

Научно-технический журнал

ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Выпуск #1 (2026)

Энергетические системы и комплексы

Сироткин Е.А. Обзор методов оценки надежности морских ветровых энергоустановок

Корнякова О.Ю. Актуальность использования тепловых насосов на ТЭС

Махсумов И.Б., Давлатзода А.Н., Хасанзода Б.М.
Энергетический ландшафт Центральной Азии и роль возобновляемых источников энергии в трансформации региональных энергосистем

Турбوماшины и поршневые двигатели

Осинцев К.В. Расчет теплообменников системы утилизации теплоты газопоршневой установки

О журнале

Краткая информация

Журнал «Тепловые электрические станции»—ежеквартальный научно-технический рецензируемый журнал.

Журнал публикует материалы о современном состоянии науки и техники в области тепловой энергетики, теплотехники, турбомашиностроения и смежных областях. Освещает вопросы рационального и эффективного использования топливно-энергетических ресурсов, экологически чистых и безотходных технологий, возобновляемых источников энергии, теплофикации, решения наиболее важных научно-технических проблем в области энергетики. Журнал рассчитан на ученых и специалистов, работающих на электростанциях и предприятиях энергомашиностроительной промышленности, инженеров-исследователей, научно-педагогических работников и обучающихся по профильным направлениям.

Журнал находится в открытом доступе. За публикацию рукописей плата с авторов, включая студентов и аспирантов, не взимается. Авторский гонорар за издание статей не начисляется.

Журнал «Тепловые электрические станции» индексируется в РИНЦ.

История переименований

С 2013 г. по 2025 г. «Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых».

С апреля 2025 г. переименован в «Тепловые электрические станции».

Разделы журнала

1. Энергетические системы и комплексы.
2. Турбомашинны и поршневые двигатели.
3. Краткие сообщения. Успехи в области энергетики и турбомашиностроения.

Учредитель и издатель

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский
государственный университет
(национальный исследовательский
университет)»

Редакционная коллегия

Главный редактор:

Осинцев К.В., доктор техн. наук

Зам. главного редактора:

Пшениснов Н.А., канд. техн. наук

Члены редколлегии:

Кирпичникова И.М., доктор техн. наук

Соломин Е.В., доктор техн. наук

Возмилов А.Г., доктор техн. наук

Ганджа С.А., доктор техн. наук

Тягунов М.Г., доктор техн. наук

Горожанкин А.Н., доктор техн. наук

Задорожная Е.А., доктор техн. наук

Леванов И.Г., доктор техн. наук

Редакция

Технический редактор:

Левашова И. В.

Контакты

Адрес редакции:

454080, г. Челябинск, просп. В.И.

Ленина, д. 76

Телефоны:

+7 (351) 267-93-95

+7 (952) 527 67 24

E-mail:

thermalpowerplants@mail.ru

Веб-сайт:

<https://tes.susu.ru>

ISSN (эл. версии): 3033-5590

Научно-технический журнал

ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Выпуск #1 (2026)

Содержание

Энергетические системы и комплексы

Сироткин Е.А. Обзор методов оценки надежности морских ветровых энергоустановок.....	2
Корнякова О.Ю. Актуальность использования тепловых насосов на ТЭС.....	6
Махсумов И.Б., Давлатзода А.Н., Хасанзода Б.М. Энергетический ландшафт Центральной Азии и роль возобновляемых источников энергии в трансформации региональных энергосистем.....	10

Турбомашины и поршневые двигатели

Осинцев К.В. Расчет теплообменников системы утилизации теплоты газопоршневой установки.....	18
--	----

Энергетические системы и комплексы

ОБЗОР МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ МОРСКИХ ВЕТРОВЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

- **Сироткин Е.А.**, канд. техн. наук, ООО «Инсмартавтоматика», г. Челябинск, Россия

REVIEW OF METHODS FOR ASSESSING THE RELIABILITY OF OFFSHORE WIND TURBINES

- **Sirotkin E. A.**, Ph.D., Insmartavtomatika LLC, Chelyabinsk, Russia

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения надежности и эффективности эксплуатации ветроэнергетических установок, особенно в условиях морских и прибрежных зон, где оборудование подвергается воздействию сложных климатических и эксплуатационных факторов.

В работе рассматриваются вопросы оценки надежности основных элементов ветроустановок с учетом особенностей их конструктивного исполнения и условий эксплуатации.

Проведен анализ различных вариантов компоновки и сборки ветроэнергетической установки, предназначенной для размещения в морских прибрежных районах, включая оценку влияния конструктивных решений на показатели надежности и долговечности оборудования.

Полученные результаты подтверждают целесообразность использования стандартных методик оценки надежности, применяющихся в нашей стране, но с использованием мирового опыта эксплуатации. Сделаны выводы о целесообразности реинжиниринга основных элементов ветроустановок в России.

Ключевые слова: ветроустановка, морские установки, надежность, методология, мониторинг надежности.

The relevance of this research is determined by the need to improve the reliability and operational efficiency of wind power installations, particularly in offshore and coastal zones where equipment is exposed to complex climatic and operational conditions.

The study addresses the assessment of the reliability of the main components of wind turbines, taking into account the specifics of their structural design and operating conditions.

An analysis of different configuration and assembly options for a wind power installation intended for deployment in marine coastal areas is carried out, including an evaluation of how design solutions influence reliability indicators and the durability of the equipment.

The results obtained confirm the feasibility of applying standard reliability assessment methodologies used in our country, while incorporating international operational experience. Based on the conducted research, conclusions are drawn regarding the expediency of reengineering the key components of wind power installations in Russia in order to improve their reliability, performance, and adaptability to modern operating conditions.

Key words: wind turbine, offshore installations, reliability, methodology, reliability monitoring.

Введение

Рассмотрим надежность и эффективность работы отдельных элементов ветроустановок, устанавливаемых в прибрежных зонах морей и океанов.

Данные энергетические комплексы широко применяются за границей. Для внедрения подобных на территории нашей страны необходимо провести анализ наиболее уязвимых деталей и систем [1-3].

Основные элементы морской ветряной турбины и их влияние на работоспособность системы в целом

Система рыскания отвечает за ориентирование гондолы по ветру в процессе эксплуатации. Она включает около 10 электродвигателей с редукторами, закрепленных на опорной плите гондолы. Каждый электродвигатель приводится в действие через шестерню, которая взаимодействует с внутренним зубчатым кольцом подшипника рыскания. Масса каждого привода достигает 1 тонны, а передаточное число примерно равно 300:1. Для снижения постоянной нагрузки на приводы применяется набор из примерно 10 суппортов.

Гидравлические тормоза фиксируют положение опоры рыскания, за исключением моментов, когда необходимо ее поворачивать. Во время работы, несмотря на незначительные повороты гондолы на несколько градусов с интервалом в несколько минут для выравнивания по ветру, тормоза гасят лишние движения. Положение гондолы контролируется датчиками, а концевые выключатели препятствуют чрезмерному проворачиванию тросов вниз по башне.

Опора системы рыскания представляет собой соединительный элемент между гондолой и башней, позволяющий поворачивать гондолу в любом направлении относительно ветра во время эксплуатации. Стоимость подшипников рыскания значительно колеблется в зависимости от конструкции гондолы. Обычно это однорядные шарикоподшипники с четырехточечным контактом, выполненные из кованных колец из стали марки 42CrMo4 с последующей закалкой. Шарики изготавливаются из материала 100Cr6. Масса подшипника может достигать 15 тонн. Дорожки качения проходят этапы точной обработки,

включая шлифовку после индукционной закалки. Подшипники испытывают сложные нагрузки и часто работают в условиях либо длительного простоя, либо совершения небольших оборотов. Для обеспечения долговечности очень важна точность плоскостей монтажа — именно поэтому фланец опоры дополнительно подвергается механической обработке после сварки. Внутри подшипника располагаются зубчатые шестерни, работающие в паре с приводами рыскания. Основными элементами являются: кованные и механически обработанные кольца, закаленные и отшлифованные поверхности, шарики, сепараторы (прокладки) и уплотнения.

Также необходимо обратить внимание на вспомогательные системы гондолы при оценке надежности. Различные дополнительные системы обеспечивают бесперебойную автоматическую работу ветровой турбины большую часть времени и способствуют проведению регламентного технического обслуживания, обычно осуществляемого один раз в год. Стоимость вспомогательных систем гондолы существенно зависит от ее конфигурации. К таким системам относятся, например, системы охлаждения и кондиционирования воздуха, анемометрия, противопожарную защиту, источники бесперебойного питания.

Нельзя обойти вниманием и саму гондолу — центральный узел ветряной турбины, который собирается производителем из множества компонентов, зачастую поставляемых различными внешними компаниями. Габариты гондолы для турбины мощностью 15 МВт весьма значительны: ее длина составляет 21-25 метров, ширина — 9-12 метров, а высота для транспортировки — 10-12 метров. Общая масса, включая ступицу, может достигать 600-800 тонн. Основные конструктивные элементы гондолы включают главный подшипник, коробку передач (если она предусмотрена), генератор, поворотный подшипник и систему управления ориентацией.

Функция главного подшипника заключается в поддержке ротора и передаче его нагрузок на конструкцию гондолы. Для морских ветряных турбин разработаны различные схемы компоновки гондол, включая варианты с одним подшипником, который одновременно поддерживает генератор и ротор, а также системы, где главный вал опирается на подшипники с обеих сторон. В случае применения редуктора он выполняет

функцию преобразования низких оборотов ротора (4-8 об/мин) в более высокие (до 600 об/мин) для среднескоростной коробки передач. Надежность редуктора, являющегося критически важным элементом трансмиссии, является залогом длительной и бесперебойной работы ветряной турбины.

Рассмотрим теперь генератор. В контексте морских турбин наблюдается переход от использования редукторов с традиционными высокоскоростными генераторами к системам с низко- и среднескоростными генераторами. Альтернативным решением является применение турбин с прямым приводом, где редуктор отсутствует, но при этом используется более массивный и сложный низкооборотный генератор.

Генератор преобразует механическую энергию в электрическую. В большинстве случаев используются постоянные магниты, которые не нуждаются в подаче энергии для возбуждения. Это способствует высокой эффективности, снижению массы и размеров оборудования, а также уменьшению расходов на транспортировку и установку, несмотря на применение редкоземельных сплавов.

Поворотный подшипник соединяет гондолу с башней, позволяя системе поворота вращать гондолу в любом направлении во время работы. Такая система ориентирует как несущий винт, так и гондолу в сторону ветра во время эксплуатации.

К другим элементам гондолы относятся: опорная плита, которая поддерживает приводную передачу и остальные компоненты гондолы, а также передает нагрузку от несущего винта к башне; главный вал (при наличии), который передает крутящий момент от ротора к коробке передач или, в случае прямого привода, непосредственно к генератору; система управления, обеспечивающая диспетчерское управление (включая контроль работоспособности), регулировку мощности и нагрузки для продления срока службы ветряной турбины и максимизации прибыли при соблюдении нормативных требований; система мониторинга состояния, предназначенная для дополнительной диагностики работы и прогнозирования возможных неисправностей; система отбора электроэнергии и другие вспомогательные системы, поддерживающие отопление, охлаждение, безопасность и другие эксплуатационные или обслуживающие функции.

Методы оценки надежности ветряных турбин

Для определения текущего состояния ветряных турбин используются данные SCADA, которые анализируются с помощью разнообразных методик, включая нечеткий вывод, теорию доказательств, теорию материальных элементов и теорию облаков.

Эти подходы позволяют получить как приблизительные, так и более точные оценки. В последние годы были предложены новые решения: разработан метод мониторинга производительности, опирающийся на высокочастотные данные SCADA. Известны еще два метода: один для оценки снижения производительности на основе имеющихся данных, а другой – для оценки производительности непосредственно по данным SCADA.

Ранее для диагностики аномальных режимов работы турбин использовались различные подходы. Например, применяли принцип максимального членства, анализируя корреляцию выходной мощности. Для борьбы с неопределенностью информации при оценке состояния предложено использовать анализ парных наборов и теорию доказательств.

Результаты оценки методов

Известен метод оценки состояния ветряных турбин с учетом информационной неопределенности, используя технологию потоковой обработки Spark.

Хотя эти работы демонстрируют эффективность в работе с неопределенной информацией, а принцип максимального соответствия и критерий надежности часто применяются для принятия решений о состоянии турбины, они имеют существенные недостатки.

Принцип максимального соответствия не позволяет выявить переходные состояния, поскольку игнорирует второе по величине соответствие, которое может быть критически важным, особенно когда первые два соответствия близки. Кроме того, точность оценки по критерию надежности напрямую зависит от выбора порогового значения надежности, и его некорректный выбор может привести к противоречивым выводам о состоянии турбины.

Заключение

Рассмотрены методы оценки надежности и эффективности работы отдельных элементов ветроустановок, устанавливаемых в прибрежных зонах морей и океанов. Данные энергетические комплексы широко применяются за границей. Для внедрения подобных на территории нашей страны необходимо провести анализ наиболее уязвимых деталей и систем. Кроме того, можно сделать вывод о целесообразности реинжиниринга основных элементов ветроустановки в России.

Список литературы

1. Zhang H., Xiu B., Jiang D., Zhuang G., Zhang Y., Li B. An evaluation method of health condition for wind turbine based on asymmetric proximity // *Frontiers in Energy Research*. 2023. Vol. 11. Article 1111355. doi: 10.3389/fenrg.2023.1111355
2. Breeze P. *Wind Power Generation*. Academic Press. 2015. 104 p. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-04850-2>

Сведения об авторе

Сироткин Евгений Анатольевич – кандидат технических наук, технический директор ООО «Инсмартавтоматика», г. Челябинск, Россия, ea.sirotkin@gmail.com

About the author

Sirotkin Evgeniy Anatolyevich – Ph.D., Technical Director of Insmartavtomatika LLC, Chelyabinsk, Russia, ea.sirotkin@gmail.com

Дата поступления рукописи: 03.03.2026

Дата принятия рукописи: 17.03.2026

3. Rodrigues S., Restrepo C., Katsouris G., et al. A Multi-objective optimization framework for offshore wind farm layouts and electric infrastructures // *Energies*. 2016. Vol. 9, no. 3. P. 216. doi: 10.3390/en9030216.

References

1. Zhang H., Xiu B., Jiang D., Zhuang G., Zhang Y., Li B. An evaluation method of health condition for wind turbine based on asymmetric proximity // *Frontiers in Energy Research*. 2023. Vol. 11. Article 1111355. doi: 10.3389/fenrg.2023.1111355
2. Breeze P. *Wind Power Generation*. Academic Press. 2015. 104 p. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-04850-2>
3. Rodrigues S., Restrepo C., Katsouris G., et al. A Multi-objective optimization framework for offshore wind farm layouts and electric infrastructures // *Energies*. 2016. Vol. 9, no. 3. P. 216. doi: 10.3390/en9030216.

АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ НА ТЭС

- **Корнякова О.Ю.**, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, Россия

THE RELEVANCE OF USING HEAT PUMPS AT THERMAL POWER PLANTS

- **Kornyakova O.Yu.**, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia

Актуальность работы заключается в оценке практической применимости тепловых насосов на тепловых электростанциях. Исследование включает анализ вариантов размещения тепловых насосов, определение оптимальных габаритов теплообменников и подбор источников тепла с учетом их температурных характеристик. Важно отметить, что выбор хладагента напрямую связан с температурой теплового источника и рабочими давлениями, а эффективность теплообмена, определяющая размеры теплообменных поверхностей, зависит от коэффициента теплопередачи.

Полученные результаты подтверждают целесообразность внедрения тепловых насосов для утилизации отходящего тепла и интеграции с возобновляемыми источниками энергии.

Ключевые слова: низкопотенциальная энергия, тепловой насос, грунт, вода.

The relevance of this study lies in assessing the practical applicability of heat pumps in thermal power plants. The research includes an analysis of heat pump placement options, determining the optimal heat exchanger dimensions, and selecting heat sources based on their temperature characteristics. Importantly, the choice of refrigerant is directly related to the heat source temperature and operating pressures, while heat transfer efficiency, which determines the size of heat exchange surfaces, depends on the heat transfer coefficient.

The obtained results confirm the feasibility of implementing heat pumps for waste heat recovery and integration with renewable energy sources.

Key words: low-potential energy, heat pump, ground, water.

Введение

Тепловые электростанции (ТЭС) продолжают играть ключевую роль в обеспечении электроэнергией как в мире, так и в России. Так, в 2024 году на их долю в России пришлось свыше 57% от общего объема выработки электроэнергии. Тем не менее, их относительно невысокий средний КПД – около 35–40% – приводит к значительным потерям энергии топлива. Повышение эффективности работы ТЭС позволяет существенно сократить расход топлива [1], что особенно актуально на фоне растущих цен на энергоносители. Это способствует снижению затрат на производство электроэнергии и увеличивает конкурентоспособность энергетических компа-

ний. Помимо этого, модернизация станций способствует росту их производительности и продлению срока эксплуатации оборудования.

Кроме того, ТЭС оказывают воздействие на водные экосистемы за счёт сброса нагретой воды, что нарушает природный баланс водоёмов. Повышение эффективности производства нередко предполагает внедрение систем замкнутого водоснабжения и передовых технологий очистки сточных вод.

Модернизация ТЭС стимулирует развитие новых технических решений и материалов. Использование сплавов и композитов, выдерживающих повышенные температуры и давления, способствует увеличению эффективности турбин. Внедрение цифровых систем управления

и методов машинного обучения оптимизирует работу электростанций, улучшает прогнозирование технических неполадок и повышает их надёжность. Такие инновации не только развивают энергетическую отрасль, но и оказывают положительное влияние на смежные сферы.

Ископаемое топливо – уголь, газ и мазут – является невозобновляемым ресурсом, запасы которого со временем уменьшаются. Усиление эффективности ТЭС позволяет более рационально расходовать эти ресурсы, что имеет большое значение для обеспечения долгосрочной энергетической безопасности. Кроме того, обновление оборудования снижает зависимость от импортных энергоносителей и укрепляет энергетическую независимость страны.

В рамках Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики на период до 2042 года в России предусмотрена модернизация примерно 67 ГВт электростанций, из которых около 63,9 ГВт приходится на тепловые станции.

Актуальность темы исследования

Тепловые насосы представляют собой устройства передачи низкопотенциальной теплоты теплоносителю, используемому потребителем в целях горячего водоснабжения или отопления. В качестве нижнего источника обычно используют воду, грунт или воздух. Хладагент выбирают в зависимости от давления в контуре и необходимой температуры в конденсаторе.

Тенденции развития энергетической отрасли страны связаны с строительством новых энергоблоков тепловых электростанций, работающих на базе парогазовых установок.

Дальнейшее повышение КПД ТЭС должно быть связано с использованием возобновляемой энергетики и низкопотенциальных источников энергии.

Методы оценки эффективности тепловых насосов

Промышленное освоение низкопотенциальной энергии напрямую зависит от разработки надёжных тепловых насосов и их составляющих. Ключевая задача при проектировании теплообменников – найти оптимальное соотношение между их площадью, эффективностью теплопередачи и потерями давления при движении хла-

дагента. Эти оптимизационные решения должны быть применимы ко всем парожидкостным компрессионным установкам и гармонизировать с расчетом эксергетических потерь на каждом этапе цикла. Эксергетический метод, как наиболее адекватный для термодинамического анализа тепловых насосов, лежит в основе данного исследования.

Результаты

Проектирование теплового насоса начинается с понимания его базовой конструкции, включающей испаритель, конденсатор, компрессор и расширительный клапан. Для точного расчета цикла и подбора оборудования инженеры опираются на диаграммы и таблицы насыщения для конкретного хладагента. Выбор испарителя и конденсатора требует предварительного определения коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи, что позволяет рассчитать необходимую площадь теплообмена.

Компрессор подбирается исходя из требуемого давления и расхода хладагента, а расширительный клапан – по необходимому перепаду давления. Для обеспечения эффективной работы и возможности регулирования, схема может быть дополнена измерительными приборами и системами автоматизации. Кроме того, в процессе проектирования необходимо предусмотреть подключение промежуточного теплоносителя и четко определить назначение вырабатываемого тепла (верхний источник), а затем разработать схему подключения для выявленных потребителей.

Обсуждение

Тепловые электрические станции являются крупными источниками загрязнения окружающей среды. При сжигании топлива в атмосферу выделяются углекислый газ (CO_2), оксиды серы (SO_2), оксиды азота (NO_x), зольные остатки и прочие вредные компоненты. Эти выбросы усиливают парниковый эффект, вызывают кислотные дожди, ухудшают качество воздуха и негативно сказываются на здоровье населения.

Увеличение КПД позволяет уменьшить количество используемого топлива и, следовательно, снизить объём вредных выбросов. Например, применение парогазовых установок (ПГУ) мо-

жет сократить удельные выбросы NO_x и SO_2 почти вдвое по сравнению с традиционными ТЭС.

Не стоит забывать и о тепловом загрязнении окружающей среды [2]. На тепловой электростанции образуется несколько потоков тёплых сточных вод: охлаждающая вода конденсаторов турбин (обычно 25–40 °С); продувочные воды систем охлаждения и теплообменников; дренажные и ливневые стоки с тёплых зон станции; воды после промывки оборудования и фильтров.

Даже при таких невысоких температурах в этих потоках заключено значительное количество тепловой энергии, которое можно утилизировать.

Схема работы тепловых насосов на сточных водах ТЭС

Сточные воды ТЭС направляются в теплообменник испаритель теплового насоса. Тепло извлекается, стоки охлаждаются на несколько градусов (например, с 35 °С до 28 °С). Полученное тепло переносится в целевой контур (отопление, ГВС, подогрев обратной сетевой воды и т. п.).

Охлаждённые стоки могут возвращаться в технологический цикл ТЭС; направляться на очистные сооружения с меньшей тепловой нагрузкой; сбрасываться в водоём с меньшим тепловым воздействием.

Применение таких тепловых насосов дает для ТЭС [3]:

1.Повышение КПД станции. Часть бросового тепла возвращается в энергетический цикл или используется для собственных нужд ТЭС.

2.Снижение теплового загрязнения водоёмов. Охлаждённые стоки меньше нагревают приёмный водоём.

3.Экономия топлива. Меньше требуется газа/угля для подогрева сетевой воды или ГВС.

4.Соответствие экологическим нормам. Снижение температуры сбросов часто регламентируется природоохранным законодательством.

5.Гибкость интеграции. Тепловой насос можно вписать в существующую инфраструктуру ТЭС без кардинальной перестройки.

Выводы

Проведен анализ методов повышения энергетической эффективности ТЭС. Предложены варианты применения технологий сжигания

органического топлива, увеличивающих КПД котельных агрегатов, а также использования Внедрение тепловых насосов в существующую схему ТЭС является эффективным решением для повышения её общей производительности. Принцип заключается в том, что тепловые насосы работают в дополнительном цикле, дают возможность использовать теплоносители с более низкими температурами, которые ранее могли быть недоступны или неэффективны для выработки теплоты, тем самым оптимизируя использование энергоресурсов станции.

Список литературы

1. Мухутдинов, А. Р. Повышение эффективности процесса горения топлива на ТЭС / А. Р. Мухутдинов, З. Р. Вахидова, П. Е. Любимов // Промышленная энергетика. – 2010. – № 9. – С. 46-52.
2. Наумов, А. В. Повышение эффективности систем оборотного водоснабжения ТЭС в рамках городской застройки / А. В. Наумов, А. В. Волков, А. А. Вихлянцев // Энергосбережение - теория и практика : труды Девятой Международной школы-семинара молодых ученых и специалистов, Москва, 05–12 октября 2018 года. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2018. – С. 562-564.
3. Шарипова, С. С. Повышение энергетической эффективности ТЭС путем применения тепловых насосов / С. С. Шарипова // ПРОРЫВНЫЕ НАУЧНЫЕ исследования КАК ДВИГАТЕЛЬ науки : сборник статей Международной научно-практической конференции, Тюмень, 26 апреля 2019 года. Том Часть 1. – Тюмень: Общество с ограниченной ответственностью «ОМЕГА САЙНС», 2019. – С. 207-211.

References

1. Mukhutdinov, A. R. Increasing the efficiency of the fuel combustion process at thermal power plants / A. R. Mukhutdinov, Z. R. Vakhidova, P. E. Lyubimov // Industrial Power Engineering. – 2010. – No. 9. – Pp. 46-52.
2. Naumov, A. V. Increasing the efficiency of circulating water supply systems at thermal power plants within the framework of urban development / A. V. Naumov, A. V. Volkov, A. A. Vikhlyantsev // Energy Saving - Theory and Practice: Proceedings of the Ninth International School-Seminar for Young Scientists and Specialists, Moscow, October 5-12,

2018. – Moscow: MPEI Publishing House, 2018. – Pp. 562-564.

3. Sharipova, S. S. Increasing the energy efficiency of thermal power plants through the use of heat pumps / S. S. Sharipova // BREAKTHROUGH SCIENTIFIC RESEARCH AS THE ENGINE of

science: collection of articles from the International scientific and practical conference, Tyumen, April 26, 2019. Volume Part 1. – Tyumen: Limited Liability Company «OMEGA SCIENCES», 2019. – Pp. 207-211.

Сведения об авторе

Корнякова Ольга Юрьевна – старший преподаватель кафедры «Промышленная теплоэнергетика», ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск, Россия, korniakovaoi@susu.ru.

About the author

Korniyakova Olga Yuryevna – Senior Lecturer, Department of Industrial Heat Power Engineering, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, korniakovaoi@susu.ru.

Дата поступления рукописи: 02.02.2026

Дата принятия рукописи: 17.03.2026

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

- **Махсумов И.Б.**, канд. техн. наук, Институт энергетики Таджикистана, р-н. Кушониён, Республика Таджикистан
- **Давлатзода А.Н.**, Институт энергетики Таджикистана, р-н. Кушониён, Республика Таджикистан
- **Хасанзода Б.М.**, Агентство государственного энергетического надзора при Президенте Республики Таджикистан, г. Душанбе, Республика Таджикистан

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

- **Makhsumov I.B.**, Ph.D., Tajik Power Engineering Institute, Kushoniyon District, Republic of Tajikistan
- **Davlatzoda A.N.**, Tajik Power Engineering Institute, Kushoniyon District, Republic of Tajikistan
- **Hasanzoda B.M.**, State Energy Supervision Agency under the President of the Republic of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan

В статье рассматривается энергетический ландшафт стран Центральной Азии и роль возобновляемых источников энергии в трансформации региональных электроэнергетических систем. Актуальность исследования обусловлена ростом потребления электроэнергии, необходимостью повышения энергетической безопасности и экологической устойчивости энергетического сектора региона. Целью работы является анализ структуры генерации электроэнергии стран Центральной Азии и оценка потенциала внедрения возобновляемых источников энергии, прежде всего солнечной энергетики. В исследовании использованы методы сравнительного анализа, системного подхода и обобщения статистических и научных данных. Проведённый анализ показал наличие структурной асимметрии энергосистем региона, обусловленной различиями природно-ресурсной базы. Полученные результаты подтверждают, что развитие солнечной энергетики и интеграция ВИЭ могут способствовать диверсификации генерации, повышению устойчивости энергосистем и модернизации энергетической инфраструктуры Центральной Азии.

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

The article examines the energy landscape of the Central Asian countries and the role of renewable energy sources in the transformation of regional power systems. The relevance of the study is determined by the growing electricity demand, the need to strengthen energy security, and the importance of improving the environmental sustainability of the regional energy sector. The purpose of the work is to analyze the structure of electricity generation in the countries of Central Asia and to assess the potential for the development of renewable energy sources, particularly solar energy. The research is based on methods of comparative analysis, a systems approach, and the generalization of statistical and scientific data.

The analysis reveals a structural asymmetry of the regional power systems caused

by differences in the natural resource base. The obtained results demonstrate that the development of solar energy and the integration of renewable energy sources can contribute to the diversification of electricity generation, enhance the resilience of power systems, and support the modernization of the energy infrastructure of Central Asia.

Key words: 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 [1,2].

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 [3,4].

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 [5].

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

Структура электроэнергетических систем Центральной Азии

Электрэнергетические 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 [6].

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 рис. 1 представлена концептуальная схема энергетической системы Центральной Азии, а на рис 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 [7].

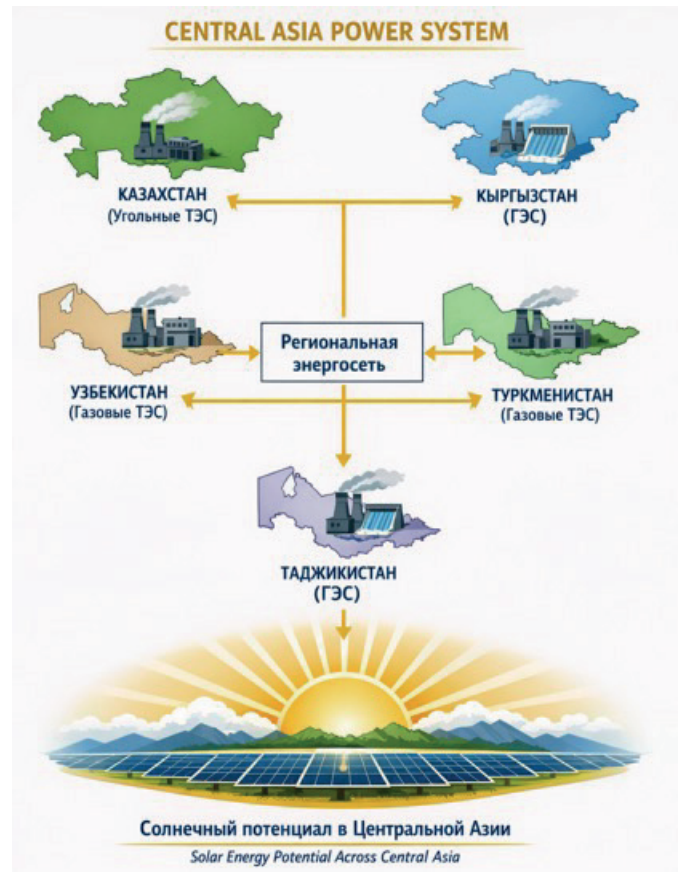


Рис. 1. Структура и взаимосвязь энергетических систем стран Центральной Азии

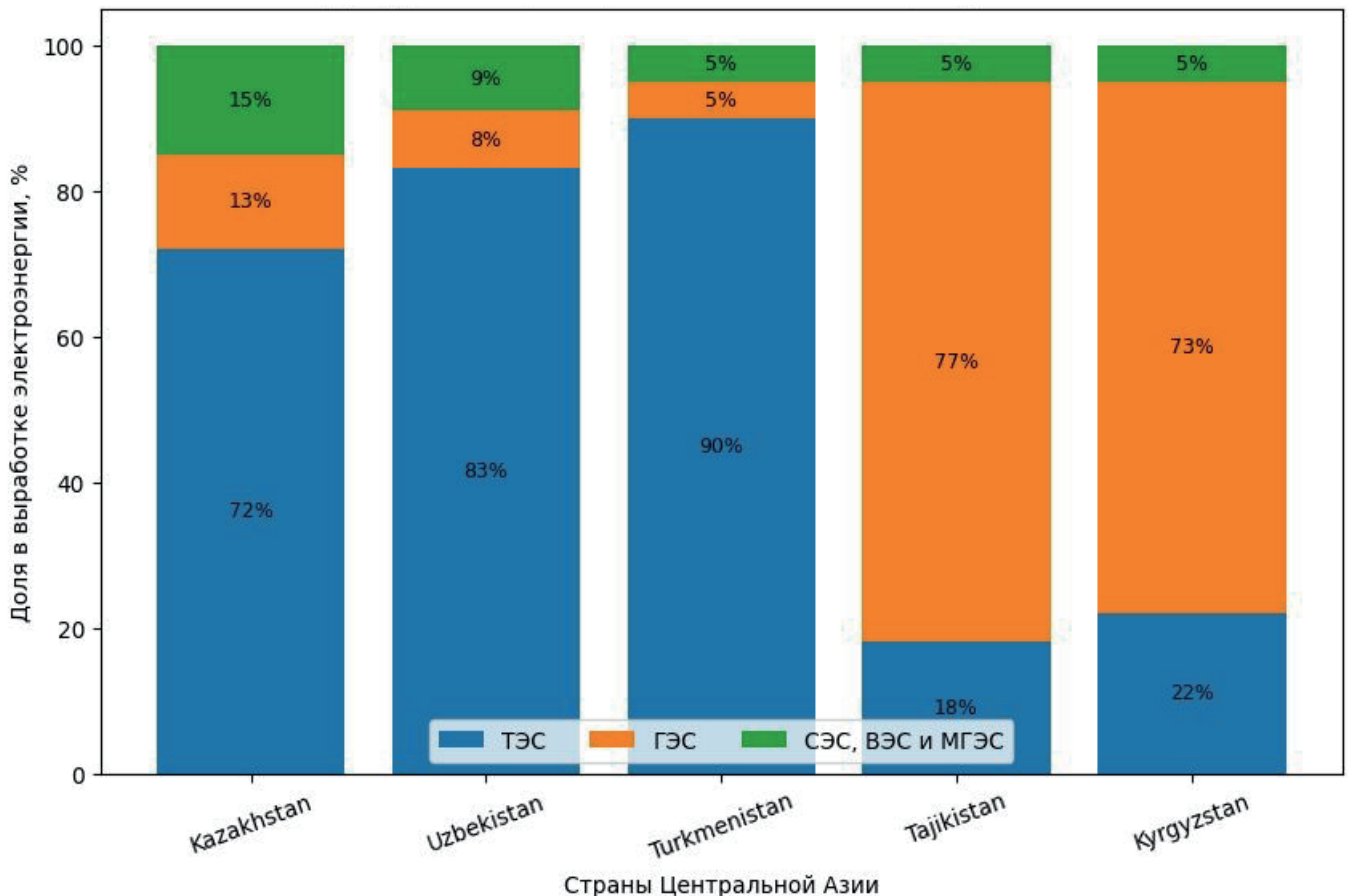


Рис. 2. Структура электроэнергетических систем Центральной Азии

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 электростанций
Туркменистан	газовая энергетика	природный газ	экспортно-ориентированная энергетическая система

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

Представленная диаграмма на рис. 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 [8].

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.

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 [9].

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.

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 [10].

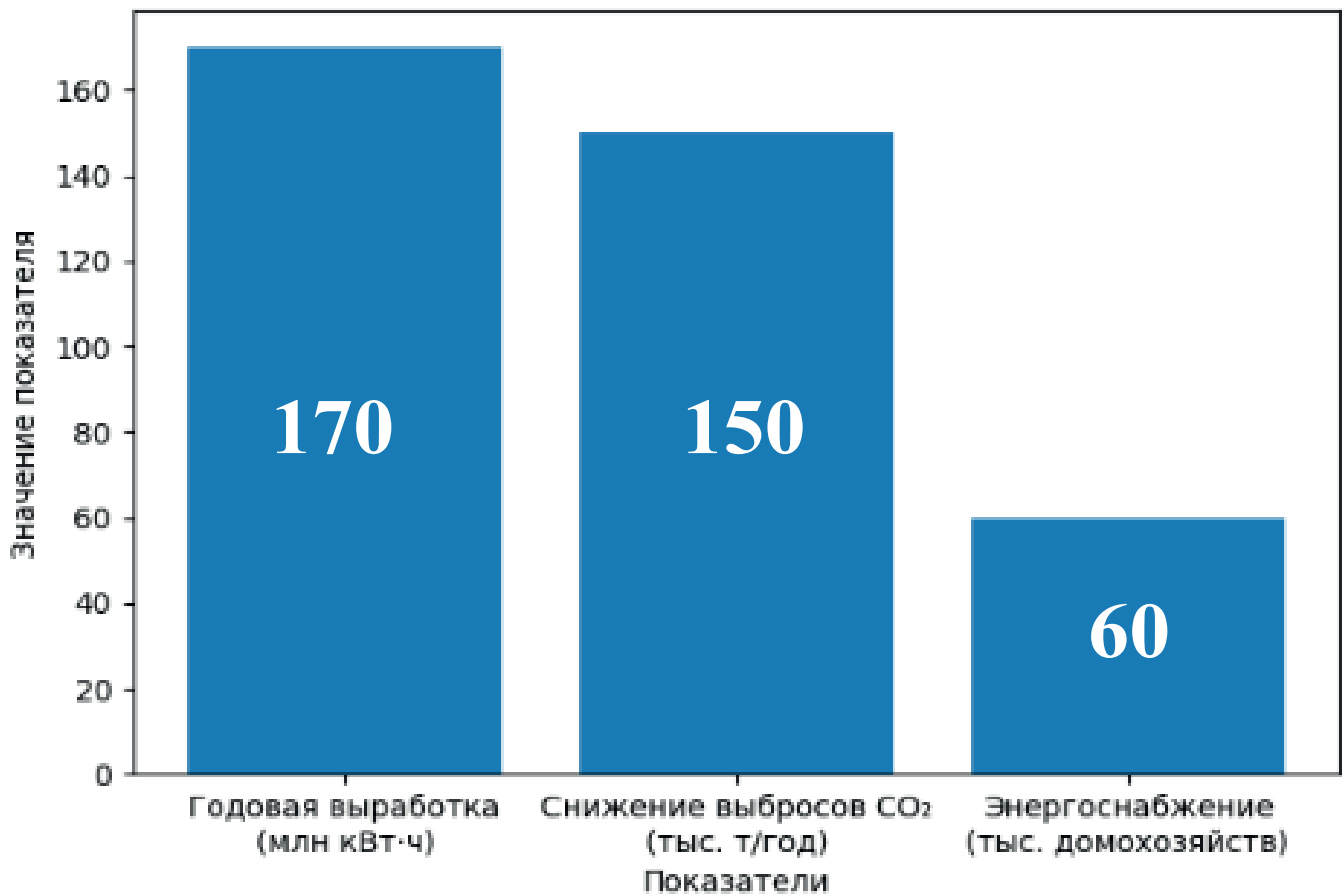


Рис. 3. Ключевые эффекты солнечной электростанции 100 МВт

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 рис. 3.

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 генера-

цию. 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 [11-12].

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.

Практическая значимость работы. Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных результатов при планировании развития энергетического сектора стран Центральной Азии. Проведённый анализ структуры генерации электроэнергии и потенциала возобновляемых источников энергии позволяет определить перспективные направления модернизации региональных энергосистем.

Полученные результаты могут применяться при модернизации энергетической инфраструктуры, повышении устойчивости энергосистем и диверсификации структуры генерации электроэнергии. Кроме того, материалы исследования могут быть использованы в научной и образовательной деятельности, а также при подготовке специалистов в области энергетики и возобновляемых источников энергии.

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., Рахимов З.С., Рахимов Х.А. Экологические и экономические особенности и перспективы развития возобновляемых источников энергии // 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. Комплексный анализ факторов, влияющих на эффективность солнечных элементов // Тепловые электрические станции. – 2025. – № 1(1). – С. 2-9.
3. Махсумов И.Б., Холназаров М.Б. Перспективы и вызовы солнечной энергетики в эпоху устойчивого развития // Технические и технологические системы: материалы XV Международной научной конференции, Краснодар, 20–22 ноября 2024 г. – Краснодар: Общество с ограниченной ответственностью „Издательский Дом – Юг”, 2024. С. 252-257.
4. Махсумов И.Б., Зувайдуллозода Ф.З. Возобновляемая энергетика: современное состояние, мировой опыт и перспективы развития в Таджикистане // Тепловые электрические станции. – 2025. – № 4(4). – С. 2-9.
5. Силемонов Д.С., Сафарзода Г., Худоназаров Б.В. Экономические и экологические аспекты применения солнечной энергетики в городских условиях // 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.
6. World Bank Group / ESMAP / SolarGIS. (2026). Global Solar Atlas. Retrieved from [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://globalsolaratlas.info/> (дата обращения: 09.03.2026).
7. Махсумов И.Б., Давлатзода А.Н., Шокиров К.Ш. Технические и экономические аспекты использования возобновляемых источников энергии // Энергетика: состояние и перспективы развития: материалы международной научно-практической конференции, Душанбе, 23 декабря 2024 г. – Душанбе: Aprint, 2024. С. 99-106.
8. IRENA – International Renewable Energy Agency [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nrel.gov/analysis/assets/images/nrel-ji->

sea-nicholson-box-plot.jpg (дата обращения: 09.03.2026).

9. International Energy Agency. (2023). World Energy Outlook 2023. Retrieved from [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023> (дата обращения: 09.03.2026).

10. Илюшин П.В., Носиров И.С., Махсумов И.Б. О возможности применения трансформаторов отбора мощности для интеграции локальных энергорайонов с гибридными энергетическими комплексами на основе возобновляемых источников энергии // Релейная защита и автоматизация. – 2025. – № 4(61). – С. 26-37.

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

12. REN21. (2023). Renewables 2023 Global Status Report. Retrieved from [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/> (дата обращения: 09.03.2026).

References

1. Makhsumov I.B., Rakhimov Z.S., Rakhimov H.A. Ecological and economic features and prospects for the development of renewable energy sources // Energy: state and prospects of development: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. – Dushanbe: Aprint, 2024. – P. 115–122 (in Russ.).

2. Makhsumov I.B. Comprehensive analysis of factors influencing the efficiency of solar cells // Thermal power plants. – 2025. – No. 1(1). – P. 2–9 (in Russ.).

3. Makhsumov I.B., Kholnazarov M.B. Prospects and challenges of solar energy in the era of sustainable development // Technical and technological systems: Proceedings of the XV International Scientific Conference. – Krasnodar: Publishing

House – Yug, 2024. – P. 252–257 (in Russ.).

4. Makhsumov I.B., Zuvaydulozoda F.Z. Renewable energy: current state, global experience and development prospects in Tajikistan // Thermal power plants. – 2025. – No. 4(4). – P. 2–9 (in Russ.).

5. Silemonov D.S., Safarzoda G., Khudonazarov B.V. Economic and environmental aspects of solar energy application in urban conditions // Butakov readings: Proceedings of the IV All-Russian Youth Conference with International Participation. – Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2024. – P. 299–302 (in Russ.).

6. Global Solar Atlas // World Bank Group, ESMAP, Solargis. – Available at: <https://globalsolaratlas.info/> (accessed 09.03.2026).

7. Makhsumov I.B., Davlatzoda A.N., Shokirov K.Sh. Technical and economic aspects of renewable energy use // Energy: state and prospects of development: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. – Dushanbe: Aprint, 2024. – P. 99–106 (in Russ.).

8. International Renewable Energy Agency (IRENA). Renewable energy statistics and reports. – Available at: <https://www.irena.org/> (accessed 09.03.2026).

9. International Energy Agency (IEA). World Energy Outlook 2023. – Available at: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023> (accessed 09.03.2026).

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

11. Makhsumov I.B., Davlatzoda A.N. Performance analysis of autonomous solar power plants using the PVsyst software package under the conditions of the southern regions of the Republic of Tajikistan // Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. – 2025. – Vol. 18. – No. 6(127). – P. 763–777.

12. REN21. Renewables 2023 Global Status Report. – Available at: <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/> (accessed 09.03.2026).

Сведения об авторах

Махсумов Илхом Бурхонович – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой альтернативных источников энергии Института энергетики Таджикистана, р-н. Кушониён, Республика Таджикистан, messi.ilhom@gmail.com.

Давлатзода Абуфазл Нусратулло – аспирант кафедры альтернативных источников энергии Института энергетики Таджикистана, р-н. Кушониён, Республика Таджикистан, davlatzoda_88@mail.ru.

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

About the authors

Makhsumov Ilhom Burkhonovich – Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Alternative Energy Sources, Institute of Energy of Tajikistan, Kushoniyon district, Republic of Tajikistan, messi.ilhom@gmail.com.

Davlatzoda Abufazl Nusratullo – Ph.D. student of the Department of Alternative Energy Sources, Institute of Energy of Tajikistan, Kushoniyon district, Republic of Tajikistan, davlatzoda_88@mail.ru.

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

Дата поступления рукописи: 13.03.2026

Дата принятия рукописи: 17.03.2026

Турбомашины и поршневые двигатели

РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННИКОВ СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ГАЗОПОРШНЕВОЙ УСТАНОВКИ

- **Осинцев К.В.**, доктор техн. наук, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, Россия

CALCULATION OF HEAT EXCHANGERS FOR A GAS PISTON UNIT'S HEAT RECOVERY SYSTEM

- **Osintsev K.V.**, D.Sc., South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia

Работа посвящена исследованию потенциала использования газопоршневых установок на промышленных объектах. Современные промышленные предприятия сталкиваются с вызовами: растущие цены на топливо делают традиционные методы производства электроэнергии менее выгодными, а крупные централизованные энергосистемы не всегда обеспечивают стабильную выработку. Решением этих проблем является развитие малой энергетики, которая способствует повышению энергетической независимости и безопасности потребителей. Эта тенденция усиливается в контексте меняющейся социально-экономической ситуации в стране.

Ключевые слова: когенерация, теплота, электроэнергия, газопоршневая установка.

This paper examines the potential of using gas piston units at industrial facilities. Modern industrial enterprises face challenges: rising fuel prices make traditional electricity generation methods less profitable, and large centralized power systems do not always provide stable output. The solution to these problems lies in the development of small-scale power generation, which contributes to increased energy independence and consumer security. This trend is accelerating in the context of the changing socioeconomic situation in the country.

Key words: cogeneration, heat, electricity, gas piston unit.

Введение

Основные задачи энергетического комплекса Челябинской области сопряжены с направлениями развития электро- и теплоэнергетики региона. Эти задачи можно разделить на: обеспечение бесперебойного и надежного снабжения электроэнергией всех потребителей – как предприятий, так и жителей области; поддержание и укрепление существующей единой энергетической системы, а также ее дальнейшее совершенствование; повышение производительности и устойчивости электроэнергетики за счет внедрения передовых технологий; модернизация газовых

тепловых электростанций, в частности, замена устаревших паросиловых турбин на более эффективные парогазовые установки; снижение негативного воздействия на окружающую среду [1].

Сегодня одной из существенных проблем в сфере теплоснабжения является трудность подключения к централизованным сетям. Это часто связано с большим расстоянием до источников тепла, что влечет за собой значительные финансовые вложения, окупаемость которых может занять длительный период [2].

В то же время для автономных источников энергии, например, компактных газотурбинных

и газопоршневых установок, существенно сокращаются расходы на подключение к централизованным сетям. Более того, их можно разместить практически в любом помещении уже существующего здания [3].

Газопоршневые электростанции работают от газопоршневого двигателя, в котором осуществляется выработка электроэнергии путем сжигания природного газа.

Актуальность темы исследования

Главной целью энергетической стратегии страны до 2050 года является обеспечение промышленного и аграрного комплекса энергоносителями по ценам, приемлемым с точки зрения конкурентоспособности местной продукции на федеральном рынке, создание условий для динамичного развития региона и снижение нагрузки на природную среду. Для достижения этой цели необходимы активная политика энергосбережения, реконструкция действующих ТЭС, использование новых перспективных энергетических технологий, максимальное вовлечение в топливный цикл местных ресурсов и дешевых ресурсов соседних регионов.

Принцип работы ГПУ

Через систему выпуска газы, образующиеся в процессе сгорания в двигателе, выводятся в атмосферу. Благодаря наддуву газозвдушной смеси достигается более высокая мощность при одновременном снижении выбросов вредных веществ. Турбокомпрессор использует энергию и поставляет необходимую для работы двигателю смесь.

Рассмотрим принципиальную схему ГПУ на рисунке 1. На природный газ был переведен самый надежный, с точки зрения авторемонтников и автомобилистов, ярославский дизель ЯМЗ-238, мощности которого с запасом хватает для работы со 100-киловаттным синхронным генератором. Шкаф управления на базе микропроцессорной техники обеспечил надежную и безопасную синхронизацию с внешней сетью, работу аварийных защит, дистанционный контроль и управление по сотовой связи [2].

Однако, далее рассмотрим еще один вариант часто встречающихся на производстве ГПУ – Caterpillar CG260-16.

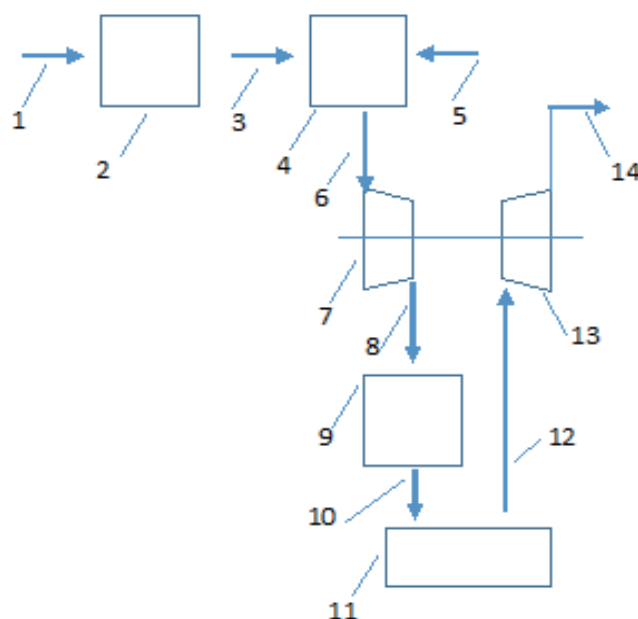


Рис. 1. Принципиальная схема ГПУ:

1 – нагнетаемый воздух; 2 – воздушный фильтр; 3 – фильтрованный воздух; 4 – газозвдушной смеситель; 5 – природный газ; 6 – смесь на компрессор; 7 – колесо компрессора; 8 – от компрессора к охладителю смеси; 9 – охладитель смеси; 10 – охлажденная смесь; 11 – от впускного клапана в цилиндр; 12 – от выпускного клапана; 13 – на турбину; 14 – на глушитель.

Система утилизации теплоты ГПУ Caterpillar CG260-16

Особенностью предлагаемой технологии являются Газопоршневые агрегаты работают с системой утилизации тепла выхлопных газов. Конфигурация системы охлаждения агрегата непосредственным образом связана с системой утилизации тепла выхлопных газов. Для передачи тепла отходящих газов теплофикационной воде предусматривается установка следующего оборудования: теплообменники охлаждающей воды и теплообменник выхлопных газов;

На основе предварительного расчета ГПУ марки Caterpillar CG260-16 с четырехтактным газовым двигателем стационарного типа мощностью об/мин; число цилиндров с наддувом и топливом – природным газом.

Исходные данные для расчета

Теплофикационная обратная вода от части потребителей с температурой 70 °С подается в теплообменники охлаждающей воды и нагревается

до 81,4 °С, затем уже нагретая вода поступает в теплообменники выхлопных газов газопоршневых агрегатов и нагревается до 95 °С.

Расчет теплообменника охлаждающей воды

Проведем тепловой конструктивный расчет теплообменника охлаждающей воды. Расчет состоит в совместном решении уравнения теплового баланса и уравнения теплопередачи.

Уравнение теплового баланса:

$$G_1 \cdot c_{p1} \cdot (t'_1 - t''_1) \cdot \eta = G_2 \cdot c_{p2} \cdot (t''_2 - t'_2) = Q \quad (1)$$

где G_1, G_2 – расходы нагреваемого и греющего теплоносителей; c_{p1}, c_{p2} – удельные изобарные теплоемкости теплофикационной воды и охлаждающей жидкости; t'_1, t''_1 – температура охлаждающей жидкости на входе и выходе из теплообменника; t'_2, t''_2 – температура теплофикационной воды на входе и выходе из теплообменника; η – КПД теплообменного аппарата; Q – тепловая нагрузка

Запишем уравнение теплового баланса в виде:

$$G_2 \cdot c_{p2} \cdot (t''_2 - t'_2) = Q_2 \quad (2)$$

Расход греющего теплоносителя G_2 равен 157 м³/ч = 43,6 кг/с. Удельная изобарная теплоемкость $c_{p2} = 4,1932$ кДж/(кг·°С) при средней температуре воды $t_{cp} = 75,7$ °С.

Подставляя значения в формулу (2), получим $Q_2 = 2084$ кВт.

Уравнение теплопередачи имеет вид:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t \quad (3)$$

где k – коэффициент теплопередачи (примем равным 7902,9 Вт/(м²·°С)); F – площадь поверхности теплообмена; Δt – среднелогарифмический температурный напор.

Среднелогарифмический температурный напор в случае теплообмена без изменений фазового состояния теплоносителя при противотоке рассчитывается по формуле:

$$\Delta t = (\Delta t_6 - \Delta t_m) / \ln(\Delta t_6 / \Delta t_m) \quad (4)$$

где $\Delta t_6, \Delta t_m$ – температурный перепад между теплоносителями на том конце поверхности тепло-

обмена, где он больше или меньше соответственно. Температурные перепады рассчитываются по формулам:

$$\Delta t_6 = t'_1 - t''_2 \quad (5)$$

$$\Delta t_m = t''_1 - t'_2 \quad (6)$$

Подставляя значения в формулы (5, 6) получим, что $\Delta t_6 = 8,6$ °С, $\Delta t_m = 3,8$ °С.

По формуле (4) рассчитаем средний температурный напор $\Delta t = 5,87$ °С, а по формуле (3) площадь поверхности теплообмена $F = 44,9$ м².

Расчет теплообменника теплофикационной воды

Уравнение баланса будет аналогично формуле (1). Теплоемкость изменится и будет равна $c_{p2} = 4,2$ кДж/(кг·°С) при средней температуре воды $t_{cp} = 88,2$ °С.

Таким образом, получим по формуле (2) $Q_1 = 2490$ кВт.

Уравнение теплопередачи имеет вид (3). Для решения этого уравнения необходим среднелогарифмический температурный напор по формуле (4).

По формулам (5, 6) рассчитаем $\Delta t_6 = 364$ °С, $\Delta t_m = 38,6$ °С. Подставляя значения в формулу (4) получим, что $\Delta t = 145$ °С.

Используя формулу (3) определим поверхности теплообмена $F = 2,46$ м².

Выводы

В тепловом расчете теплообменников охлаждающей и теплофикационной воды были определены размеры теплообменных аппаратов. По итогам исследования сформированы практические рекомендации по методике расчета теплообменников, которые послужат руководством при проектировании газопоршневых установок.

Список литературы

1. Попов, Е. В. Возможности использования отводимой теплоты от ДВС. Часть 2. Порядок расчета тепловой нагрузки кожухотрубного теплообменника / Е. В. Попов // Тепловые электрические станции. – 2025. – № 3(3). – С. 11-14.

2. Теплоутилизационный блок мини-ТЭЦ на базе ДВС / А. В. Джулий, Л. Б. Директор, В. М. Зайченко, А. В. Марков // Теплоэнергетика. – 2010. – № 1. – С. 61-65.

3. Гордеев, А. В. Реконструкция водогрейной котельной в мини-ТЭЦ на базе ГПУ / А. В. Гордеев, Д. В. Козлова, Е. А. Курашова // Великие реки' 2018: Труды научного конгресса 20-го Международного научно-промышленного форума. В 3-х томах, Нижний Новгород, 15–18 мая 2018 года / Ответственный редактор А.А. Лапшин. Том 3. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2018. – С. 444-447.

References

1. Popov, E. V. Possibilities of Using Heat Rejected from Internal Combustion Engines. Part 2. Procedure for Calculating the Thermal Load of a She-

ll-and-Tube Heat Exchanger / E. V. Popov // Thermal Power Plants. – 2025. – No. 3(3). – Pp. 11-14.

2. Heat Recovery Unit of a Mini-CHP Plant Based on an Internal Combustion Engine / A. V. Dzhu-liy, L. B. Direktor, V. M. Zaychenko, A. V. Markov // Thermal Power Engineering. – 2010. – No. 1. – Pp. 61-65.

3. Gordeev, A. V. Reconstruction of a hot water boiler house in a mini-CHP based on a gas turbine unit / A. V. Gordeev, D. V. Kozlova, E. A. Kurashova // Great Rivers 2018: Proceedings of the scientific congress of the 20th International Scientific and Industrial Forum. In 3 volumes, Nizhny Novgorod, May 15–18, 2018 / Editor-in-chief A. A. Lapshin. Volume 3. – Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 2018. – Pp. 444-447.

Сведения об авторе

Осинцев Константин Владимирович – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика», ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск, Россия, osintcevk@susu.ru.

About the author

Osintsev Konstantin Vladimirovich – D. Sc., Associate Professor, Head of the Department of Industrial Heat Power Engineering, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia, osintcevk@susu.ru.

Дата поступления рукописи: 27.01.2026

Дата принятия рукописи: 17.03.2026

