УДК 620.91:621.311(575)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЛАНДШАФТ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ И РОЛЬ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ТРАНСФОРМАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

ENERGY LANDSCAPE OF CENTRAL ASIA AND THE ROLE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN THE TRANSFORMATION OF REGIONAL POWER SYSTEMS

Махсумов Илхом Бурхонович
кандидат технических наук,
доцент,
заведующий кафедрой альтернативных источников энергии,
Институт энергетики Таджикистана
messi.ilhom@gmail.com

Давлатзода Абуфазл Нусратулло
аспирант кафедры альтернативных источников энергии,
Институт энергетики Таджикистана

Хасанзода Бехруз Мухаммад
заместитель директора,
Агентство государственного энергетического надзора
при Президенте Республики Таджикистан
bhasanzoda@outlook.com

Аннотация. В статье представлен анализ энергетического ландшафта стран Центральной Азии и особенностей структуры их электроэнергетических систем. Рассмотрены различия в типах генерации, обусловленные природно-ресурсным потенциалом региона. Особое внимание уделено роли возобновляемых источников энергии, прежде всего солнечной энергетики, в повышении устойчивости энергосистем, диверсификации генерации и модернизации региональной энергетической инфраструктуры.

Ключевые слова: Центральная Азия, энергетические системы, возобновляемые источники энергии, солнечная энергетика, устойчивое развитие.

Makhsumov Ilkhom Burkhonovich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Head of the Department
of Alternative Energy Sources,
Institute of Energy of Tajikistan
messi.ilhom@gmail.com

Davlatzoda Abufazl Nusratullo
Postgraduate Student of the Department
of Alternative Energy Sources,
Institute of Energy of Tajikistan

Hasanzoda Behrouz Muhammad
Deputy Director,
State Energy Oversight Agency
under the President of
the Republic of Tajikistan
bhasanzoda@outlook.com

Annotation. The article presents an analysis of the energy landscape of the Central Asian countries and the structural features of their electric power systems. The differences in the types of generation caused by the natural resource potential of the region are considered. Special attention is paid to the role of renewable energy sources, primarily solar energy, in increasing the sustainability of energy systems, diversifying generation and modernizing regional energy infrastructure.

Keywords: Central Asia, energy systems, renewable energy sources, solar energy, sustainable development.

Введение

Энергетический сектор играет ключевую роль в обеспечении устойчивого социально-экономического развития стран Центральной Азии. Регион обладает значительным потенциалом как традиционных, так и возобновляемых энергетических ресурсов, что формирует уникальную структуру национальных электроэнергетических систем. Исторически страны Центральной Азии функционировали в рамках единой объединённой энергосистемы, обеспечивавшей эффективное распределение энергетических ресурсов и координированную работу гидроэнергетических и тепловых электростанций [1].

В настоящее время энергетические системы государств региона характеризуются значительной структурной неоднородностью. Казахстан располагает значительными запасами угля и преимущественно использует тепловые электростанции для производства электроэнергии. В то же время энергетические системы Кыргызстана и Таджикистана основаны преимущественно на гидроэнергетических ресурсах. Узбекистан и Туркменистан обладают значительными запасами природного газа и развивают электроэнергетику на базе газовых тепловых электростанций. Такое распределение энергетических ресурсов формирует специфическую региональную модель генерации электроэнергии, характеризующуюся выраженной структурной асимметрией [2].

В условиях роста потребления электроэнергии и необходимости повышения экологической устойчивости энергетического сектора особое значение приобретает развитие возобновляемых источников энергии. Центральная Азия обладает благоприятными природно-климатическими условиями для использования солнечной и ветровой энергетики. Высокий уровень солнечной радиации, значительные площади

малонаселённых территорий и растущий спрос на электроэнергию создают предпосылки для активного внедрения солнечных электростанций в энергетическую инфраструктуру региона.

Интеграция возобновляемых источников энергии в существующие энергосистемы требует комплексного анализа структуры генерации, особенностей функционирования региональных энергетических сетей и возможностей межгосударственного энергетического сотрудничества. В этом контексте особое значение приобретает исследование энергетического ландшафта Центральной Азии и выявление факторов, влияющих на трансформацию региональных энергосистем [3].

Целью настоящего исследования является анализ структуры электроэнергетических систем стран Центральной Азии и оценка роли возобновляемых источников энергии в трансформации регионального энергетического баланса.

Научная новизна исследования

Научная новизна настоящего исследования заключается в комплексном анализе энергетического ландшафта стран Центральной Азии с учётом структурных особенностей национальных электроэнергетических систем и потенциала развития возобновляемых источников энергии.

В работе выполнен сравнительный анализ структуры генерации электроэнергии стран Центральной Азии, выявлена структурная асимметрия региональных энергосистем, обусловленная различиями природно-ресурсной базы, показана взаимодополняемость гидроэнергетических и тепловых источников генерации, обоснована роль солнечной энергетики как одного из ключевых факторов трансформации региональных энергосистем.

Структура электроэнергетических систем Центральной Азии

Электроэнергетические системы стран Центральной Азии формировались под влиянием природно-ресурсных и экономических факторов.

Казахстан обладает крупными запасами угля и развитой инфраструктурой тепловой энергетики. Основная часть электроэнергии в стране производится на угольных тепловых электростанциях. В отличие от Казахстана, энергетические системы Кыргызстана и Таджикистана ориентированы преимущественно на использование гидроэнергетических ресурсов. Большая часть электроэнергии в этих странах вырабатывается на гидроэлектростанциях [4].

Узбекистан и Туркменистан располагают значительными запасами природного газа, что обусловило развитие газовых тепловых электростанций. В структуре генерации этих стран доминируют газовые энергоблоки.

Таким образом, в регионе сформировалась энергетическая система, в которой различные типы генерации выполняют взаимодополняющие функции. Гидроэнергетика обеспечивает высокую манёвренность и возможность регулирования нагрузки, тогда как тепловые электростанции обеспечивают стабильную базовую генерацию электроэнергии. На рисунке 1 представлена концептуальная схема энергетической системы Центральной Азии, а на рисунке 2. представлена структура электроэнергетических систем стран Центральной Азии.

Представленная схема (рис. 1) демонстрирует структуру генерации электроэнергии в странах Центральной Азии и отражает взаимосвязь национальных энергосистем в рамках региональной энергетической сети.

Гидроэнергетические системы Кыргызстана и Таджикистана обеспечивают высокую манёвренность генерации, тогда как тепловые электростанции Казахстана, Узбекистана и Туркменистана формируют устойчивую базовую нагрузку. Кроме того, высокий потенциал солнечной энергетики в регионе создаёт дополнительные возможности для диверсификации структуры генерации и развития возобновляемых источников энергии [5].

Представленная диаграмма на рисунке 2. отражает структуру электроэнергетических систем стран Центральной Азии. Видно, что Казахстан, Узбекистан и Туркменистан характеризуются доминированием тепловых электростанций, доля которых достигает 70–90 %. В то же время Таджикистан и Киргизия относятся к гидроэнергетическому типу энергосистем, где ГЭС обеспечивают более 70% выработки электроэнергии.

Возобновляемые источники энергии, включая солнечную и ветровую энергетику, а также малые ГЭС, в настоящее время занимают относительно небольшую долю (5–15 %), однако обладают значительным потенциалом роста и играют стратегическую роль в повышении устойчивости и экологичности энергосистем региона [6].

Структура установленной мощности электроэнергетики стран Центральной Азии определяется их ресурсной базой и историческими особенностями развития энергетического сектора.

Таблица 1 отражает сравнительную характеристику электроэнергетических систем стран Центральной Азии.

Анализ характеристики электроэнергетических систем стран Центральной Азии показывает наличие выраженной структурной асимметрии энергетических систем региона. Горные страны обладают значительным гидроэнергетическим потенциалом, тогда как равнинные государства ориентированы на использование ископаемых видов топлива.

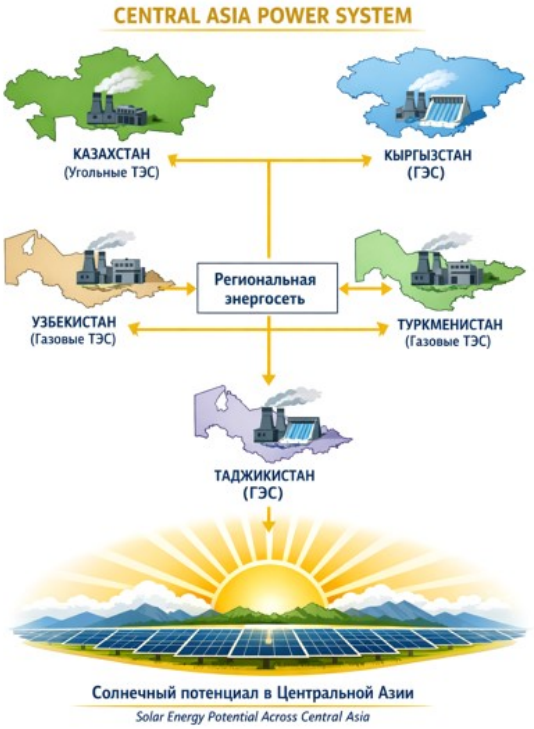

Рисунок 1 – Структура и взаимосвязь энергетических систем стран Центральной Азии

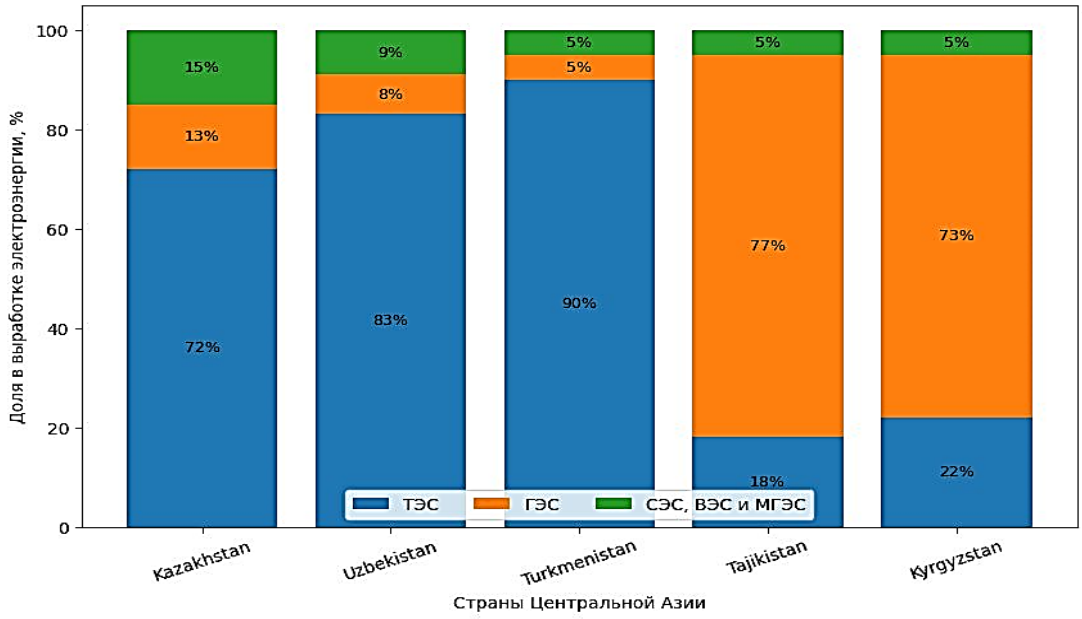

Рисунок 2 – Структура электроэнергетических систем Центральной Азии

Таблица 1 – Сравнительная характеристика электроэнергетических систем стран Центральной Азии

Страна	Основной тип генерации	Основные энергоресурсы	Особенности энергосистемы
Казахстан	тепловая энергетика	уголь	крупные тепловые электростанции, развитая передающая сеть
Кыргызстан	гидроэнергетика	водные ресурсы	высокая доля гидроэлектростанций
Таджикистан	гидроэнергетика	водные ресурсы	значительный гидроэнергетический потенциал
Узбекистан	газовая энергетика	природный газ	развитая система газовых электро-станций
Туркменистан	газовая энергетика	природный газ	экспортно-ориентированная энер-гетическая система

Энергетический контекст Центральной Азии

Развитие энергетического сектора стран Центральной Азии происходит в условиях специфического природного и экономического контекста. Регион характеризуется значительными запасами водных ресурсов в горных районах, крупными месторождениями угля и природного газа, а также высоким уровнем солнечной радиации [7].

Основные характеристики энергетического контекста региона (потенциал ВИЭ) представлены в таблице 2.

Факторы, представленные в таблице, оказывают влияние на развитие энергетической инфраструктуры и формирование энергетической политики стран региона.

Таблица 2 – Потенциал возобновляемых источников энергии в Центральной Азии

Страна	Солнечная энергия	Ветровая энергия	Гидроэнергетика
Казахстан	высокий	высокий	средний
Кыргызстан	высокий	средний	высокий
Таджикистан	высокий	средний	очень высокий
Узбекистан	очень высокий	средний	низкий
Туркменистан	очень высокий	высокий	низкий

Роль возобновляемых источников энергии

В последние годы развитие возобновляемых источников энергии становится важным направлением модернизации энергетического сектора Центральной Азии. Особенно перспективной является солнечная энергетика, поскольку регион обладает благоприятными климатическими условиями для её развития [8].

Высокий уровень солнечной радиации позволяет эффективно использовать фотоэлектрические технологии для производства электроэнергии. Развитие солнечных электростанций может способствовать диверсификации структуры генерации и снижению зависимости от ископаемых видов топлива. Ключевые эффекты внедрения солнечных электростанций представлены на рисунке 3.

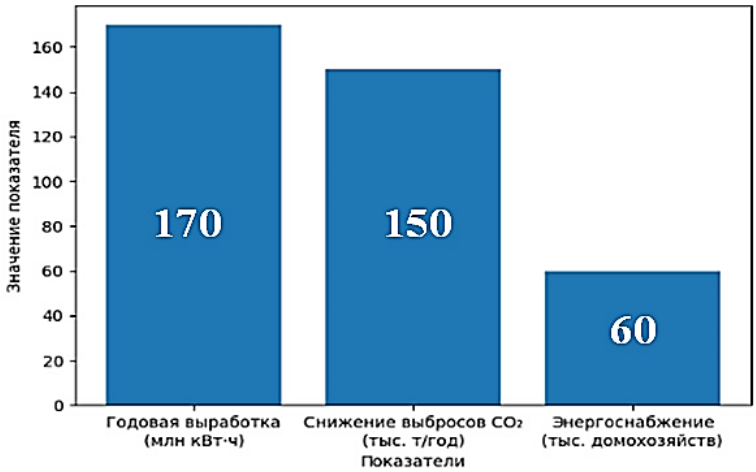

Рисунок 3 – Ключевые эффекты солнечной электростанции 100 МВт

Развитие солнечной энергетики может обеспечить: снижение потребления ископаемого топлива, сокращение выбросов парниковых газов, повышение энергетической безопасности и диверсификацию структуры генерации.

Влияние структуры генерации на устойчивость энергосистем

Структура производства электроэнергии оказывает существенное влияние на устойчивость и надёжность функционирования энергосистем. Гидроэлектростанции обладают высокой манёвренностью и способны оперативно реагировать на изменения нагрузки. Тепловые электростанции обеспечивают стабильную базовую генерацию. Интеграция возобновляемых источников энергии, включая солнечные электростанции, требует адаптации существующих энергосистем и развития инфраструктуры передачи электроэнергии. В то же время сочетание гидроэнергетических ресурсов и солнечной генерации может способствовать повышению гибкости энергосистем региона [9–10].

Заключение

Энергетические системы стран Центральной Азии характеризуются значительным разнообразием структуры генерации, что обусловлено различиями в природно-ресурсном потенциале и историческими особенностями развития энергетического сектора. В Кыргызстане и Таджикистане ключевую роль играет гидроэнергетика, тогда как в Казахстане, Узбекистане и Туркменистане доминируют тепловые электростанции, использующие преимущественно ископаемые виды топлива.

Проведённый анализ показывает, что энергетические системы стран региона характеризуются выраженной структурной асимметрией: горные государства обладают значительным гидроэнергетическим потенциалом, в то время как равнинные страны ориентированы на использование традиционных топливно-энергетических ресурсов. Данная особенность формирует объективные предпосылки для взаимодополняемости энергетических ресурсов и развития регионального энергетического сотрудничества.

В этих условиях развитие возобновляемых источников энергии, прежде всего солнечной энергетики, может стать важным фактором модернизации энергетической инфраструктуры, повышения устойчивости энергосистем и обеспечения долгосрочного устойчивого развития энергетического сектора Центральной Азии.

Список литературы:

1. Махсумов И.Б. Экологические и экономические особенности и перспективы развития возобновляемых источников энергии / И.Б. Махсумов, З.С. Рахимов, Х.А. Рахимов // Энергетика: состояние и перспективы развития: материалы Международной научно-практической конференции, Душанбе, 23 декабря 2024 г. – Душанбе : Aprint, 2024. – С. 115–122.
2. Махсумов И.Б. Перспективы и вызовы солнечной энергетики в эпоху устойчивого развития / И.Б. Махсумов, М.Б. Холназаров // Технические и технологические системы: материалы XV Международной научной конференции, Краснодар, 20–22 ноября 2024 г. – Краснодар : ООО «Издательский Дом – Юг», 2024. – С. 252–257.
3. Силемонов Д.С. Экономические и экологические аспекты применения солнечной энергетики в городских условиях / Д.С. Силемонов, Г. Сафарзода, Б.В. Худоназаров // Бутаковские чтения: Сборник статей IV Всероссийской с Международным участием молодёжной конференции, Томск, 10–12 декабря 2024 г. – Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2024. – С. 299–302.
4. World Bank Group / ESMAP / Solargis. – 2026. Global Solar Atlas. Retrieved from. – URL : https://globalsolaratlas.info (date of application 09.03.2026).
5. Махсумов И.Б. Технические и экономические аспекты использования возобновляемых источников энергии / И.Б. Махсумов, А.Н. Давлатзода, К.Ш. Шокиров // Энергетика: состояние и перспективы развития: материалы международной научно-практической конференции, Душанбе, 23 декабря 2024 г. – Душанбе : Aprint, 2024. – С. 99–106.
6. IRENA – International Renewable Energy Agency. – URL : https://www.nrel.gov/analysis/assets/images/nrel-jisea-nicholson-box-plot.jpg (date of application 09.03.2026).
7. International Energy Agency. World Energy Outlook 2023. Retrieved from. – 2023. – URL : https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023 (date of application 09.03.2026).
8. Илюшин П.В. О возможности применения трансформаторов отбора мощности для интеграции локальных энергорайонов с гибридными энергетическими комплексами на основе возобновляемых источников энергии / П.В. Илюшин, И.С. Носиров, И.Б. Махсумов // Релейная защита и автоматизация. – 2025. – № 4(61). – С. 26–37.
9. Makhsumov I.B. Performance Analysis of Autonomous Solar Power Plants Using the PVsyst Software Package Under the Conditions of the Southern Regions of the Republic of Tajikistan / I.B. Makhsumov, A.N. Davlatzoda // Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. – 2025. – Vol. 18. – № 6(127). – P. 763–777.
10. REN21. Renewables 2023 Global Status Report. Retrieved from. – 2023. – URL : https://www.ren21.net/reports/global-status-report (date of application 09.03.2026).

List of references:

1. Makhsumov I.B. Ecological and economic features and prospects for the development of renewable energy / I.B. Makhsumov, Z.S. Rakhimov, H.A. Rakhimov // Energy: state and prospects of development: proceedings of the international scientific-practical conference, Dushanbe, 23 December 2024. – Dushanbe : Aprint, 2024. – P. 115–122.
2. Makhsumov I.B. Prospects and challenges of solar energy in the era of sustainable development / I.B. Makhsumov, M.B. Kholnazarov // Technical and Technological Systems: Proceedings of the XV International Scientific Conference, Krasnodar, 20–22 November 2024. – Krasnodar : Limited Liability Company «Publishing House – Yug», 2024. – P. 252–257.
3. Silemonov D.S. Economic and environmental aspects of solar energy application in urban conditions / D.S. Silemonov, G. Safarzoda, B.V. Khudonazarov // Butakov Readings: Collection of articles of the IV All-Russian with international participation youth conference, Tomsk, 10–12 December 2024. – Tomsk : National Research Tomsk Polytechnic University, 2024. – P. 299–302.

4. World Bank Group / ESMAP / Solargis. – 2026. Global Solar Atlas. Retrieved from. – URL : https://globalsolaratlas.info (date of application 09.03.2026).

5. Makhsumov I.B. Technical and economic aspects of the use of renewable energy / I.B. Makhsumov, A.N. Davlatzoda, K.Sh. Shokirov // Energy: state and prospects of development: proceedings of the international scientific-practical conference, Dushanbe, 23 December 2024. – Dushanbe : Aprint, 2024. – P. 99–106.

6. IRENA – International Renewable Energy Agency. – URL : https://www.nrel.gov/analysis/assets/images/nrel-jisea-nicholson-box-plot.jpg (date of application 09.03.2026).

7. International Energy Agency. World Energy Outlook 2023. Retrieved from. – 2023. – URL : https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023 (date of application 09.03.2026).

8. Ilyushin P.V. On the possibility of using power take-off transformers for the integration of local power districts with hybrid energy complexes based on renewable energy sources / P.V. Ilyushin, I.S. Nosirov, I.B. Makhsumov // Relay protection and automation. – 2025. – № 4(61). – P. 26–37.

9. Makhsumov I.B. Performance Analysis of Autonomous Solar Power Plants Using the PVsyst Software Package Under the Conditions of the Southern Regions of the Republic of Tajikistan / I.B. Makhsumov, A.N. Davlatzoda // Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. – 2025. – Vol. 18. – № 6(127). – P. 763–777.

10. REN21. Renewables 2023 Global Status Report. Retrieved from. – 2023. – URL : https://www.ren21.net/reports/global-status-report (date of application 09.03.2026).