

Сведения об авторах

Думан Ансаганулы Әскержанов* – магистрант по специальности «Техническая физика», Шәкәрім университет, Республика Казахстан, научный сотрудник Инжинирингового центра; e-mail: dumanaskerzhanov541@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3706-4087>.

Ринат Кенжеевич Кусаинов – Шәкәрім университет, Республика Казахстан, руководитель Инжинирингового центра; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5166-4761>.

Айнур Жасуланкызы Жасулан – докторант по специальности «Техническая физика», Шәкәрім университет, Республика Казахстан, старший научный сотрудник Инжинирингового центра; e-mail: ainur.99.99.99@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5887-0135>.

Куаныш Даулетович Орманбеков – докторант по специальности «Технологические машины и оборудование», Шәкәрім университет, Республика Казахстан; заведующий лабораторией «Плазменные технологии обработки поверхности материалов» Инжинирингового центра; e-mail: kuanyshe.dauletson@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6099-2812>.

Айбек Бакытжанулы Шынарбек – докторант по специальности «Технологические машины и оборудование», Шәкәрім университет, Республика Казахстан, заведующий лабораторией «Электролитно-плазменные технологии модификации поверхности материалов и материаловедения» Инжинирингового центра; e-mail: shinarbekov16@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2877-5178>.

Information about the Authors

Duman Ansaganuly Askerzhanov* – Master's student in Technical Physics, Shakarim University, Republic of Kazakhstan, Research Fellow at the Engineering Center; e-mail: dumanaskerzhanov541@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3706-4087>.

Rinat Kenzheevich Kusainov – Shakarim University, Republic of Kazakhstan; Head of the Engineering Center; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5166-4761>.

Ainur Zhassulankyzy Zhassulan – PhD student in Technical Physics, Shakarim University, Republic of Kazakhstan, Senior Research Fellow at the Engineering Center; e-mail: ainur.99.99.99@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5887-0135>.

Kuanyshe Dauletovich Ormanbekov – PhD student in Technological Machines and Equipment, Shakarim University, Republic of Kazakhstan, Head of the Plasma Technologies for Materials Surface Treatment Laboratory at the Engineering Center; e-mail: kuanyshe.dauletson@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6099-2812>.

Aibek Bakytzhanuly Shynarbek – PhD student in Technological Machines and Equipment, Shakarim University, Republic of Kazakhstan; Head of the Electrolytic – Plasma Technologies for Materials Surface Modification and Materials Science Laboratory at the Engineering Center; e-mail: shinarbekov16@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2877-5178>.

Редакцияға енуі 05.01.2026

Өңдеуден кейін түсуі 11.03.2026

Жариялауға қабылданды 12.03.2026

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-1\(21\)-64](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-1(21)-64)

МРНТИ: 44.31.31



Н.Т. Рустамов¹, О.Д. Меирбекова^{1*}, Н.Б. Мухамеджанов¹, А.Н. Бергузинов²

¹Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави,
160400, Республика Казахстан г. Туркестан, ул. Б.Саттарханова 29

²Торайгыров университет,
140000, Республика Казахстан г. Павлодар, ул. Ломова, 64

*e-mail: oksana_120183@mail.ru

ЛОКАЛЬНАЯ ФРАКТАЛЬНАЯ СОЛНЕЧНАЯ ТЕПЛОВАЯ СТАНЦИЯ

Аннотация: В данной работе предлагается новый тип фрактальной солнечной тепловой станции (ФСТС), основанной на использовании фрактального солнечного коллектора с модульной архитектурой. Разрабатываемая ФСТС ориентирована на обеспечение локальных потребителей тепловой энергией в автономных и удалённых районах, а также для объектов с ограниченной площадью размещения. Особенностью конструкции является применение фрактальных

©Н.Т. Рустамов, О.Д. Меирбекова, Н.Б. Мухамеджанов, А.Н. Бергузинов, 2026

абсорберов, конфигурация которых позволяет не только эффективно поглощать прямую солнечную радиацию, но и использовать отражённые солнечные лучи для дополнительной выработки электрической энергии. Для этого на тыльной стороне абсорберов размещаются фотоэлектрические элементы, преобразующие отражённое излучение в электричество.

Отмечается, что комбинированное использование фрактального коллектора для одновременной генерации тепловой и электрической энергии повышает общую эффективность использования солнечной инсоляции и способствует увеличению энергетической плотности установки. В статье проводится оценка коэффициента полезного действия ФСТС, рассматриваются энергетические потери, особенности теплового баланса и факторы, влияющие на эффективность преобразования энергии. Дополнительно перечисляются ключевые преимущества предлагаемой конструкции, такие как гибкость в установке, повышенная надёжность и возможность масштабирования, а также указываются потенциальные недостатки, связанные с конструктивной сложностью и необходимостью точного расчёта геометрии фрактальных элементов.

Ключевые слова. Солнечная тепловая станция, фрактальный солнечный коллектор, тепловая и электрическая энергия, абсорбер, апертурная площадь.

Введение. Современные солнечные энергетические системы стремятся к повышению эффективности путём одновременного использования фотоэлектрической и тепловой составляющих солнечного излучения. Традиционные концентрирующие системы (CSP) обеспечивают получение высоких температур в фокусе, однако значительная часть солнечной энергии остаётся неиспользованной из-за расфокусировки, рассеяния и оптических потерь.

Солнечная тепловая технология, в отличие от фотоэлектрических систем, является крупномасштабной. Одним из важных отличий солнечных тепловых электростанций от фотоэлектрических является то, что они генерируют электроэнергию косвенно. Такие станции работают следующим образом: тепло солнечных лучей собирается и используется для нагрева рабочей жидкости. Образующийся пар приводит в действие турбогенератор, который вырабатывает электроэнергию [1].

Солнечные тепловые электростанции представляют собой активные системы. Несмотря на разнообразие конструкций, у них есть несколько общих элементов: зеркала отражают и концентрируют солнечный свет, а приёмники собирают сконцентрированную солнечную энергию и преобразуют её в тепловую. Далее тепловая энергия используется генератором для производства электрической энергии.

Существует три основных типа концентрирующих солнечных тепловых электростанций (рис. 1):

- линейные концентрирующие системы, включающие параболические желоба и линейные отражатели Френеля;
- солнечные башенные электростанции;
- системы солнечных антенн/двигателей.

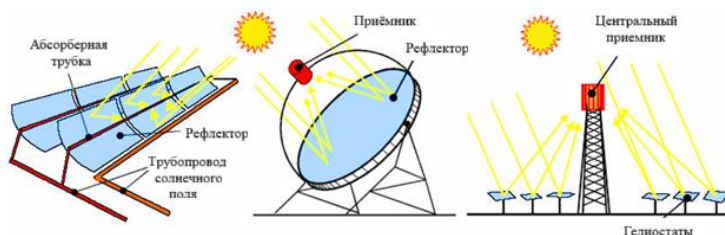


Рисунок 1 – Типы солнечных тепловых станции

Преобразование солнечной энергии можно разделить на два типа: преобразование в тепловую или электрическую энергию. В зависимости от этого различаются и установки, осуществляющие данное преобразование: для первого типа используются солнечные коллекторы, для второго – солнечные батареи. Кроме того, можно выделить ещё и солнечные тепловые электростанции, которые могут рассматриваться как промежуточное звено между двумя типами преобразований.

Солнечные коллекторы представляют собой устройства, преобразующие энергию Солнца в тепло. Система солнечного коллектора состоит из следующих элементов:

коллектор, контур теплообмена и тепловой аккумулятор (бак с жидкостью). Принцип работы прост: циркулирующая жидкость (вода или антифриз) нагревается в солнечном коллекторе, передаёт энергию аккумуляционному баку, где нагретая вода накапливается и хранится до момента использования. Существует три основных вида солнечных коллекторов [2]:

Плоский коллектор – плоская герметичная конструкция, содержащая абсорбирующий слой; в качестве теплоносителя (поступающего по трубкам, соединённым с абсорбирующим слоем) используется пропилен-гликоль; сверху коллектор закрыт стеклом. Данная установка является наиболее простой, а её принцип работы полностью соответствует базовой схеме, указанной выше.

Вакуумный коллектор – состоит из нескольких стеклянных полых трубок, внутри которых расположены более тонкие трубки с теплопоглощающим элементом. В качестве теплоизоляции используется вакуум между трубками. Принцип работы следующий: поглотитель энергии (например, эфир) нагревается, испаряется и передаёт тепло теплообменнику, нагревающему теплоноситель, который затем поступает в бак-аккумулятор [3].

Воздушный коллектор – устройство, в котором воздух контактирует с нагревательным элементом и подаётся для обогрева помещения. Применяется редко, так как воздух менее эффективно проводит тепло по сравнению с жидкостями. Тем не менее, у него есть преимущество: при низких температурах отсутствует проблема замерзания теплоносителя [4].

Сравнивая данные типы солнечных коллекторов, можно отметить, что плоские коллекторы являются наиболее популярными благодаря своей прочности и в ряде случаев более высокой эффективности. Вакуумные коллекторы обладают более хрупкой конструкцией и меньшим сроком службы (обычно 10-15 лет, тогда как у плоских – 15-30 лет), однако имеют важное достоинство: при повреждении заменяется только отдельная трубка, а не весь коллектор. Кроме того, вакуумные коллекторы дольше сохраняют тепло в условиях низких температур.

В настоящее время наблюдается рост интереса к гибридным системам (ГС), фрактальным абсорберам и биоинспирированным конфигурациям распределения элементов на солнечных коллекторах. Особое внимание привлекают фрактальные структуры (включая спираль Фибоначчи), которые позволяют равномерно распределять поток энергии и улучшать тепловой съём по всей поверхности концентратора [5].

Цель работы: Разработка солнечной тепловой станции, работающей на базе фрактального солнечного коллектора, и оценка её коэффициента полезного действия.

Методы исследования. Когда говорят о солнечной тепловой станции, обычно подразумевают систему, которая не просто преобразует солнечную инсоляцию в электричество напрямую, а концентрирует солнечное излучение, нагревает теплоноситель и далее использует полученное тепло. В солнечных тепловых электростанциях (иногда – «концентрирующие солнечные установки», КСУ) применяются зеркала или линзы, фокусирующие солнечный свет на приёмник. В приёмнике нагревается теплоноситель (жидкость, расплавленные соли и др.). Затем теплоноситель передаёт свою энергию для получения пара, который приводит в действие паровую турбину и генератор, производящий электроэнергию [6].

Некоторые станции оснащаются системами хранения тепловой энергии – например, резервуарами с расплавленными солями, которые сохраняют тепло и позволяют вырабатывать электроэнергию даже ночью или при пасмурной погоде [7]. Таким образом, «солнечная тепловая станция» – это не фотоэлектрические панели (PV), а промышленная установка, использующая концентрированное солнечное тепло.

Среди технологий солнечных тепловых станций выделяют следующие основные подходы (рис. 1):

Параболические ряды (линейные концентраторы) – длинные параболические зеркала, фокусирующие свет на трубках с теплоносителем.

Башенные станции (solar power tower) – множество гелиостатов, направляющих солнечный свет на приёмник в верхней части башни, что позволяет достигать очень высоких температур.

Системы типа «dish/Stirling» – зеркала, имеющие форму тарелки, концентрирующие свет на небольшом приёмнике или двигателе; такие установки обычно имеют меньшую мощность.

Выбор технологии зависит от цели применения: производство электричества, комбинированное теплоснабжение, горячее водоснабжение, наличие систем хранения тепла и др.

Солнечные тепловые станции обладают рядом преимуществ:

- возможность производить электроэнергию и/или тепло;
- наличие систем хранения тепла обеспечивает работу вне солнечного дня (вечером, ночью, при облачности);
- экологичность: отсутствие сжигания топлива и минимальные выбросы CO_2 ;
- снижение затрат на отопление, горячую воду и производство энергии.

Солнечная энергия является одним из самых чистых и доступных источников энергии на планете. Локальные солнечные тепловые электростанции (СЭС) позволяют использовать эту энергию для получения электричества и тепла прямо на месте – в домах, небольших предприятиях и удалённых регионах. Такие установки компактны, просты в эксплуатации и способны существенно снизить энергозатраты. Для удалённых районов они незаменимы [8].

В основе локальной солнечной тепловой станции лежит нагрев рабочей жидкости солнечной энергией с последующим использованием тепла для выработки электричества или отопления/ГВС. На рис. 2 показана предлагаемая нами локальная солнечная тепловая станция, работающая на базе фрактального солнечного коллектора.

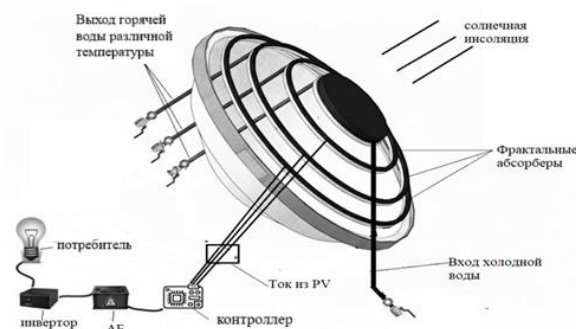


Рисунок 2 – Фрактальный солнечный коллектор

Фрактальный солнечный коллектор представляет собой концентрирующую солнечную тепловую станцию, в которой на фокусе параболического концентратора располагается металлическая цилиндрическая чашка (тепловой приёмник) [9]. Через чашку непрерывно протекает холодная вода, нагреваясь до высокой температуры, благодаря чему получается горячая вода. На обратной стороне чашки закреплены фотоэлектрические панели (PV), которые охлаждаются проточной холодной водой. В результате они:

- не перегреваются;
- работают в оптимальном температурном режиме;
- демонстрируют повышенный КПД по сравнению с обычными PV-панелями.

Таким образом, вода в чаше одновременно выполняет две функции: теплового теплоносителя и охладителя для фотоэлектрических панелей. Это является ключевой особенностью предложенной системы. В классических гибридных терминалах PV/T подобный принцип используется целенаправленно, однако здесь он реализован в концентрирующей конфигурации, что делает решение уникальным.

Описание конструкции. На рис. 3 изображена ФСТС. Станция включает следующие элементы: 1 – параболический концентратор; 2 – первый фрактальный абсорбер, расположенный в фокусе концентратора; 3 – фотоэлектрическая панель, расположенная с нижней стороны первого абсорбера; 4 – тороидальные абсорберы, расположенные вокруг абсорбера 2 по принципу чисел Фибоначчи в апертурной зоне концентратора; 5 – полимерные фотоэлектрические панели, закреплённые на нижней стороне каждого тороидального абсорбера; 6 – система наведения параболического концентратора на движение Солнца; 7 – теплораспределитель; 8 – теплообменник; 9 – бойлер; 10 – кран подачи холодной воды; 11 –

кран для потребителя тепловой энергии; 12 – контроллер; 13 – аккумулятор; 14 – инвертор; 15 – потребитель электрической энергии [10].

Принцип работы ФСТС. Предложенная ФСТС функционирует следующим образом.

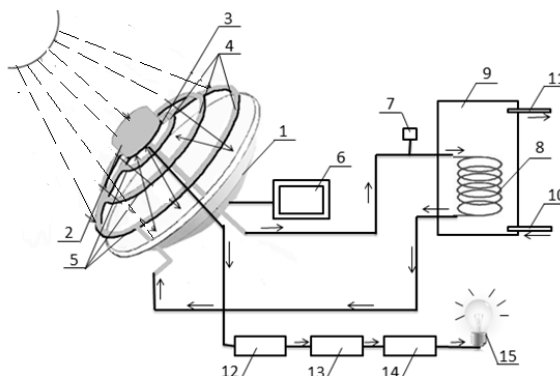


Рисунок 3 – Фрактальная солнечная тепловая станция

Солнечные лучи, отражённые и сфокусированные параболическим концентратором 1, попадают на первый фрактальный абсорбер 2, обшитый с нижней стороны фотоэлектрической панелью 3. Абсорбер нагревает теплоноситель, протекающий внутри него.

Затем лучи попадают на тороидальные абсорберы 4, также обшитые с нижней стороны полимерными фотоэлектрическими панелями 5, где дополнительно нагревают теплоноситель.

Отражённая часть солнечных лучей от апертурной поверхности концентратора 1 падает на полимерные фотоэлектрические панели 5, расположенные на обратной стороне тороидальных абсорберов 4, а также на панели 3 первого абсорбера 2, в результате чего вырабатывается электрический ток.

Электрический ток через контроллер 12 поступает в аккумулятор 13, а затем через инвертор 14 передаётся потребителю электрической энергии 15.

При этом теплоносители в абсорбере 2 и в каждом тороидальном абсорбере 4 имеют различные температуры, поэтому распределение тепла осуществляется теплораспределителем 7.

Холодная вода через кран 10 поступает в бойлер 9. Нагретая вода из первого фрактального абсорбера 2 поступает в теплообменник, а далее через кран 11 – к потребителю тепловой энергии.

Наведение параболического концентратора на Солнце осуществляется системой 6 [11;12].

Результаты исследований. Чтобы КПД иметь смысл, его нужно разделить на тепловой КПД, электрический КПД и общий когенерационный КПД. Для оценки я использую стандартные значения:

Характеристические данные ФСТС:

- Отражательная способность зеркал (ρ) = 0.88
- Коэффициент оптических потерь ($K_{оп}$) = 0.85
- КПД абсорберов (η_{abs}) = 0.70 для тороидального (хороший показатель)
- КПД PV-панелей на тыльной стороне = 12-15% (при рассеянном + отражённом свете)
- Процент солнечного потока, попадающий на PV после отражений = 18-22%
- Средняя температура теплоносителя ~ 250-350°C
- Интегральная солнечная плотность = 1000 Вт/м²

Теперь оценим КПД гелиоустановки.

Расчет теплового КПД ($\eta_{ФСТС}$)

Тепловая эффективность определяется эффективностью оптической системы и способностью абсорбера поглощать тепло.

Формула расчета:

$$\eta_{ФСТС} = \rho \cdot \tau_{опт} \cdot \eta_{абс}$$

Подстановка значений:

$$\eta_{\text{ФСТС}} = 0.88 \cdot 0.85 \cdot 0.70$$

Результат:

$$\eta_{\text{ФСТС}} \approx 0.5236$$

Обсуждение научных результатов. Таким образом тепловой КПД составляет примерно 52+54%. Это высокий показатель для малых станций (на крупных промышленных СТС он обычно составляет 45-60%).

Расчет электрического КПД (η_{PV})

Электрическая часть работает за счет потока, который не попал в фокус или был переотражен на тыльную сторону (гибридная система).

Определяем поток излучения, попадающего на панели (I_{PV})

$$I_{PV} = 0.20 \cdot I_{\text{солн}}$$

$$I_{PV} \approx 0.20 \cdot 1000 = 200 \text{ Вт/м}^2$$

Определяем итогового электрического вклада от полной апертуры $PV_{\text{общ}}$ Учитываем КПД самих панелей при данном потоке:

$$\eta_{PV} = 0.20 \cdot 0.14$$

Результат:

$$\eta_{PV} = 0.028$$

Электрический КПД составляет 2.8-3.2% от полной апертуры системы. Несмотря на малое значение, это выгодно, так как электричество является более ценным видом энергии, чем тепло.

Общий когенерационный КПД ($\eta_{\text{общ}}$)

Общая эффективность установки складывается из тепловой и электрической составляющих.

Формула:

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_{\text{абсорбер}} + \eta_{PV-\text{общ}}$$

Расчет:

$$\eta_{\text{общ}} \approx 0.523 + 0.028 \approx 0.551$$

Предварительный итог: Общий КПД базовой конфигурации составляет ~55%.

Применение фрактальной конструкции в ФСТС позволяет улучшить показатели за счет снижения затенения и более равномерного распределения потока. Факторы улучшения:

- снижение паразитного экранирования,
- стабилизация теплового потока,
- более высокая излучательная равномерность.

Ожидаемый прирост теплового КПД за счет этих факторов составляет 5-8%.

Таким образом итоговая оценка с учетом фрактальности:

$$\eta_{\text{общ}} \approx 58\% - 60\%$$

Заключение. Локальные солнечные тепловые электростанции (ССТ) – это реальный и эффективный способ использования возобновляемой энергии непосредственно на месте потребления. Они объединяют экологичность, автономность и экономию ресурсов, позволяя преобразовывать солнечный свет в тепло и электричество даже на небольших объектах.

Развитие технологий способствует повышению их эффективности и доступности, что делает солнечное тепло важной частью энергетики будущего. Разработанная фрактальная солнечная тепловая станция (ФСТС) демонстрирует уровень эффективности, сопоставимый с современными малыми СТС, оснащёнными качественной оптикой.

Концентраторные источники солнечной энергии, объединяющие тепловые коллекторы и фотоэлектрические модули в единую систему, обладают значительным потенциалом и могут занять существенную долю на рынке альтернативной энергетики. В Казахстане такие системы имеют особую значимость, поскольку отечественные отрасли энергетики пока не производят готовые фотоэлектрические системы прямого применения. Большинство реализуемых на рынке солнечных преобразователей импортировано либо полностью, либо по отдельным компонентам.

Предлагаемая в данной работе ФСТС обеспечивает выработку тепла и электричества на основе оригинальной конструкции когенеративного фрактального коллектора. По сравнению с традиционными стационарными плоскими коллекторами её производство требует значительно меньших затрат на единицу пиковой мощности. Кроме того, с

экологической точки зрения производство и эксплуатация ФСТС более безопасны, оказывая меньшее воздействие на окружающую среду.

Концепция ФСТС, предложенная в данной работе, объединяет несколько современных направлений: фронтальная фокусирующая чаша, фрактальные абсорберы, расположенные по спирали Фибоначчи на апертуре, и охлаждаемые PV-элементы на обратной стороне абсорберов. Такой подход позволяет одновременно получать тепловую и электрическую энергию с высокой эффективностью, оптимизировать тепловое распределение и минимизировать перегрев фотоэлектрических модулей.

В целом, предложенная ФСТС демонстрирует высокий потенциал для локальных объектов, сочетая инновационную конструкцию, экономическую целесообразность и экологическую безопасность, что делает её перспективной для широкого внедрения в альтернативной энергетике Казахстана и других стран с высокой солнечной инсоляцией.

Список литературы

1. Калинин В.Н. Солнечные тепловые электростанции: теория и практика / В.Н. Калинин, С.А. Иванов – М.: Энергоатомиздат, 2018. – 320 с.
2. Мартынов А.П. Фрактальные структуры в солнечных коллекторах и их эффективность / А.П. Мартынов, И.В. Петров // Вестник альтернативной энергетики. – 2020. – № 4. – С. 45-53.
3. Duffie J.A. Solar Engineering of Thermal Processes / J.A. Duffie, W.A. Beckman – 4th ed. – Hoboken: Wiley, 2013. – 980 p.
4. Zhang L. Hybrid PV/T solar collectors: Performance analysis and design optimization / L. Zhang, Q. Li, X. Wang // Renewable Energy. – 2019. – Vol. 133. – P. 1200-1215.
5. Ткачёв А.А. Солнечные гибридные энергетические системы: тепловые и электрические аспекты / А.А. Ткачев // Энергетическая эффективность. – 2021. – Т. 12, № 2. – С. 15-28.
6. Soteris A. Kalogirou. Solar Energy Engineering: Processes and Systems / A. Soteris – 2nd ed. – Academic Press, 2014. – 752 p.
7. Меирбекова О.Д. К вопросу создания гибридных энергетических систем / О.Д. Меирбекова, Н.Т. Рустамов // Проблемы информатики и энергетики, Ташкент, 2022. – № 3. – С. 83-90.
8. An Improved Hybrid Wind Power Plant for Small Power Generation / N. Rustamov et al // International journal of renewable energy research. – 2023. – Vol.13, № 2. – P. 629-635.
9. Thermal and energy characteristics of a cogenerative fractal solar collector / N.T. Rustamov et al European Journal of Technical and Natural Sciences. – 2024. – № 1. – P. 3-10.
10. Energetic optimization of a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector / F. Sarhaddi et al // Int. Jour. Energy Res. – 2010. – P. 343-34.
11. Performance evaluation of solar photovoltaic/thermal systems / B.J. Huang et al // Solar Energy. – 2001. – V. 70. – P. 443-448.
12. Duffie J.A. Solar Engineering of Thermal Processes / J.A. Duffie, W.A. Beckman. – 4th ed. – Hoboken: Wiley, 2013. – 980 p.

References

1. Kalinin V.N. Solnechnye teplovyehlektrostantsii: teoriya i praktika / V.N. Kalinin, S.A. Ivanov – M.: Ehnergoatomizdat, 2018. – 320 s. (In Russian).
2. Martynov A.P. Fraktal'nye struktury v solnechnykh kollektorakh i ikh ehffektivnost' / A.P. Martynov, I.V. Petrov // Vestnik al'ternativnoi ehnergetiki. – 2020. – № 4. – S. 45-53. (In Russian).
3. Duffie J.A. Solar Engineering of Thermal Processes / J.A. Duffie, W.A. Beckman – 4th ed. – Hoboken: Wiley, 2013. – 980 p. (In English).
4. Zhang L. Hybrid PV/T solar collectors: Performance analysis and design optimization / L. Zhang, Q. Li, X. Wang // Renewable Energy. – 2019. – Vol. 133. – P. 1200-1215. (In English).
5. Tkachev A.A. Solnechnye gibridnye ehnergeticheskie sistemy: teplovyehlelektricheskie aspekty / A.A. Tkachev // Ehnergeticheskaya ehffektivnost'. – 2021. – T. 12, № 2. – S. 15-28. (In Russian).
6. Soteris A. Kalogirou. Solar Energy Engineering: Processes and Systems / A. Soteris – 2nd ed. – Academic Press, 2014. – 752 p. (In English).
7. Meirbekova O.D. K voprosu sozdaniya gibridnykh ehnergeticheskikh sistem / O.D. Meirbekova, N.T. Rustamov // Problemy informatiki i ehnergetiki, Tashkent, 2022. – № 3. – S. 83-90. (In Russian).
8. An Improved Hybrid Wind Power Plant for Small Power Generation / N. Rustamov et al // International journal of renewable energy research. – 2023. – Vol.13, № 2. – R. 629-635. (In English).

9. Thermal and energy characteristics of a cogenerative fractal solar collector / N.T. Rustamov et al European Journal of Technical and Natural Sciences. – 2024. – № 1. – R. 3-10. (In English).
10. Energetic optimization of a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector / F. Sarhaddi et al // Int. Jour. Energy Res. – 2010. – P. 343-34. (In English).
11. Performance evaluation of solar photovoltaic/thermal systems / B.J. Huang et al // Solar Energy. – 2001. – V. 70. – P. 443-448. (In English).
12. Duffie J.A. Solar Engineering of Thermal Processes / J.A. Duffie, W.A. Beckman. – 4th ed. – Hoboken: Wiley, 2013. – 980 p. (In English).

Н.Т. Рустамов¹, О.Д. Меирбекова^{1*}, Н.Б. Мұхамеджанов¹, А.Н. Бергузинов²

¹Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,
160400, Қазақстан Республикасы Түркістан қ., Б. Саттарханов к, 29

²Торайғыров университеті,
140000, Қазақстан Республикасы Павлодар қ, Ломов к, 64

*e-mail: oksana_120183@mail.ru

ЛОКАЛДЫ ФРАКТАЛДЫ КҮН ЖЫЛУ СТАНЦИЯСЫ

Осы жұмыста модульдік архитектураға негізделген жаңа типтегі фракталды күн жылу станциясы (ФЖС) ұсынылады. Дайындалып отырған ФЖС локалды тұтынушыларды жылулық энергиямен қамтамасыз етуге бағытталған, соның ішінде автономды және шалғай аудандарда, сондай-ақ орнату алаңы шектеулі объектілерде қолданылады.

Құрылымның ерекшелігі – фракталды абсорберлерді қолдану, олардың конфигурациясы тек тікелей күн радиациясын тиімді сіңіріп қана қоймай, шағылған күн сәулесін қосымша электр энергиясын өндіру үшін пайдалануға мүмкіндік береді. Осы мақсатта абсорберлердің артқы бетіне фотоэлектрлік элементтер орналастырылған, олар шағылған сәулені электр энергиясына айналдырады.

Фракталды коллекторды жылулық және электр энергиясын бір уақытта өндіру үшін қолдану жалпы күн энергиясын пайдалану тиімділігін арттырып, құрылғының энергетикалық тығыздығын жоғарылатуға ықпал етеді. Мақалада ФЖС-тің пайдалы әсер коэффициенті (КПД) бағаланған, энергетикалық шығындар, жылулық баланс ерекшеліктері және энергияны түрлендіру тиімділігіне әсер ететін факторлар қарастырылған. Сонымен қатар ұсынылған конструкцияның негізгі артықшылықтары – орнатудағы икемділік, сенімділіктің жоғары болуы және масштабтау мүмкіндігі – атап көрсетілген, сондай-ақ фракталды элементтердің геометриясын дәл есептеуді қажет ететін конструктивтік күрделілік сияқты мүмкін болатын кемшіліктер де көрсетілген.

Түйін сөздер: Күн жылу станциясы, фракталды күн коллекторы, жылулық және электр энергиясы, абсорбер, апертуралық алаң.

N.T. Rustamov¹, O.D. Meirbekova^{1*}, N.B. Mukhamedzhanov², A.N. Berguzinov²

¹Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University,
160400, Republic of Kazakhstan, Turkistan, st.Sattarhanov, 29

²Toraighyrov University,
140000, Republic of Kazakhstan, Pavlodar, st.Lomov, 64

*e-mail: oksana_120183@mail.ru

LOCAL FRACTAL SOLAR THERMAL POWER STATION

This work proposes a new type of fractal solar thermal power station (FSTS) based on the use of a fractal solar collector with a modular architecture. The developed FSTS is aimed at supplying local consumers with thermal energy in autonomous and remote areas, as well as for facilities with limited installation space.

A key feature of the design is the use of fractal absorbers, whose configuration allows not only efficient absorption of direct solar radiation but also the utilization of reflected sunlight for additional electricity generation. For this purpose, photovoltaic (PV) elements are placed on the rear side of the absorbers, converting the reflected radiation into electricity.

The combined use of a fractal collector for simultaneous generation of thermal and electrical energy increases the overall efficiency of solar insolation utilization and contributes to higher energy density of the installation. The article evaluates the efficiency (coefficient of performance, COP) of the FSTS, examines energy losses, thermal balance characteristics, and factors affecting energy conversion efficiency. Additionally, the key advantages of the proposed design are outlined, including installation flexibility, enhanced reliability, and scalability, as well as potential disadvantages related to structural complexity and the need for precise calculation of the geometry of fractal elements.

Key words: *Solar thermal power station, fractal solar collector, thermal and electrical energy, absorber, aperture area.*

Авторлар туралы ақпарат

Насим Тулегенович Рустамов – техника ғылымдарының докторы, аға оқытушы, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: nasim52@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6437-6600>.

Оксана Даировна Меирбекова* – аға оқытушы, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: oksana_120183@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0949-1443>.

Нүридін Бақтиярұлы Мухамеджанов – аға оқытушы, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: nuridin.mukhamejanov@ayu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3243-7342>.

Асхат Нурланович Бергузин – PhD, профессор, Торайғыров университеті, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: askhat_berguzinov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6954-8259>.

Сведения об авторах

Насим Тулегенович Рустамов – доктор технических наук, старший преподаватель, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Республика Казахстан; e-mail: nasim52@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6437-6600>.

Оксана Даировна Меирбекова* – старший преподаватель, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Республика Казахстан; e-mail: oksana_120183@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0949-1443>.

Нүридин Бахтиярович Мухамеджанов – старший преподаватель, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Республика Казахстан; e-mail: nuridin.mukhamejanov@ayu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3243-7342>.

Асхат Нурланович Бергузин – PhD, профессор, Торайғыров университет, г. Павлодар, Республика Казахстан; e-mail: askhat_berguzinov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6954-8259>.

Information about the authors

Nassim Rustamov Tulegenovich – Doctor of Technical Sciences, Senior Lecturer, Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkistan, Republic of Kazakhstan; e-mail: nasim52@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6437-6600>.

Oxana Dairovna Meirbekova* – Senior Lecturer, Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkistan, Republic of Kazakhstan; e-mail: oksana_120183@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0949-1443>.

Nuridin Baktiyarovich Mukhamejanov – senior lecturer, International Kazakh-Turkish university named after Khoja Ahmed Yasawi, Turkistan, Republic of Kazakhstan; e-mail: nuridin.mukhamejanov@ayu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3243-7342>.

Askhat Nurlanovich Berguzinov – PhD, Professor, Toraihyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan; e-mail: askhat_berguzinov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6954-8259>.

Поступила в редакцию 27.01.2026

Принята к публикации 16.03.2026