже оказывают, а в ближайшем будущем окажут сильнейшее влияние на развитие электроэнергетики (облачные технологии, Интернет вещей, большие данные и др.) [4-6].



Рис.1. Объёмы ввода централизованных и систем РГ в мире в период 2017-2026 гг. (представлено компанией Navigant Research)

Fig. 1. Volumes of commissioning of centralized and DG systems in the world in the period 2017-2026 (presented by Navigant Research)

Технологии интеллектуальных сетей (smart grid). Термин «умная сеть» или «интеллектуальная сеть» (smart grid) относится к интеграции инновационных цифровых технологий в ЭЭС. Целью технологии интеллектуальных сетей является создание более эффективной и устойчивой энергетической системы, обеспечивающей надёжную двустороннюю связь между производителями энергии, потребителями и самой сетью. Одной из ключевых особенностей интеллектуальных сетей является использование датчиков и передовой измерительной инфраструктуры (AMI) для сбора данных об использовании и производстве энергии в режиме реального времени. Эти данные используются для оптимизации распределения энергии, сокращения простоев и повышения общей эффективности ЭЭС.

Если в определенном районе наблюдается внезапный рост энергопотребления, интеллектуальная энергосистема может быстро перенаправить энергию из других районов для удовлетворения спроса. Интеллектуальные сети могут дифференцировать и интегрировать в сеть ВИЭ, такие как солнечные и ветровые установки, что позволит использовать чистую энергию в больших масштабах (рис.2).

Технология интеллектуальных сетей также предоставляет потребителям новые возможности для активного участия в управлении энергопотреблением. В работе рассматривается сетевидный подход при управлении распределёнными сетями, когда энергетическая и информационная структуры составляют единое целое.



Рис.2. Интеллектуальная энергосистема (из источника ERPI [17])

Fig. 2. Smart energy system (from the source ERPI [17])

Основными интеграционными элементами технологических перемен являются автоматические и автоматизированные системы управления ЭЭС. Эти системы развиваются сегодня в рамках двух принципиально различных парадигм:

- централизованное иерархическое управление, которое часто называют Energy Management System (EMS).



- децентрализованное управление, основанное на самоорганизации и взаимодействии объектов энергосистемы — агентов; такие системы называют мультиагентными системами управления (МАС).

Децентрализованное управление и сетецентрический подход. Мультиагентные технологии являются инновационным подходом к управлению сложными системами, построенном на принципах самоорганизации. В такой системе решения по управлению принимают программные агенты на основе соответствующей внутренней и внешней информации. Автономность и активность программных агентов, на основе которых выстраиваются МАС, делают их актуальными и востребованными в электроэнергетике.

Использование распределенного мультиагентного управления энергосистемами разного масштаба предусмотрено в архитектуре Интернета энергии (IDEA), в рамках которого управление осуществляется за счет транзакций между агентами элементов системы (потребителями, просьюмерами и др.).

В гетерархических сетях взаимодействующие элементы равноправны в установленных на сети отношениях, в отличие от систем с иерархической структурой. То есть функционирование всех узлов подчиняется одним и тем же правилам взаимодействия с другими узлами.

Имеются две обычные ошибки, возникающие при трактовке парадигмы сетецентрического управления. Первая - полное отождествление сетецентризма только с чисто компьютерными технологиями. Вторая исходит из неверного понимания того, что сбор максимально полной информации для принятия решения является основным условием для внедрения сетецентрического подхода. На самом деле правильная точка зрения заключается в утверждении, что в основе сетецентризма лежит синергия [17,18].

Синергетический эффект проявляется в связанности всех элементов в гетерархических сетях и сетецентрическом подходе, когда взаимодействующие элементы равноправны в установленных на сети отношениях, что отличает их от иерархических систем. То есть функционирование всех узлов сети подчиняется одним и тем же правилам взаимодействия с другими узлами. Гетерархические сети имеют более простое описание, однако изучены гораздо хуже, чем системы с иерархией. Это связано, в том числе, с тем, что возникают вопросы обеспечения целевого поведения системы и управления ею, а также обеспечения самоуправления в такой системе. Поэтому сетецентрические методы управления имеют наибольший положительный эффект именно в распределённых сетях различных отраслей экономики, в том числе в распределённой электроэнергетике.

Проведённый анализ свидетельствует о целесообразности применения сетецентрического подхода при управлении распределёнными ЭЭС, который активно применяется в управлении различными системами и процессами, и подтверждает повышение их эффективности.

3. Результаты (Results)

Базовые тренды интеллектуализации энергоперехода. Глобальный энергопереход в мире и рост спроса на энергию (к 2035 г. ожидается рост глобального спроса на электроэнергию на 60% (в основном за счет развивающихся стран), диктуют соответствующую динамику развития энергетики в мире и отдельных странах. Имеются общемировые драйверы энергоперехода, связанные с четвёртой промышленной революцией [19], экологией и изменениями климата, а также провозглашённой одной из глобальных целей устойчивого развития (ЦУР) всеобщей доступности к электроэнергии и другими трендами развития энергетики.

В каждой стране, в силу её экономических, географических и других особенностей, возможности энергоперехода осуществляются по-разному. В табл.1 приводится составленный авторами перечень ключевых драйверов мирового энергоперехода, которые присущи электроэнергетике многих стран, в том числе Республики Узбекистан.

Все тренды взаимозависимы и взаимоинтегрированы, хотя и в разной степени. Корреляция некоторых трендов очень велика, поэтому их структуры, используемые методы, а также процессы, происходящие в них, должны быть скоординированы и гармонизированы. Некоторые тренды могут быть реализованы в сотрудничестве и кооперации с другими странами или международными организациями. Из базовых, основных трендов необходимо отметить следующие: рост численности населения, истощение природных ресурсов, экологические проблемы и развитие новых технологий.



Таблица 1. Ключевые драйверы энергоперехода электроэнергетики
Table 1. Key drivers of the energy transition in the electric power industry

№	Базовые тренды	Действующие компоненты
1	Рост глобального спроса на энергию, энергетический переход, глобализация энергетики и развитие интернета энергии; достижение целей устойчивого развития (ЦУР), истощение природных ресурсов, глобальные изменения климата	<ul style="list-style-type: none"> • Переход к зелёной энергетике, государственное регулирование энергоперехода • Рост населения, истощение энергоресурсов • Внедрение рыночных концепций • Развитие ядерной энергетики • Интернационализация энергетики • Глобальная декарбонизация • Экология и изменения климата
2	Изменение архитектуры рынка электроэнергетики	<ul style="list-style-type: none"> • Увеличение доли ВИЭ в энергобалансе • Новые рынки и бизнес модели • Внедрение методов управления спросом • ГЧП и различные инвестиции в отрасль • Международное сотрудничество • Разработка и внедрение новых стандартов
3	Децентрализация и развитие распределённой генерации	<ul style="list-style-type: none"> • Децентрализация управления • Виртуальные электростанции • Снижение стоимости малой генерации • Когенерация, тригенерация • Эффективные накопители энергии • Освоение удалённых территорий
4	Цифровизация и интеллектуализация инфраструктуры электроэнергетики	<ul style="list-style-type: none"> • Технологии больших данных и IoT • Внедрение киберфизических устройств • Сетецентрическое управление • Самовосстановление и самодиагностика • Цифровой инжиниринг и реинжиниринг • Технология цифровых двойников • Цифровизация других сфер экономики • Кибербезопасность
5	Изменение моделей поведения потребителей	<ul style="list-style-type: none"> • Рост спроса на электроэнергию • Внедрение рыночных отношений • Спрос на надёжное электроснабжение • Просьюмеризм, ВИЭ и энергосбережение • Открытые данные и сервисы • Внедрение технологий энергосбережения. • Подготовка специалистов • Развитие ГЧП и энергосервиса (кооперативы)
6	Прогресс в развитии технологий и научных исследованиях	<ul style="list-style-type: none"> • Новые энергетические технологии. • Ядерная энергетика • Водородная энергетика • Развитие универсальных каналов связи • Развитие Интернета и его приложений • Виртуальные электростанции и Smart Grid • Облачные технологии • Робототехника и нанотехнологии • Виртуальная валюта • Блокчейн технологии • Развитие нейросетевых моделей • Многокритериальная оптимизация • Усиление синергетических эффектов

4. Обсуждение (Discussion)

Энергопереход в Республике Узбекистан. В стране осуществляется глубокая трансформация энергетического сектора: происходит энергопереход на ВИЭ и рыночные отношения [12-14, 20-24]. При этом процессы глобализации, рост численности населения, бурное экономическое развитие, требования энергетической безопасности и климатические инициативы формируют новые вызовы процессу трансформации энергетики страны, становятся ключевыми драйверами энергоперехода и развития электроэнергетики.

Увеличение численности населения и развитие промышленности вызывают в стране устой-



чивый рост потребления энергии, который требует увеличения объёмов производства энергии и энергоносителей. Повышение уровня жизни населения республики также ведёт к росту электропотребления.

Узбекистан подписал Парижское соглашение по климату, поэтому будет его выполнять, уменьшая выбросы CO₂, что накладывает определённые ограничения на использование угля и природного газа [22]. Эти и другие обстоятельства (дефицит водных ресурсов, проблемы Арала, освоение плато Устюрт и т.д.) диктуют необходимость децентрализации электроэнергетики путём использования распределённой малой энергетики, возобновляемых и альтернативных источников энергии (атомной энергетики, виртуальных электростанций, микросетей с ВИЭ).

Процессы энергоперехода должны поддерживаться соответствующими научными исследованиями, ростом государственно-частного партнёрства (ГЧП), развитием и ростом энергетических кооперативов, подготовкой квалифицированных специалистов, а также интеллектуализацией отрасли, основные инновационные составляющие которой были приведены выше в табл.1. Особое внимание следует обратить на сетевый подход к управлению распределёнными ЭЭС.

Республика обладает всеми возможностями для решения стратегической задачи успешного, эффективного и своевременного энергоперехода к новой электроэнергетике.

5. Заключение (Conclusion)

На основе материала статьи можно сделать следующие основные выводы.

1. Проведённый анализ подтверждает актуальность и необходимость исследований проблем энергетического перехода, активно влияющих на дальнейшее развитие электроэнергетики с целью определения эффективных решений.

2. Изложены задачи, которые можно и необходимо решить на основе интеллектуализации в условиях децентрализации и перехода к распределённой электроэнергетике.

3. На основе анализа задач и основных трендов энергетического перехода систематизированы драйверы эффективной трансформации электроэнергетики.

4. Сетевая система управления обладает гетерархической структурой, аналогичной распределённой ЭЭС, поэтому информационные и силовые элементы легко объединяются в единый энергоинформационный элемент. Это повышает эффективность сетевого взаимодействия всех компонентов системы и ведёт к синергетическому эффекту - повышению показателей оперативности и точности управления процессами в ЭЭС.

5. Необходим постепенный переход от иерархической к гетерархической структуре управления ЭЭС на основе сетевого принципа построения.

ЛИТЕРАТУРА

1. World Energy Council. 2014. Global Energy Transitions. Дата обращения: 16 октября 2021. Архивировано 14 декабря 2017 года.

2. Аллаев К.Р. Электроэнергетика Узбекистана и мира. –Ташкент: Фан ва технология. 2009. - 463 с.

3. Мировые запасы природных ресурсов: на сколько лет Земле хватит полезных ископаемых? [Электронный ресурс]: URL: <https://lindeal.com/trends/mirovye-zapasy-prirodnikh-resursova-na-skolko-let-zemle-khvatit-poleznykh-iskopaemykh> (дата обращения: 21.05.2023).

4. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы её развития /под ред. Салимова А.У. – Т.: Fan va texnologiyalar nashriyot-manbaa uyi, 2021. – 952 с.

5. Bauen A., Hawkes A. Decentralised generation – technologies and market perspectives. IEA, Paris, 2004. 18 p.

6. Decentralised generation technologies: potentials, success factors and impacts in the liberalized EU energy markets. Final report, DECENT. October 2002. 234 p.

7. World survey of decentralized energy 2005. WADE, Edinburgh, 2004. 45 p. – [Http://www.localpower.org/documents_pub/report_worldsurvey05.pdf](http://www.localpower.org/documents_pub/report_worldsurvey05.pdf).

8. Radionova O.V., Sitdikov R.A. Demand response in the modern power systems. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, № 1, pp. 17-23.

9. Hansen C.J., Bower J. An economic evaluation of small-scale distributed electricity generation technologies. Oxford Institute for Energy Studies&Dept. of Geography, Oxford University, 2004. 59p.

10. Васильев В.В., Бушуев В.В., Кобец Б.Б., Лизалек Н.Н. Интеллектуальное развитие электроэнергетики с участием «активного потребителя» // Энергетическая политика. 2013. 84 с. Приложение.

11. Инновационная электроэнергетика – 21 / Под ред. В.М. Батенина, В.В. Бушуева, Н.И. Воропая. М., 2017. 584 с.



12. Закон Республики Узбекистан № ЗРУ-939 «Об электроэнергетике» от 07.08.2024 г.
13. Закон Республики Узбекистан № ЗРУ-940 "Об экономии энергии, ее рациональном использовании и повышении энергоэффективности" от 07.08.2024 г.
14. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан № 204 «О дополнительных мерах по внедрению рыночных механизмов в топливно-энергетической сфере» от 16.04.2024 г.
15. Бухгольц Б.М. Smart Grids – основы и технологии энергосистем будущего / Б.М. Бухгольц, З.А. Стычински; пер. с англ. – М.: Издательский дом МЭИ, 2017. – 461 с.
16. Насиров Т.Х., Ситдиқов Р.А. и др. Методы повышения эффективности режимов электрических сетей энергосистем. –Т.: Инновацион ривожланиш нашриёт-матбаа уйи, 2020. 276 с.
17. Трахтенгерц Э.А., Пашенко Ф. Ф. Сетевые методы управления в крупномасштабных сетях. М.: ЛЕНАНД, 2016. 200 с.
18. Иванов А.В., Кучеров Ю.Н., Корев Д.А., Самков В.М. Развитие стандартизации интеллектуальных систем электроснабжения будущего // Энергия единой сети. № 3 (38), 2018.
19. Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: Экс- мо, 2017.
20. Указ Президента РУз № УП-6079 от 05.10.2020 «Об утверждении стратегии "Цифровой Узбекистан-2030" и мерах по её эффективной реализации».
21. Указ Президента Республики Узбекистан, О стратегии «Узбекистан - 2030». № УП-158 от 11.09.2023 г.
22. Концепция обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020-2030 годы.
23. Указ Президента Республики Узбекистан «О государственной программе по реализации стратегии «Узбекистан — 2030» в «Год охраны окружающей среды и «зеленой экономики»» № УП-16.от 30.01.2025 г.
24. Sitdikov R.A. About microgrids and virtual power plants. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2024, No. 4, pp. 99-105.

REFERENCES

1. World Energy Council. 2014. Global Energy Transitions. Accessed: 16 October 2021. Archived from the original on 14 December 2017.
2. Allaev K.R. Electric Power Industry of Uzbekistan and the World. - Tashkent: Fan va technology. 2009. - 463 p. (In Russ).
3. World reserves of natural resources: for how many years will the Earth have enough minerals? [Electronic resource]: URL: <https://lindeal.com/trends/mirovye-zapasy-prirodnikh-resursozna-skolkollet-zemle-khvatit-poleznykh-iskopaemykh> (accessed: 21.05.2023).
4. Allaev K.R. Modern energy and prospects for its development / edited by Salimov A.U. – Т.: Fan va texnologiyalar nashriyot-manbaa uyi, 2021. – 952 p. (In Russ).
5. Bauen A., Hawkes A. Decentralized generation – technologies and market perspectives. IEA, Paris, 2004. 18 p.
6. Decentralized generation technologies: potentials, success factors and impacts in the liberalized EU energy markets. Final report, DECENT. October 2002. 234 p.
7. World survey of decentralized energy 2005. WADE, Edinburgh, 2004. 45 p. – [Http://www.localpower.org/documents_pub/report_worldsurvey05.pdf](http://www.localpower.org/documents_pub/report_worldsurvey05.pdf).
8. Radionova O.V., Sitdikov R.A. Demand response in the modern power systems. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, No. 1, pp. 17-23.
9. Hansen C.J., Bower J. An economic evaluation of small-scale distributed electricity generation technologies. Oxford Institute for Energy Studies&Dept. of Geography, Oxford University, 2004. 59p.
10. Vasiliev V.V., Bushuev V.V., Kobets B.B., Lizalek N.N. Intellectual development of the electric power industry with the participation of the “active consumer” // Energy policy. 2013. 84 p. Appendix. (In Russ).
11. Innovative electric power industry - 21 / Ed. V.M. Batenin, V.V. Bushuev, N.I. Voropay. Moscow, 2017. 584 p. (In Russ).
12. Law of the Republic of Uzbekistan No. ZRU-939 "On Electric Power Industry" dated 07.08.2024. (In Russ).
13. Law of the Republic of Uzbekistan No. ZRU-940 "On Energy Saving, Its Rational Use and Improving Energy Efficiency" dated 07.08.2024. (In Russ).
14. Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan No. 204 "On Additional Measures for the Implementation of Market Mechanisms in the Fuel and Energy Sector" dated 16.04.2024. (In Russ).
15. Bukhgoalts B.M. Smart Grids - Fundamentals and Technologies of Energy Systems of the Future / B.M. Bukhgoalts, Z.A. Stychinsky; - M. MPEI Publishing House, 2017. - 461 p.



16. Nasirov T.Kh., Sitdikov R.A. and others. Methods for increasing the efficiency of modes of electrical networks of power systems. –T.: Innovation rivozhlanish nashriyot-matbaa uyi, 2020. -276 p. (In Russ).
17. Trakhtengerts E.A., Pashchenko F.F. Network-centric control methods in large-scale networks. M.: LENAND, 2016. 200 p. (In Russ).
18. Ivanov A.V., Kucherov Yu.N., Korev D.A., Samkov V.M. Development of standardization of intelligent power supply systems of the future // Energy of the unified network. No. 3 (38), 2018. (In Russ).
19. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. M.: Eks-mo, 2017.
20. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. UP-6079 dated 05.10.2020 "On approval of the strategy "Digital Uzbekistan-2030" and measures for its effective implementation." (In Russ).
21. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan, On the strategy "Uzbekistan - 2030". No. UP-158 dated 11.09.2023. (In Russ).
22. Concept of providing the Republic of Uzbekistan with electric energy for 2020-2030. (In Russ).
23. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan "On the state program for the implementation of the strategy" Uzbekistan - 2030 "in the "Year of Environmental Protection and" Green Economy "" No. UP-16 dated 30.01.2025. (In Russ).
24. Sitdikov R.A. About microgrids and virtual power plants. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2024, no. 4, pp. 99-105. (In Russ).