

## **АННОТАЦИЯ**

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07112 – «Электроэнергетика»

**Бекболатова Жаннат Кайыровна**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРАТЕГИЙ РЫНОЧНОЙ ИНТЕГРАЦИИ ОБЪЕКТОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И ОЦЕНКА ИХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ КАЗАХСТАНА**

**Актуальность темы.** Современный мир сталкивается с острыми проблемами, связанными с энергетикой: истощением традиционных ресурсов, изменением климата и растущим спросом на энергию. Эти факторы подталкивают государства к переходу на более чистые и устойчивые источники энергии. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ), такие как солнечная и ветровая, все чаще рассматриваются как ключевой элемент этого перехода.

Казахстан, обладающий значительным потенциалом ВИЭ, активно участвует в глобальном тренде. Стратегические планы страны предусматривают существенное увеличение доли ВИЭ в энергетическом балансе. Однако интеграция ВИЭ в существующую энергосистему сопряжена с рядом технических, экономических и социальных вызовов, которые требуют комплексного решения.

Актуальность данного исследования заключается в необходимости разработки эффективных стратегий и механизмов для успешной интеграции ВИЭ в энергосистему Казахстана. Результаты исследования позволят:

- Оценить потенциал ВИЭ в Казахстане и определить оптимальные направления их развития.
- Идентифицировать ключевые проблемы и риски, связанные с интеграцией ВИЭ.
- Разработать рекомендации по совершенствованию нормативно-правовой базы и рыночных механизмов.
- Обеспечить устойчивое развитие энергетического сектора и достижение целей в области климата и энергетической безопасности.

Исследование также позволит внести вклад в научную дискуссию о проблемах интеграции ВИЭ и разработать практические рекомендации для энергетических компаний, государственных органов и других заинтересованных сторон.

Согласно вышесказанному данная диссертационная работа является актуальным и востребованным в контексте глобальных трендов и национальных приоритетов Казахстана.

**Целью** данной диссертации является исследование стратегий рыночной интеграции объектов ВИЭ в энергосистему Казахстана и оценка

их воздействия на устойчивость работы энергосистемы.

#### **Задачи докторской диссертации:**

- Провести анализ текущего состояния энергетического рынка Казахстана с точки зрения внедрения и интеграции ВИЭ в структуру энергосистемы страны.

- Оценить существующие технические, экономические и рыночные барьеры для интеграции объектов ВИЭ в энергосистему Казахстана, включая анализ законодательных и нормативных актов, регулирующих энергетический рынок.

- Исследовать методы прогнозирования генерации ВИЭ с использованием современных математических моделей и алгоритмов машинного обучения, включая методы временных рядов и стохастические подходы, применимые к ветровым и солнечным электростанциям.

- Проанализировать влияние увеличения доли ВИЭ на устойчивость энергосистемы Казахстана.

- Разработать и предложить стратегии рыночной интеграции объектов ВИЭ в энергосистему Казахстана, учитывающие особенности переменной генерации ВИЭ и позволяющие улучшить баланс между спросом и предложением на электроэнергию.

#### **Объект и предмет исследования.**

Объектом исследования являются возобновляемые источники энергии, включая солнечные и ветровые электростанции, а также энергосистема Казахстана, представляющая собой сложную и многоуровневую структуру. Она объединяет традиционные и альтернативные источники энергии, электрические сети, системы управления и потребителей энергии. Исследуемая энергосистема находится в условиях трансформации, вызванной необходимостью интеграции ВИЭ, что требует учета специфических характеристик этих источников, таких как их переменность и зависимость от погодных условий. В качестве объекта исследования также рассматриваются отдельные аспекты рыночной инфраструктуры, регулирующие механизмы взаимодействия участников энергетического рынка, включая производителей, поставщиков и потребителей энергии.

Предметом исследования выступают механизмы, модели и методы рыночной интеграции объектов возобновляемых источников энергии в энергосистему Казахстана. Основное внимание уделяется процессам прогнозирования объемов генерации ВИЭ, их влиянию на баланс мощности, моделированию взаимодействий между ВИЭ и традиционными источниками энергии, а также анализу устойчивости энергосистемы при изменении доли возобновляемой генерации. Предметом также являются технологические и экономические аспекты интеграции ВИЭ, включая разработку алгоритмов для повышения точности прогнозов, оптимизацию работы энергосистемы с учетом сезонных и суточных колебаний генерации, а также анализ влияния ВИЭ на тарифную политику и экологические показатели энергосистемы.

**Методы исследования.** При теоретических и прикладных исследованиях в диссертационной работе применялись методы анализа данных для изучения исторических показателей выработки электроэнергии ВИЭ, скорости ветра и инсоляции, а также для прогнозирования их будущего поведения на основе статистических данных за предыдущие годы; математические методы Auto Regressive Moving Average, Random forest, Linear Programming энергетического баланса; компьютерное моделирование и расчеты с применением программ Dig Silent Power Factory, MatLab, PV Syst, Auto Cad, Wind PRO.

**Научная новизна:**

- Разработано приложение основанное на методе Random Forest в Telegram канале которое прогнозирует температуру, солнечное излучение, скорость ветра;

- Предложены методики прогнозирования выработки электроэнергии ВИЭ, основанной на современных математических моделях и методах машинного обучения;

- Предложены стратегии, которые позволяют повысить устойчивость энергосистемы при увеличении доли возобновляемых источников энергии в энергобалансе страны;

- Смоделирована энергетическая система Алматинской области и выполнена оценка влияния возобновляемых источников энергии на ее стабильность.

**Практическая значимость** полученных результатов заключатся в разработке модели прогнозирования генерации ВИЭ, основанные на методах искусственного интеллекта, которая улучшают планирование баланса мощности, снижая зависимость от традиционных источников энергии. Результаты диссертационной работы использовались при выполнении проекта грантового финансирования ИРН BR21882294 по теме «Автономная система энергообеспечения отдаленных регионов Казахстана на базе ВИЭ». Результаты исследования могут быть использованы для разработки стратегий интеграции возобновляемых источников энергии ВИЭ в энергосистему Казахстана, что повысит её устойчивость и надежность. Разработанные Предложенные экономические подходы помогут в создании инвестиционных планов, направленных на оптимизацию затрат и привлечение инвестиций. Также сценарное моделирование даст возможность региональным властям разрабатывать долгосрочные планы модернизации инфраструктуры, что улучшит экологическую ситуацию в Алматинской области и создаст новые рабочие места, способствуя социально-экономическому развитию региона.

**Основные научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту:**

- Методология оценки влияния интеграции ВИЭ на устойчивость энергосистемы. Разработаны и обоснованы подходы к анализу влияния

переменной генерации от солнечных и ветровых электростанций на устойчивость энергосистемы Алматинской области с учетом динамики спроса и предложения электроэнергии.

- Математическая модель энергосистемы с учетом интеграции ВИЭ. Представлена математическая модель энергосистемы, позволяющая оценить влияние увеличения доли ВИЭ на надежность и стабильность электроснабжения региона. Модель учитывает климатические факторы, переменные мощности и маневренность традиционных источников энергии.

- Сценарии развития энергосистемы с увеличением доли ВИЭ. Смоделированы различные сценарии развития энергосистемы Алматинской области при увеличении доли ВИЭ, что позволяет оценить влияние различных стратегий интеграции на устойчивость энергосистемы и на потребителей.

**Связь работы с планом государственных научных программ.** Научные исследования по теме диссертаций проведены в соответствии с планами НИР кафедры «Энергетика» КазННТУ имени К.И. Сатпаева в рамках государственного образовательного гранта по докторантуре.  
**Личный вклад автора.** Все результаты диссертационного научного исследования получены самим автором. Утверждение задач для достижения цели исследования, анализ методов исследования и результатов научных исследований проводились под руководством автора, его научного руководителя и зарубежного научного руководителя. Результаты других исследователей, использованные в ходе исследования, были указаны ссылками на соответствующую литературу.

**Обоснование и достоверность результатов и выводов.** Полученные результаты исследований теоретически обоснованы и подтверждены компьютерным моделированием и экспериментальными исследованиям, а также расчетами с применением пакетов прикладных программ они обсуждались зарубежными рецензентами при публикации в международном журнале по возобновляемой энергетике.

**Апробация работы.** Основные материалы и результаты диссертационной работы были представлены и обсуждены:

- IEEE 23rd International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM) (Новосибирск, Россия, 2022 г.);

- на международной научно-практической конференции «Энергетика и цифровая трансформация», Тинчуринские чтения, №15 (Казань, Татарстан, 2022г.)

– научных семинарах кафедры «Энергетика» КазННТУ имени К.И. Сатпаева.

**Основные научные результаты** опубликованы в 5 научных трудах, включая 1 публикацию, входящую в информационную базу SCOPUS (процентиль – 87), 3 публикации в изданиях, рекомендованных КОКСОНВО, и 2 публикации в материалах международных научно-практических конференциях.

1. Numerical analysis on inlet position and orientation for enhanced thermal performance of a solar thermochemical reactor for two-step WS cycle for hydrogen production. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. Vol.149, pages 8409-8429 2024. <https://doi.org/10.1007/s10973-024-13154-z> Scopus (miscellaneous)) – 87-й процентиль.
2. Experimental study of operation of a solar water heating system in winter. Статья. Вестник Каз АТК, №2 (131), 2024, с.523-529 ISSN 1609-1817
3. Жаңартылатын генерациялау бірліктерінің нарықтық интеграциялық стратегиялары. Вестник Каз АТК, №4 (133), 2024, ISSN 1609-1817
4. Үш деңгейлі кернеу түрлендіргішінің математикалық моделі. Статья. Вестник ТоU, №2 (174), 2024, с. 242-248 ISSN 2710-3420

**Структура и объём диссертации:** диссертация состоит из введения, основной части из четырех глав, заключения. Объём диссертации составляет 102 страниц машинописного текста, содержит 50 рисунков, 12 таблиц, списка использованных источников, включающих 98 наименований, 3 приложения.