

(50,3 г/м<sup>2</sup> d)-1) в среднем. Высокая паропроницаемость казеиновой краски указывает на то, что казеиновая краска не оказывает влияния на сорбционную способность основания (раствора или штукатурки) или диффузию через бордюры. Значения яичной темперы (3,030–4,980 \* 10<sup>-12</sup> кг (м<sup>2</sup> сПа)-1) и льняное масло (558-1,300 \* 10<sup>-12</sup> кг (м<sup>2</sup> сПа)-1) для однослойной краски могут быть учтены при проектировании бордюра и оказывать влияние на процессы диффузии и сорбции, поскольку что ж. В зависимости от конструктивного решения в зависимости от границ помещения или желаемых климатических условий в помещении может быть полезно выбрать покрытие с высокой или низкой паропроницаемостью.

УДК 620.92  
МРНТИ 44.29.01

DOI 10.52578/2305-9397-2024-4-2-279-285

**Земцов А.И.**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий», **основной автор**, <https://orcid.org/0000-0002-6358-2437>  
Филиал Самарского государственного технического университета, г. Сызрань, ул. Советская, дом 45, 446001, Российская Федерация, [artex283@mail.ru](mailto:artex283@mail.ru)  
**Ербаев Е.Т.**, PhD доктор, <https://orcid.org/0000-0002-3186-9994>  
НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», ул. Жангир хана 51, г. Уральск, 090009, Республика Казахстан, [erbol.erbaev@mail.ru](mailto:erbol.erbaev@mail.ru)  
**Куптлеуова К.Т.**, старший преподаватель, <https://orcid.org/0000-0001-9631-2831>  
НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», ул. Жангир хана 51, г. Уральск, ,090009, Республика Казахстан, [kenzhe73-73@mail.ru](mailto:kenzhe73-73@mail.ru)  
**Джапарова Д. А.**, кандидат технических наук, <https://orcid.org/0000-0001-7023-7300>  
НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», г. Уральск, ул. Жангир хана 51, 090009, Казахстан, [dinara\\_jra@mail.ru](mailto:dinara_jra@mail.ru)  
**Редюшев В.Г.**, магистрант, <https://orcid.org/0009-0000-3135-7158>  
НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», ул. Жангир хана 51, г. Уральск, 090009, Республика Казахстан, [vladimir547murunov@mail.ru](mailto:vladimir547murunov@mail.ru)

**Zemtsov A.I.**, PhD (technical sciences), associate professor, head of department 'Electrical power supply of industrial enterprises', **the main author**, <https://orcid.org/0000-0002-6358-2437>  
Branch of Samara State Technical University, Syzran, Sovetskaya str., 45, 446001, Russian Federation, [artex283@mail.ru](mailto:artex283@mail.ru)  
**Yerbayev Ye.T.**, PhD Doctor, <https://orcid.org/0000-0002-3186-9994>  
NJSC «West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan», Zhangir khan str., 51, Uralsk, 090009, Republic of Kazakhstan, [erbol.erbaev@mail.ru](mailto:erbol.erbaev@mail.ru)  
**Kuptleuova K.T.**, senior lecturer, <https://orcid.org/0000-0001-9631-2831>  
NJSC «West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan», Zhangir khan str., 51, Uralsk, 090009, Republic of Kazakhstan, [kenzhe73-73@mail.ru](mailto:kenzhe73-73@mail.ru)  
**Japarova D. A.**, candidate of technical sciences, <https://orcid.org/0000-0001-7023-7300>  
NJSC «West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan», Zhangir khan str., 51, Uralsk, 090009, Republic of Kazakhstan, [dinara\\_jra@mail.ru](mailto:dinara_jra@mail.ru)  
**Redyushev V.G.**, Master's student, <https://orcid.org/0009-0000-3135-7158>  
NJSC «West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan», Zhangir khan str., 51, Uralsk, 090009, Republic of Kazakhstan, [vladimir547murunov@mail.ru](mailto:vladimir547murunov@mail.ru)

**ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ  
ЭНЕРГИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМУ  
PROBLEMS OF INTEGRATING RENEWABLE ENERGY SOURCES  
INTO THE ENERGY SYSTEM**

**Аннотация**

В статье рассматриваются проблемы интеграции возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в современную энергосистему. Рост доли ВИЭ, таких как солнечные и ветровые

электростанции, сопровождается техническими и операционными вызовами, включая нестабильность генерации, необходимость балансировки нагрузки и обеспечения стабильности сети. В работе анализируются ключевые технологии, способствующие успешной интеграции ВИЭ, среди которых: умные сети (Smart Grids) с применением глубокого машинного обучения, системы накопления электроэнергии (СНЭ) и интеллектуальные инверторы. Развитие умных сетей, накопителей энергии и интеллектуальных инверторов — это важные шаги к построению устойчивой и гибкой энергосистемы будущего, которая сможет адаптироваться к изменяющимся условиям и поддерживать стабильность электроснабжения. Внедрение этих технологий не только способствует повышению надёжности энергосистемы, но и способствует ускорению энергетического перехода к низкоуглеродной экономике. Представлены примеры применения современных решений для стабилизации энергосистемы и повышения её гибкости при высокой доле ВИЭ в генерации.

#### ANNOTATION

The article discusses the problems of integrating renewable energy sources (RES) into the modern energy system. The growing share of renewable energy sources, such as solar and wind power plants, is accompanied by technical and operational challenges, including generation instability, the need for load balancing and ensuring network stability. The paper analyzes the key technologies contributing to the successful integration of renewable energy sources, including: smart grids using deep machine learning, energy storage systems (SNES) and intelligent inverters. The development of smart grids, energy storage and intelligent inverters are important steps towards building a sustainable and flexible energy system of the future that will be able to adapt to changing conditions and maintain the stability of electricity supply. The introduction of these technologies not only contributes to improving the reliability of the energy system, but also helps accelerate the energy transition to a low-carbon economy. Examples of the application of modern solutions to stabilize the energy system and increase its flexibility with a high share of renewable energy in generation are presented.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, интеграция ВИЭ, умные сети, системы накопления энергии, интеллектуальные инверторы, балансировка нагрузки, энергетическая стабильность.

**Key words:** renewable energy sources, renewable energy integration, smart grids, energy storage systems, intelligent inverters, load balancing, energy stability.

**Введение.** Быстрая индустриализация, урбанизация и рост населения создали беспрецедентную нагрузку на энергетические ресурсы, что привело к опасениям по поводу энергетической безопасности. Глобальное потребление энергии находится на устойчивой восходящей траектории, и Международное энергетическое агентство (МЭА) прогнозирует увеличение спроса на энергию на 27% к 2040 году. На фоне поразительной статистики страны по всему миру борются с постоянно растущим спросом на электроэнергию, сокращающимися запасами ископаемого топлива и необходимостью борьбы с изменением климата. Ожидается, что к 2050 году доля выбросов углерода, приходящаяся на энергетическую систему, вырастет с нынешних 10% до прогнозируемых 27% [1].

В связи с этими факторами в последние десятилетия использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) стало важным направлением в мировой энергетике, обусловленным необходимостью снижения зависимости от ископаемых ресурсов и сокращения выбросов парниковых газов. Солнечные и ветровые электростанции играют ключевую роль в этом переходе, занимая лидирующие позиции по выработке электроэнергии среди других ВИЭ.

По данным МЭА в 2023 году возобновляемые источники энергии составляют 87% мирового прироста энерго мощностей. При этом на долю СЭС и ВЭС приходится около 30% мирового производства электроэнергии. Также утверждается, что к 2030 году, при сохранении текущих политик, доля возобновляемых источников в мировом производстве электроэнергии может приблизиться к 50% [1].

Однако процесс интеграции сопряжен со своими трудностями, вносимыми ВИЭ в энергосистему в зависимости от величины их доли генерации электроэнергии. Так согласно работе МЭА «Getting Wind and Sun on to the Grid», опубликованной в 2017 году, процесс

интеграции ВИЭ в энергосистему можно условно разделить на данный момент на четыре этапа, дифференцированные по возрастающему воздействию растущей доли генерации ВИЭ на энергосистему [2].

**Материалы и методы исследования.** На первом этапе, когда доля ВИЭ в годовой выработке не превышает 3%, влияние ВИЭ на энергосистему является минимальным. В большинстве случаев специальные меры для их интеграции не требуются, если только генерация ВИЭ не сосредоточена локально в отдельных частях сети. В этом случае возможны локальные перенапряжения и дисбалансы мощности, однако они легко компенсируются стандартными методами управления энергосистемой.

На втором этапе при доле генерации от ВИЭ составляет 3-15%, влияние на систему становится значительным. На данном этапе необходима адаптация существующих механизмов регулирования и управления энергосистемой. Основные задачи на этом этапе включают повышение гибкости работы энергосистемы, корректировку режима работы классических источников генерации и улучшение прогнозирования выработки ВИЭ.

Третий этап - доля ВИЭ составляет 15-50%. Здесь на первое место выходит гибкость энергосистемы — её способность реагировать на неопределенность и изменчивость баланса спроса и предложения. Внедрение новых инструментов и технологий становится необходимым условием для поддержания стабильности энергосистемы.

Четвертый этап — для ВИЭ составляет более 50%. На этом этапе энергосистема переходит в категорию с доминирующей долей ВИЭ. Данный этап требует значительной перестройки архитектуры энергосистемы и стандартизации технических требований для нового оборудования. Оборудование ВИЭ должно соответствовать единым техническим требованиям, чтобы обеспечить совместимость и управляемость энергосистемы. Требуется максимальная автоматизация процессов управления генерацией и потреблением. Важную роль в гибкости энергосистемы играют мощные накопители энергии, способные компенсировать перерывы в генерации.

Казахстан, следуя мировым курсам по повышению энергоэффективности и снижению углеродоемкости производства, ежегодно увеличивает мощности ВИЭ. По итогам 2023 года объем электроэнергии (по данным НДЦ СО), выработанный объектами ВИЭ, составил 6,7 млрд кВт×ч (ВЭС — 3 805,6 млн кВт×ч; СЭС — 1 881,7 млн кВт×ч; ГЭС — 1 028,2 млн кВт×ч; БиоЭС — 1,4 млн кВт×ч) или 6,0% из общего объема производства электрической энергии, что составляет 25,3% увеличения по сравнению с 2022 годом [2-3]. В рамках стратегии "Казахстан-2050" планируется повысить долю ВИЭ в энергосистеме до 50%.

Интеграция такого количества ВИЭ в энергосистему сопряжена с множеством технических вызовов. Главным недостатком ВИЭ является нестабильность выработки электрической энергии. Генерация электроэнергии зависит от природных факторов (солнечное излучение, скорость ветра), которые изменяются в течение дня и сезона. Это приводит к резким колебаниям выработки энергии, которые сложно предсказать с высокой точностью. Колебания мощности приводят к возникновению дисбаланса между производством и потреблением электроэнергии, что может вызвать скачки напряжения и частоты в сети. Также интеграция крупных ветровых или солнечных ферм в сеть создаёт обратный поток электроэнергии от распределительных сетей в магистральные сети, что приводит к ограничению пропускной способности линий электропередач.

Для достижения целей по переходу на возобновляемые источники энергии необходим системный подход и внедрения передовых технологий, которые позволят обеспечить надёжность и устойчивость энергосистемы в условиях роста доли возобновляемой генерации. К таким технологиям, которые необходимы для интеграции ВИЭ с долей генерации более 50% можно отнести использование интеллектуальных систем прогнозирования, накопителей энергии и интеллектуальных инверторов [4].

1. Умные сети (Smart Grids) с применением глубокого машинного обучения.

Предполагает внедрение искусственного интеллекта в интеллектуальные сети для повышения эффективности их работы. Нейронные сети позволят оптимизировать энергопотребление, более точно прогнозировать спрос на электроэнергию, управлять ее потоками, эффективно интегрировать ВИЭ в централизованную энергосистему.

Нейронные сети могут обрабатывать большие объем данных в режиме реального времени, что позволяет с высокой точностью предсказать будущий спрос на электроэнергию. Это позволит эффективнее управлять ресурсами, снизить потери электрической энергии, подготовить резервные маневренные мощности к пиковым нагрузкам на сеть.

Для этих задач подходят рекуррентные нейронные сети (RNN) с архитектурой длинной краткосрочной памятью (LSTM) и вентилируемыми рекуррентными блоками (GRU), благодаря их способности фиксировать долговременные зависимости в данных временных рядах. Например, они могут анализировать данные потребления городской электросети с целью прогнозирования почасового энергопотребления электроэнергии [5].

Нейронные сети также могут помочь решить проблему интеграции ВИЭ в централизованную энергосистему. ИИ может прогнозировать мощность установок ВИЭ на основе метеорологических данных (солнечной инсоляции, угла падения солнечных лучей, скорости и направления воздушных потоков) и спланировать хранение и распределение выработанной энергии [6].

Одним из примеров применения данных технологий можно отнести проект GridLAB-D. Это программное обеспечение с открытым исходным кодом, разработанное при поддержке Министерством энергетики США для моделирования, анализа и управления электрическими распределительными сетями. Позволяет моделировать подключение ВИЭ к распределительным сетям, оценивая их влияние на стабильность и надежность системы. Например, можно оценить, как распределенные солнечные панели влияют на напряжение в сети в течение суток. Также платформа используется для анализа работы умных счетчиков, интеллектуальных систем управления нагрузкой, автоматизации сетей и других компонентов Smart Grid; позволяет моделировать поведение потребителей и прогнозировать энергопотребление в различных условиях, включая сценарии использования энергосберегающих технологий и динамического ценообразования.

## 2. Системы накопления электроэнергии.

Одним из решений проблемы интеграции ВИЭ в энергосистему является внедрение систем накопления электроэнергии (СНЭ), что позволит повысить стабильность и гибкость энергосистемы путем сглаживания пиков потребления и снижения нагрузки на сеть. При этом накопители не только способны улучшить процесс интеграции самих ВИЭ, но также оказывают влияние на режим работы энергосистемы, способны быстро устранить аварийную ситуацию, возникающую в энергосистеме. Эффективность заключается в том, что аккумуляторные батареи могут почти мгновенно покрыть спрос на электроэнергию. Она будет накапливать электроэнергию в периоды максимальной генерации и минимума нагрузки (электроэнергия дешевая) и отдавать в сеть в часы максимума (электроэнергия дорогая). В то время как, например, газовая электростанция, работающая в режиме горячего резерва, продолжает сжигать топливо для нагрева воды и выработки пара, необходимого для поддержания готовности турбин к немедленному включению. Однако при этом электроэнергия в сеть не подается.

Таким образом, в современных условиях резервирование мощности должно базироваться не на традиционных подходах, применяемых на электростанциях, а на развитии инфраструктуры накопителей энергии. Это позволит обеспечить стабильность энергосистемы при одновременном снижении эксплуатационных затрат и повышении экономической эффективности [7].

В зависимости от типа хранения в настоящее время имеется множество способов аккумулирования энергии – электрохимическое, гидро-, пневмо-воздушное аккумулирование, суперконденсаторы, проточные, тепловые, гравитационные накопители [8].

Наиболее распространенным способом промышленного хранения электроэнергии являются гидроаккумулирующие электрические станции. В настоящий момент на них приходится 98% аккумулирования мировой мощности. Их преимущество в способности запасать большие объемы энергии, высокой маневренности и долгим сроком эксплуатации (40-50 лет) [8].

Среди электрохимических накопителей выделяются литий-ионные аккумуляторы (ЛИА), которые в данный момент являются основным способом накопления электроэнергии для возобновляемых источников энергии. ЛИА демонстрируют один из самых высоких темпов

роста на рынке систем накопления энергии. Высокой плотность энергии (до 200 Вт·ч/кг против 25–40 Вт·ч/кг у свинцово-кислотных), долговечность (до 6000 циклов зарядки-разрядки для LFP) и низкий уровень саморазряда (2–3% в месяц), меньший вес и размера по сравнению с аналогами делает их предпочтительным выбором для систем накопления энергии.

Литий-ионные накопители – это практически безальтернативный выбор для систем хранения энергии от 1 кВт до 10 МВт емкостью до 4 часов, но на горизонте до 2025 г. в промышленных решениях (>100 МВтч) они будут проигрывать механическим накопителям – ГАЭС и пневматическим системам [9].

Основным драйвером развития рынка ЛИЭ является электротранспорт. Также этому способствует развитие технологий СНЭ, что приводит к снижению операционных затрат, увеличению КПД, емкости, сокращению эффекта нарастающего износа аккумуляторов. В последние годы снижение затрат достигнуто благодаря использованию на 30% более дешевых литий-железо-фосфатных батарей (LFP), в которых не используется никель и которые продолжают отвоевывать долю рынка у литий-ионных аккумуляторов, в которых используется никель-марганец-кобальт (NMC). Все это делает СНЭ на базе литий-ионных аккумуляторов более экономически привлекательными с каждым годом. Всего до 2030 года, по прогнозу BloombergNEF (BNEF), рынок хранения энергии будет увеличиваться на 21% в год и достигнет годового объема 137 ГВт (без учета ГАЭС) и общей емкостью 442 ГВт·ч в 2030 году. Общий объем на 2023 в секторе СНЭ, включая стационарных систем хранения энергии, особенно для интеграции ВИЭ, около 13-14%.

Одним из успешных примеров интеграции литий-ионных аккумуляторов в энергосистему является проект Hornsdale Power Reserve в Южной Австралии, реализованный компанией Tesla в 2017 году. Данный регион характеризуется высокой долей генерации электроэнергии из возобновляемых источников (около 50%) и значительным уровнем аварийности энергосистемы, что оказывает негативное влияние на её надёжность.

Установленная мощность системы составляет 100 МВт, а ёмкость — 129 МВт×ч. Система используется для аккумулирования энергии, вырабатываемой местной ветроэлектростанцией. 70 МВт/39 МВт×ч используется как резервный источник питания, а 30 МВт/90 МВт×ч для работы на рынках электроэнергии и мощности, обеспечивая потребителей дешевой электроэнергией. Уже в первый месяц эксплуатации проект показал свой успех при выходе из строя по техническим причинам местной угольной электростанции. Станция за доли секунды (140 мс) среагировала на событие и покрыла дисбаланс мощности. После установки СНЭ среднегодовые затраты на электроэнергию снизились с \$470/МВт×ч до \$40/МВт×ч. Что за период 2017-2019 составляет экономию более 150 млн. долларов США [10].

Успешная реализация проекта продемонстрировала возможности применения аккумуляторных систем для повышения стабильности и надёжности энергосистем с высокой долей интеграции ВИЭ.

Перспективным конкурентом Li-ion в стационарных системах промышленного масштаба являются проточные ванадиевые накопители – еще не выйдя на уровень глобального выпуска в 1 ГВтч/год они уже сопоставимы по показателю LCOS с Li-ion за счет пренебрежимо малого уровня деградации и 20-летнего срока службы [9].

К другим перспективным направлениям относится применение водорода в качестве накопителя энергии от ВИЭ. Водород, произведённый от ВИЭ (так называемый "зелёный водород"), имеет нулевые углеродные выбросы в течение всего жизненного цикла. Предполагается, что водород может быть в качестве сезонного накопления энергии, когда избыточная электроэнергия от ВИЭ летом будет накапливаться в виде водорода и использоваться зимой. Также он может быть использован в качестве топлива для транспорта. К текущим проектам водородных систем накопления можно отнести проекты Hybrit (Швеция), Проект H2RES (Дания), Hydrogen Energy Storage (США, проекты компании Plug Power) и др. В рамках проекта Hybrit производится "зелёный водород" для использования в металлургической промышленности и накопления энергии. Электроэнергия от ВИЭ используется для электролиза воды, производимый водород хранится и используется для замены природного газа в сталелитейной промышленности. Системы водородного накопления энергии проекта Hydrogen Energy Storage используются для резервирования электроэнергии и предотвращения скачков напряжения в сетях с высокой долей ВИЭ. Водород используется для

резервного питания в центрах обработки данных (ЦОД) и на критически важных объектах инфраструктуры.

Водород может выступать в роли долгосрочного накопителя энергии, что делает его важным элементом будущих устойчивых энергосистем, несмотря на текущие ограничения, такие как низкий КПД и высокая стоимость инфраструктуры.

### 3. Интеллектуальные инверторы.

В условиях высокой доли ВИЭ в распределительных сетях могут возникать проблемы с регулированием напряжения, что негативно сказывается на стабильности энергосистемы. Для устранения этих проблем могут быть реализованы интеллектуальные функции современных инверторов. Интеллектуальные инверторы – это устройства, которые не только преобразуют постоянный ток, вырабатываемый ВИЭ, в переменный ток для подачи в сеть, но и выполняют дополнительные функции, направленные на стабилизацию работы энергосистемы.

**Результаты и их обсуждение.** Интеллектуальные инверторы обеспечивают гибкость управления потоками энергии и повышают эффективность её использования, позволяя управлять распределением электроэнергии между различными источниками, аккумуляторами и потребителями в соответствии с текущим потреблением и состоянием сети, такие как:

а) Ограничение активной мощности. Интеллектуальный инвертор постоянно отслеживает уровень напряжения в точке подключения к сети. Если напряжение приближается к верхнему пределу допустимых значений, инвертор активирует функцию ограничения активной мощности. Эта функция заключается в динамическом ограничении или снижении активной мощности, генерируемой ВИЭ, подаваемой в сеть, с целью предотвращения перенапряжений и поддержания стабильности работы энергосистемы. Это помогает избежать частых отключений инвертора, так как в традиционных системах без интеллектуального управления инвертор может отключаться, если напряжение превышает допустимые значения, что приводит к износу оборудования и потерям энергии.

б) Управление реактивной мощностью. В сетях низкого напряжения основное влияние на напряжение оказывает активная мощность, а в сетях среднего и высокого напряжения основным параметром, влияющим на напряжение, является реактивная мощность. В связи с этим для стабилизации напряжения необходима регулировка реактивной мощностью. Инвертор подаёт или поглощает реактивную мощность в зависимости от текущего уровня напряжения в точке присоединения. Напряжение в сети может быть повышено за счет подачи реактивной мощности, и может быть понижено за счет потребления реактивной мощности. В этом режиме инвертор работает как индуктивная нагрузка. Однако в сетях низкого напряжения активная мощность оказывает наибольшее влияние на напряжение. В таких случаях изменение только реактивной мощности инвертора может не предотвратить перенапряжение. Единственным решением будет ограничение активной мощности для предотвращения полного отключения инвертора.

Эти методы позволяют инверторам гибко реагировать на изменения напряжения, возникающие в результате нестабильной генерации ВИЭ, и предотвращать отключения инверторов от сети.

**Заключение.** Интеграция ВИЭ в энергосистему — это сложный и многогранный процесс, требующий комплексного подхода и применения передовых технологий. Развитие умных сетей, накопителей энергии и интеллектуальных инверторов — это важные шаги к построению устойчивой и гибкой энергосистемы будущего, которая сможет адаптироваться к изменяющимся условиям и поддерживать стабильность электроснабжения. Внедрение этих технологий не только способствует повышению надёжности энергосистемы, но и способствует ускорению энергетического перехода к низкоуглеродной экономике.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Международное энергетическое агентство (IEA). [Text] / World Energy Outlook 2023. — Париж: IEA, 2023.
- 2 OECD/IEA. Getting Wind and Sun onto the Grid. — Paris: International Energy Agency, 2017. — 72 с.
- 3 АО «KEGOC». Годовой отчет за 2023 год. — Астана: АО «KEGOC», 2024.

4 ЕЭК ООН. Широкомасштабное развитие возобновляемых источников энергии и его влияние на рынок электроэнергии и сетевую инфраструктуру: доклад. — ЕЭК ООН, 2021. — 81 с.

5 «Deep Learning-Based Energy Management for Smart Grids» by Saeed Ahmed, et al.

6 «Deep Learning for the Smart Grid: Integrating Renewable Energy» by James W. Smith.

7 Трофимов, Г.Г. Направления развития электроэнергетики Казахстана: Система накопления электрической энергии [Электронный ресурс] // Eenergy.Media. — 17.10.2021. — URL: <https://eenergy.media/news/20522> (дата обращения: 14.12.2024).

8 Калимуллин, Л.В. Приоритетные направления, ключевые технологии и сценарии развития систем накопления энергии [Text] /Л.В. Калимуллин, Д.К. Левченко, Ю.Б. Смирнова, Е.С. Тузикова // Вестник ИГЭУ. — 2019. — Вып. 1. — С. 42-54.

9 VYGON Consulting. Накопители энергии в России: инъекция устойчивого развития. — Июнь 2020 г.

10 Aurecon. Hornsdale Power Reserve. Year 2 Technical and Market Impact Case Study [Электронный ресурс]. — 2019. — URL: <https://www.aurecongroup.com/-/media/files/downloads-library/thought-leadership/aurecon-hornsdale-power-reserve-impact-study-2020.pdf>(дата обращения: 14.12.2024).

## REFERENCES

1 Mezhdunarodnoe jenergeticheskoe agentstvo (IEA). [Text] / World Energy Outlook 2023. — Parizh: IEA, 2023.

2 OECD/IEA. Getting Wind and Sun onto the Grid. — Paris: International Energy Agency, 2017. — 72 s.

3 АО «KEGOC». Godovoj otchet za 2023 god. — Astana: АО «KEGOC», 2024.

4 ЕЭК ООН. Широкомасштабное развитие возобновляемых источников энергии и его влияние на рынок электроэнергии и сетевую инфраструктуру: доклад. — ЕЭК ООН, 2021. — 81 с.

5 «Deep Learning-Based Energy Management for Smart Grids» by Saeed Ahmed, et al.

6 «Deep Learning for the Smart Grid: Integrating Renewable Energy» by James W. Smith.

7 Trofimov, G.G. Napravlenija razvitija jelektrojenergetiki Kazahstana: Sistema nakoplenija jelektricheskoy jenerгии [Elektronnyj resurs] // Eenergy.Media. — 17.10.2021. — URL: <https://eenergy.media/news/20522> (data obrashhenija: 14.12.2024).

8 Kalimullin, L.V. Prioritetnye napravlenija, kljuchevye tehnologii i scenarii razvitija sistem nakoplenija jenerгии [Text] / L.V. Kalimullin, D.K. Levchenko, Ju.B. Smirnova, E.S. Tuzikova // Vestnik IGJeU. — 2019. — Vyp. 1. — S. 42-54.

9 VYGON Consulting. Nakopiteli jenerгии v Rossii: in#ekcija ustojchivogo razvitija. — Ijun' 2020 g.

10 Aurecon. Hornsdale Power Reserve. Year 2 Technical and Market Impact Case Study [Elektronnyj resurs]. — 2019. — URL: <https://www.aurecongroup.com/-/media/files/downloads-library/thought-leadership/aurecon-hornsdale-power-reserve-impact-study-2020.pdf>(data obrashhenija: 14.12.2024).

## ТҮЙІН

Мақалада жаңартылатын энергия көздерін (ЖЭК) заманауи энергия жүйесіне біріктіру мәселелері қарастырылады. Күн және жел электр станциялары сияқты ЖЭК үлесінің өсуі техникалық және операциялық қоңыраулармен, соның ішінде генерацияның тұрақсыздығымен, жүктемені теңестіру қажеттілігімен және желінің тұрақтылығын қамтамасыз етумен бірге жүреді. Жұмыста ЖЭК-ті табысты интеграциялауға ықпал ететін негізгі технологиялар талданады, олардың ішінде: терең машиналық оқытуды қолдана отырып, ақылды желілер (Smart Grids), электр энергиясын жинақтау жүйелері (СНЭ) және интеллектуалды инверторлар. Ақылды желілерді, энергия сақтағыштарды және ақылды инверторларды дамыту-бұл өзгермелі жағдайларға бейімделе алатын және электрмен жабдықтаудың тұрақтылығын сақтай алатын тұрақты және икемді болашақ электр жүйесін құрудың маңызды қадамдары. Бұл технологияларды енгізу энергия жүйесінің сенімділігін арттыруға ғана емес, сонымен қатар төмен көміртекті экономикаға энергетикалық көшуді жеделдетуге ықпал етеді. Энергия жүйесін тұрақтандыру және генерациядағы ЖЭК-тің жоғары үлесі кезінде оның икемділігін арттыру үшін заманауи шешімдерді қолдану мысалдары келтірілген.