

ВНЕДРЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ВОЗОБНОВЛЯЕМУЮ ЭНЕРГЕТИКУ КАК ВКЛАД В УКРЕПЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Sadikova Dilafruz Radjabovna

Докторант Ташкентского государственного

Юридического университета

Кафедра экологического права

Pstudy22@gmail.com

+998977 088-00-22

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8761-2767>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20743580>

Введение. Страны Центральной Азии, включая Республики Узбекистан, активно развивают возобновляемые источники энергии (далее в тексте ВИЭ) как стратегический элемент устойчивого развития. Интеграция искусственного интеллекта (далее в тексте ИИ) в сферу ВИЭ становится ключевым фактором продвижения глобальной экологической устойчивости. Быстрое развитие ИИ-технологий позволяет эффективно управлять энергетическими системами, оптимизировать распределение ресурсов и предсказывать колебания спроса и выработки энергии. Это не только повышает надежность и производительность возобновляемых установок, но и способствует снижению углеродного следа, минимизации потерь и рациональному использованию природных ресурсов. Переход на возобновляемые источники энергии является стратегическим приоритетом энергетической политики Узбекистана. Закон Республики Узбекистан «О возобновляемых источниках энергии» [1] от 21 мая 2019 года заложил основу для привлечения инвестиций, строительства солнечных и ветровых станций и стимулирования использования чистой энергии.

Одновременно развивается стратегия цифровой трансформации «Цифровой Узбекистан 2030» [2], в рамках которой искусственный интеллект рассматривается как инструмент повышения эффективности энергетической системы. В целях создания благоприятных условий для внедрения технологий ИИ в социальной сфере и отраслях экономики, достижения и вхождения страны в ряд ведущих государств мира, применяющих технологии искусственного интеллекта, а также обеспечения исполнения целей и задач, определенных в стратегии «Цифровой Узбекистан — 2030» следом утверждена стратегия «Развития технологий искусственного интеллекта до 2030 года» [3]. Так как ИИ повышает эффективность производства, распределения и потребления энергии за счёт прогнозов, оптимизации и автоматизации. Для Узбекистана, который активно наращивает солнечную, ветровую и другие «зелёные» мощности, ИИ — инструмент ускоренной интеграции ВИЭ в энергосистему и снижения издержек [4].

Комбинируемо, применение ИИ в секторе ВИЭ может повысить эффективность, управляемость и устойчивость энергетической системы [5]. Однако правовые, технические и институциональные рамки этой интеграции остаются недостаточно проработанными. Исходя от данных цель — проанализировать роль ИИ в секторе ВИЭ Узбекистана и предложить рекомендации по правовому регулированию.

Методы исследования. В ходе исследований было проведено сравнительно-правовой, аналитический и контент-анализ. В исследовании использовались нормативно-правовые акты Республики Узбекистан, анализ зарубежных практик применения ИИ в ВИЭ и обзор научных публикаций, индексируемых в Scopus и Elsevier, посвящённых интеграции ИИ в энергетический сектор. Использовались методы сравнения правовых режимов, выявления регуляторных пробелов, а также систематизации данных по эффективности внедрения ИИ в энергетике. На основе анализа вторичных источников, нормативных актов и научных обзоров определены направления правового и институционального развития, необходимые для безопасной интеграции технологий ИИ в ВИЭ-сектор Узбекистана.

Результаты. Если рассматривать практики внедрения ИИ в возобновляемую энергетику за рубежом, в странах с развитой энергетической инфраструктурой искусственный интеллект стал ключевым инструментом оптимизации и прогнозирования в ВИЭ. В исследовании учёных Тегранского университета, опубликованный издательством Elsevier 2024 году в «Renewable and Sustainable Energy Reviews», анализируется более 180 практических кейсов, показав, что использование машинного обучения улучшает прогноз выработки солнечных и ветровых станций в среднем на 15–25 % по сравнению с традиционными моделями. Это напрямую влияет на прибыльность и устойчивость энергосистем[6].

Ещё наиболее известный коммерческий пример — проект DeepMind[7] (Google, Великобритания / США), где алгоритмы машинного обучения используются для прогнозирования выработки энергии ветровых турбин на горизонте 36 часов. По данным отчёта компании опубликованные в 2019 году, такие модели повысили «рыночную ценность» ветровой генерации на 20 %, так как операторы могут заранее планировать продажу электроэнергии по оптимальной цене и избегать дисбалансов. Данный пример демонстрирует, что ИИ может приносить не только технологический, но и экономический эффект за счёт снижения неопределённости на рынке.

Опыт Дании в лице Компании Vestas, если рассмотрим технические отчёты, где применяются алгоритмы «digital twin» и «wake steering» — технологии, которые анализируют направление ветра и регулируют работу турбин для уменьшения турбулентности между ними. Исследования индийских учёных опубликованный в 2024 году в издательстве MDPI показывают, что такие решения позволяют увеличить общую выработку на 1–2 % без физического изменения инфраструктуры. Кроме того, Vestas внедряет системы предиктивного обслуживания, прогнозирующие износ деталей по вибрационным и температурным данным, что снижает издержки на ремонт[8].

В Германии корпорация Siemens Gamesa применяет искусственный интеллект в диагностике и планировании технического обслуживания ветровых установок. Модели нейронных сетей анализируют акустические и вибрационные сигналы для раннего выявления дефектов подшипников и лопастей. По данным статьи “Big data meets big wind: A scientometric review of machine learning approaches in offshore wind energy” которая опубликовалась в 2024 году, внедрение таких систем сокращает неплановые простои на 30–40 % и продлевает срок службы оборудования на несколько лет[9].

Мета-обзор мировой практики опубликованной в 2024 году в журнале Energies (MDPI) систематизирует 280 публикаций по ИИ-прогнозированию солнечной радиации.

Где авторы выделяют три ведущих направления развития: первое это - гибридные модели на основе нейросетей и статистики; второе - алгоритмы интеллектуальной оптимизации такие как: «swarm intelligence», «genetic algorithms», и третье - комбинации ИИ с цифровыми двойниками и оборудованностями. Эти подходы в данный момент стали стандартом в управлении ВИЭ на уровне ЕС, США и Китая[10].

Дискуссия. Анализ зарубежных кейсов показывает, что применение ИИ в энергетике даёт измеримый результат — рост прогнозной точности, повышение коэффициента использования установок, снижение затрат на обслуживание. В Узбекистане, где активно развиваются солнечные и ветровые проекты (Нур Навои, Зарафшан), потенциал аналогичных решений чрезвычайно высок. Однако, в отличие от стран ЕС, здесь пока отсутствуют отраслевые стандарты сертификации ИИ-моделей и нормативы по верификации данных. Следовательно, эффект от внедрения ИИ может быть достигнут лишь при создании правовых рамок, аналогичных европейским требованиям ISO(International Organization for standardization), IEC(International Electrotechnical Commission) SC 42(Subcommittee 42)[11].

Данные стандарты регулируют термины и определения (например что считать системой ИИ), требования к прозрачности и объяснимости алгоритмов, правила оценки рисков, надёжности и безопасности данных. А так же механизмы сертификации и аудита ИИ-систем и что немало важно этические и юридические аспекты, ответственность при ошибках. Узбекистану нужно внедрить аналогичные стандарты в национальную нормативную базу (например, через Агентство по стандартизации и Министерство цифровых технологий). Что позволит гарантировать, что алгоритмы сертифицированы и безопасны и повысит доверие инвесторов и международных партнёров.

В Европейском Союзе, США и Дании интеграция ИИ в энергетику поддерживается государственными регуляторами и компаниями-разработчиками. Например, Siemens и Vestas сотрудничают с национальными энергетическими агентствами для сертификации ИИ-моделей по стандартам безопасности и надёжности. В Узбекистане действуют Закон №-539 «О ВИЭ» и Национальная стратегия развития ИИ до 2030 года, но они не включают механизмы контроля алгоритмов или распределения ответственности между оператором, разработчиком и инвестором. Это формирует регуляторный пробел, который необходимо устранить через подзаконные акты и отраслевые стандарты. Если быть точнее, без таких «правовых рамок» ИИ в ВИЭ может давать нестабильные результаты и создавать юридические риски — поэтому нужны стандарты, совместимые с международными.

Если рассматривать экономические аспекты, зарубежные примеры показывают, что затраты на внедрение ИИ компенсируются за счёт повышения КПД, уменьшения простоев и более выгодного участия в рынке электроэнергии. В Великобритании проект DeepMind, а в Дании — цифровые двойники Vestas, доказали финансовую целесообразность подобных решений. Для Узбекистана это означает необходимость создания тарифных стимулов: возможность включать затраты на внедрение ИИ в тарифную базу, налоговые вычеты для операторов, а также поддержку пилотных проектов через государственные фонды инноваций.

Естественно, использование ИИ в энергетике порождает риски: неправильные прогнозы, кибератаки, отсутствие объяснимости решений. В Евросоюзе такие риски

регулируются директивами по киберустойчивости (NIS2)[12] и проектом AI Act[13], который требует сертификации критичных алгоритмов. Директива NIS2 устанавливает единую правовую базу для обеспечения кибер-безопасности в 18 важнейших отраслях по всему ЕС. Она также призывает государства-члены разработать национальные стратегии кибер-безопасности и сотрудничать с ЕС в вопросах трансграничного реагирования и правоприменения. В декабре 2023 года Европейский парламент предварительно одобрил Закон ЕС об искусственном интеллекте. Эта беспрецедентная нормативно-правовая база для систем искусственного интеллекта содержит рекомендации по обеспечению безопасности, законности и надёжности продуктов на основе ИИ.

Для Узбекистана аналогичные требования следует включить в национальные стандарты, учитывая, что энергетика относится к критической инфраструктуре. Рекомендуется внедрить аудит моделей, страхование технологических рисков и регистрацию алгоритмов в Министерстве энергетики и Министерстве цифровых технологий.

Заключение

Наши выводы сравнительного анализа информации показывают что, развитые страны достигли значительного прогресса благодаря сочетанию технологической зрелости и жёсткого регулирования. Узбекистан имеет фундаментальную законодательную базу — закон о ВИЭ, стратегию ИИ, программу «Цифровой Узбекистан 2030» и подзаконные акты касательно поддержки ВИЭ — которые нуждаются в секторальных нормах, обеспечивающих безопасность, сертификацию и прозрачность применения ИИ в энергетике.

Потенциал интеграции ИИ в национальную энергосистему Узбекистана оценивается высокий, особенно с учётом солнечного и ветрового потенциала страны. ИИ способен значительно повысить экономическую и надёжную эффективность ВИЭ: от прогноза выработки до управления сетью и предиктивного обслуживания. Узбекистан имеет базовый правовой каркас для развития ВИЭ и формирует национальную политику ИИ. Для безопасной масштабной интеграции ИИ в энергетику нужны отраслевые стандарты, правила по ответственности и киберзащите, а также кадровая подготовка. Развитие возобновляемых источников энергии невозможно без внедрения интеллектуальных технологий. Искусственный интеллект позволяет управлять энергосистемами гибко, безопасно и экономично. Создание правового механизма регулирования ИИ в энергетике обеспечит не только надёжность инфраструктуры, но и ускорит достижение климатических целей Узбекистана.

Мировая практика доказывает, что ИИ позволяет прогнозировать выработку, управлять сетевыми нагрузками и предотвращать аварийные ситуации. Для успешного внедрения ИИ необходимо:

1. Принять подзаконный акт о применении ИИ в ВИЭ с определением прав и обязанностей участников.
2. Ввести обязательную сертификацию ИИ-моделей, влияющих на генерацию и распределение энергии.
3. Установить правила кибербезопасности и страхования технологических рисков.

Формирование нормативной базы, объединяющей принципы цифрового управления и энергетической безопасности, станет важным шагом к устойчивому и технологически независимому будущему страны.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. Закон Республики Узбекистан, от 21.05.2019 г. № ЗРУ-539, «Об использовании возобновляемых источников энергии» <https://lex.uz/docs/4346835>
2. Указ Президента Республики Узбекистан, от 05.10.2020 г. № УП-6079, «Об утверждении Стратегии «Цифровой Узбекистан-2030» и мерах по ее эффективной реализации» <https://lex.uz/ru/docs/5031048>
3. Постановление Президента Республики Узбекистан, от 14.10.2024 г. № ПП-358, «Об утверждении Стратегии развития технологий искусственного интеллекта до 2030 года» <https://lex.uz/ru/docs/7158606>
4. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Uzbekistan 2022 Energy Policy Review. OECD https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2022/10/uzbekistan-2022-energy-policy-review_b94a8e4a/be7a357c-en.pdf
5. Oxford Insights. Harnessing AI for Development: Uzbekistan's Progress towards Becoming a Regional IT Hub <https://oxfordinsights.com/insights/harnessing-ai-for-development-uzbekistans-progress-towards-becoming-a-regional-it-hub/>
6. Shoaie M, et al. A Review of the Applications of Artificial Intelligence in Renewable Energy Systems: An Approach-based Study. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2024s <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890424001481>
7. DeepMind. Machine Learning Can Boost the Value of Wind Energy. Google DeepMind Blog; 2019 s <https://deepmind.google/discover/blog/machine-learning-can-boost-the-value-of-wind-energy>
8. Raman R, et al. Navigating the Nexus of Artificial Intelligence and Renewable Energy for the Advancement of Sustainable Development Goals. Sustainability. 2024; 16(21). <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/21/9144>
9. Das P, et al. Big Data Meets Big Wind: A Scientometric Review of Machine Learning Approaches in Offshore Wind Energy. Energy Reports. 2024; <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666546824000843/>
10. Chodakowska E, et al. Solar Radiation Forecasting: A Systematic Meta-Review of Current Methods and Emerging Trends. Energies. 2024 : <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/13/3156>
11. UNESCO. How the ISO and IEC Are Developing International Standards for the Responsible Adoption of AI. <https://www.unesco.org/en/articles/how-iso-and-iec-are-developing-international-standards-responsible-adoption-ai>
12. European Commission. NIS2 Directive: Securing Network and Information Systems. 2023 <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/nis2-directive>
13. Törnngren M, et al. Navigating the EU AI Act: A Methodological Approach to Compliance for Safety-Critical Products. <https://arxiv.org/pdf/2403.16808>