ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В ЖИЛОМ СЕКТОРЕ ГОРОДА ЧУСТ НАМАНГАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Исаков Ботиржон Умарович

Старший преподаватель кафедры "Метрология, стандартизация и сертификация" Совместного Белорусско-Узбекского межотраслевого института прикладных технических квалификаций.

E-mail: bizaak@mail.ru

Рустамбоева Мадинабону Аваз кизи

Магистрант группы 2М-ОК-25 Совместного Белорусско-Узбекского межотраслевого института прикладных технических квалификаций

Аннотация. В данной статье представлены результаты комплексного исследования эффективности применения солнечных коллекторов для горячего водоснабжения жилых домов в городе Чуст Наманганской области Узбекистана. Проанализированы климатические условия региона, характеризующиеся высокой солнечной инсоляцией (от 151 до 808 МДж/м² в зависимости от сезона), выполнены расчеты тепловой отдачи при различных конфигурациях систем, проведена оценка экономической эффективности и экологических преимуществ. Установлено, что срок окупаемости солнечной водонагревательной системы составляет около 7 лет при годовой экономии 400-500 м³ газа или 800-1000 кВт·ч электроэнергии. Разработаны практические рекомендации по проектированию и эксплуатации гелиосистем для региона.

Ключевые слова: солнечные коллекторы, возобновляемая энергия, энергоэффективность, Ферганская долина, горячее водоснабжение, экономическая эффективность.

Annotatsiya. Ushbu maqolada O'zbekistonning Namangan viloyati Chust shahridagi turar-joy binolarini issiq suv bilan ta'minlash uchun quyosh kollektorlaridan foydalanish samaradorligini har tomonlama o'rganish natijalari keltirilgan. Yuqori quyosh insolyatsiyasi bilan tavsiflangan mintaqaning iqlim sharoiti tahlil qilindi (mavsumga qarab 151 dan 808 MJ/m2 gacha), turli xil tizim konfiguratsiyalarida issiqlik rentabelligi hisob-kitoblari amalga oshirildi, iqtisodiy samaradorlik va ekologik foyda baholandi. Quyosh suv isitish tizimining to'lov muddati taxminan 7 yilni tashkil etadi, yillik tejash 400-500 m3 gaz yoki 800-1000 kVt / soat elektr energiyasi. Mintaqa uchun geliosistemalarni loyihalash va ishlatish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqilgan.

Kalit so'zlar: quyosh kollektorlari, qayta tiklanadigan energiya, energiya samaradorligi, Farg'ona vodiysi, issiq suv ta'minoti, iqtisodiy samaradorlik.

Annotation. This article presents the results of a comprehensive study of the effectiveness of solar collectors for hot water supply in residential buildings in the city of Chust in the Namangan region of Uzbekistan. The climatic conditions of the region, characterized by high solar insolation (from 151 to 808 MJ/m2, depending on the season), were analyzed, calculations of heat output for various configurations of systems were performed, and an assessment of economic efficiency and environmental advantages was carried out. It has been established that the payback period of a solar water heating system is about 7 years with annual savings of 400-500 m3 of gas or 800-1000 kWh of electricity. Practical recommendations on the design and operation of solar systems for the region have been developed.

Keywords: solar collectors, renewable energy, energy efficiency, Ferghana Valley, hot water supply, economic efficiency.

1. Введение

Проблема устойчивого энергопотребления и снижения углеродного следа приобретает все большую актуальность в условиях глобального изменения климата [10]. Применение возобновляемых источников энергии, в частности солнечной энергии, рассматривается международным сообществом как ключевое направление для достижения климатических целей и обеспечения энергетической безопасности. Одним из наиболее перспективных и экономически обоснованных решений для частных домохозяйств является использование солнечных коллекторов для горячего водоснабжения и частичного покрытия тепловых нагрузок зданий [8].

Город Чуст Наманганской области, расположенный в северной части Ферганской долины (широта ~40° с.ш.), обладает значительным потенциалом для использования солнечной тепловой энергии благодаря высокой солнечной инсоляции и продолжительному солнечному дню в течение года. Согласно климатическим данным, суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность в регионе Ферганы варьируется от 151 МДж/м² в декабре до 808 МДж/м² в июле, что создает благоприятные условия для круглогодичной эксплуатации солнечных установок.

Вместе с тем, существуют определенные барьеры для широкого внедрения данной технологии: значительные сезонные колебания температуры (от -20...-25°C зимой до +40...+43°C летом), потери тепла в холодный период, необходимость оптимизации конфигурации системы, а также вопросы экономической целесообразности инвестиций для конечных потребителей.

Цель исследования — провести системное исследование эффективности солнечных коллекторов в жилых домах города Чуст,

ISSN 3030-3907

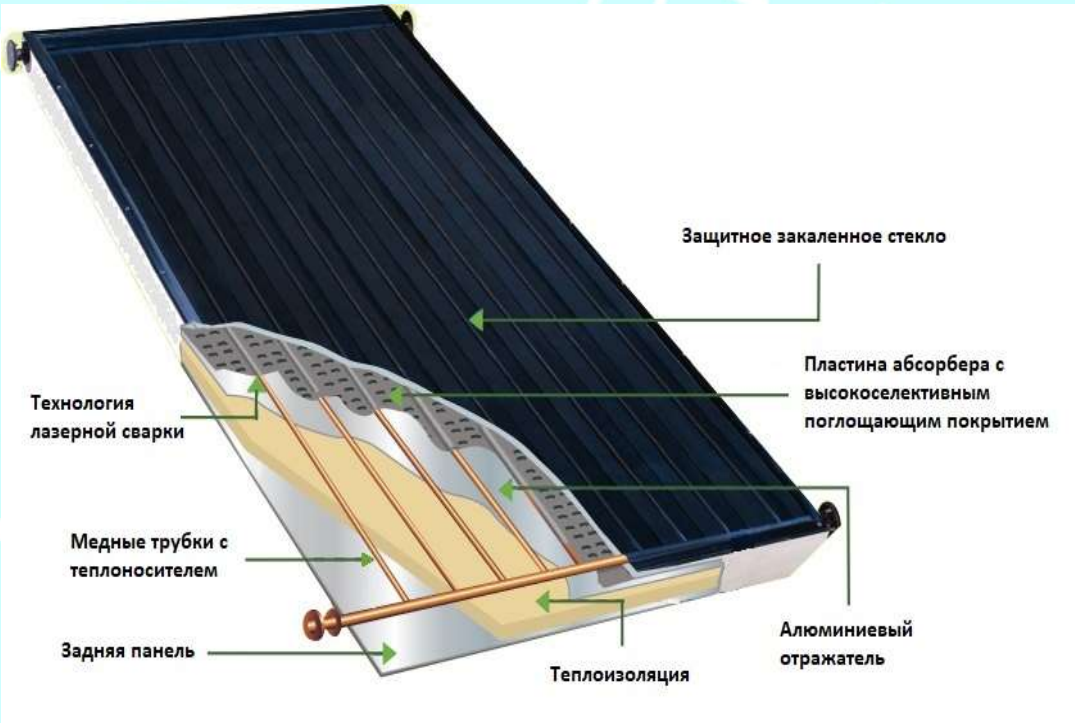
определить ключевые факторы, влияющие на их производительность, оценить экономическую и экологическую целесообразность внедрения, а также разработать практические рекомендации по оптимальной конфигурации и эксплуатации таких систем в условиях континентального климата Ферганской долины.

2. Обзор литературы и технологий

2.1. Типы солнечных коллекторов и их конструктивные особенности

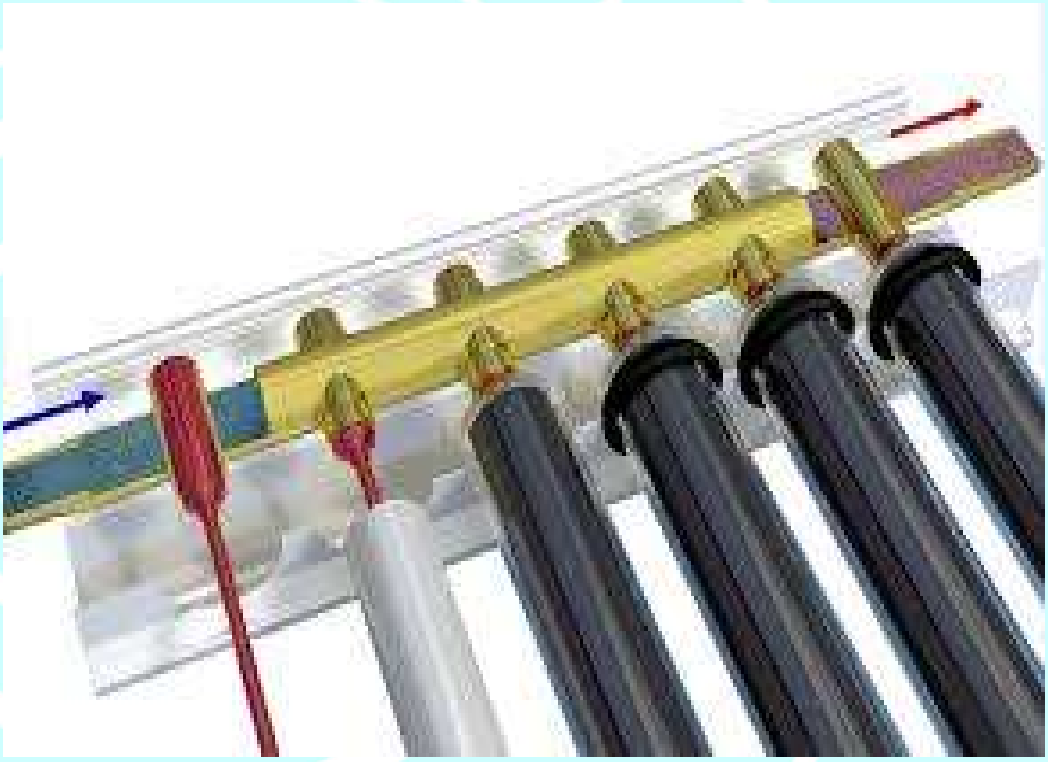
Современные солнечные коллекторы для бытового применения подразделяются на два основных типа: плоские и вакуумные трубчатые.

Плоские коллекторы состоят из абсорбера с селективным покрытием [7], защитного прозрачного стекла с низким содержанием металлов и теплоизоляции задней части. Их конструктивная простота обеспечивает относительно низкую стоимость производства и надежность в эксплуатации.



Вакуумные трубчатые коллекторы представляют собой более сложную конструкцию, где внутренняя трубка с селективным покрытием помещена в вакуумированное пространство внутри боросиликатной стеклянной оболочки. Различные геометрические формы труб (U-образные, многогранные) позволяют увеличить общую поверхность абсорбции и улучшить теплопередачу.

ISSN 3030-3907



2.2. Сравнительный анализ эффективности

Согласно исследованию Cristofari et al. [1], годовая эффективность вакуумных трубчатых коллекторов с тепловыми трубками превышает показатели плоских при одинаковых условиях эксплуатации в средиземноморском климате, особенно в холодный период. Вакуумная изоляция значительно снижает конвективные и радиационные потери, что критично важно для климатических условий с существенными перепадами температур.

Работа Kumar и Rosen [2] показывает, что в диапазоне небольших температурных перепадов плоские коллекторы могут давать большую тепловую отдачу, однако их тепловые потери значительно выше. Экономико-экологическое сравнение, представленное Kalogirou [3], демонстрирует, что вакуумные трубки обеспечивают большую полезную энергию, но их начальные расходы выше, и экологический эффект компенсируется в течение жизненного цикла.

Плоские коллекторы демонстрируют более высокую оптическую эффективность при нормальных условиях освещения и умеренных температурах окружающей среды. Кроме того, они характеризуются меньшей стоимостью, простотой обслуживания и меньшей чувствительностью к механическим повреждениям.

2.3. Методы повышения эффективности

Современные исследования показывают эффективность следующих подходов:

ISSN 3030-3907

- Применение гибридных нанофлюидов в качестве теплоносителей с улучшенными термофизическими свойствами [4, 5]
- Оптимизация геометрии поверхности абсорбера (рифленая, микроструктурированная) [6]
- Повышение турбулентности потока теплоносителя для интенсификации теплообмена [6]
- Использование высокоселективных покрытий с коэффициентом поглощения $\alpha \approx 0{,}90\text{-}0{,}95$ и излучательной способностью $\varepsilon \approx 0{,}10\text{-}0{,}20$ [7]
- Оптимизация угла наклона и ориентации панелей в зависимости от географической широты и сезона [8]

3. Климатические условия региона и их влияние на работу солнечных коллекторов

3.1. Характеристика климата Ферганской долины

Ферганская долина характеризуется континентальным сухим климатом с жарким летом и умеренно холодной зимой. Средняя температура июля составляет +26...+28°C с максимальными значениями до +40...+43°C, в январе температура опускается до -0,9...-3°C со случаями морозов до -20...-25°C. Годовое количество осадков невелико — 100-150 мм в центральной котловине, что обеспечивает высокую прозрачность атмосферы и большую долю прямой солнечной радиации.

3.2. Анализ солнечной инсоляции

Данные по солнечной радиации для города Ферганы [9] показывают устойчиво положительные значения в течение всего года:

- Летний период (июнь-июль): 792-808 МДж/м²
- Весенне-осенний период (апрель-май, сентябрь-октябрь): 517-706 МДж/м²
- Зимний период (декабрь-январь): 151-193 МДж/м²

Эти показатели свидетельствуют о высоком потенциале региона для применения солнечных тепловых технологий круглогодично.

3.3. Факторы, влияющие на тепловые потоки и потери

В условиях Ферганской долины ключевыми факторами, определяющими эффективность солнечных коллекторов, являются:

Положительные факторы:

- Высокая инсоляция в летний период обеспечивает значительный приток солнечной энергии
- Сухой воздух и малая облачность снижают атмосферное рассеивание
- Умеренная влажность уменьшает коррозионные процессы

Негативные факторы:

ISSN 3030-3907

- Значительный температурный градиент зимой (до 50-70°C между коллектором и окружающей средой) увеличивает конвективные и радиационные потери
- Ночные температурные падения требуют качественной теплоизоляции накопительных баков
- Ветровой режим усиливает конвективный теплообмен с окружающей средой

4. Расчет тепловой отдачи солнечных коллекторов

4.1. Методика расчета

Полезная тепловая мощность солнечного коллектора определяется по формуле [8]:

$Q_{полезное} = G \times A \times \alpha \times \cos(\theta) - Q_{потерь}$

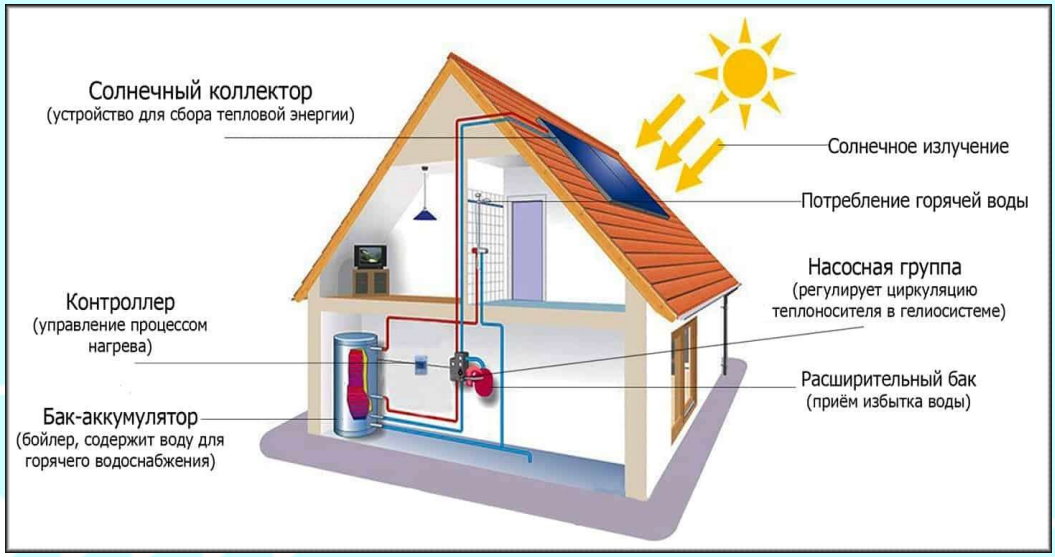
где G — солнечная радиация (Вт/м²), A — площадь коллектора (м²), α — коэффициент поглощения, θ — угол между солнечными лучами и нормалью к поверхности, Q_потерь — тепловые потери.

4.2. Результаты расчетов для летних условий

Для типового коллектора площадью 2 м² с селективным покрытием (α = 0,92, ε = 0,12) при летних условиях (G = 900 Вт/м², температура воздуха +35°C, температура теплоносителя +60°C) получены следующие результаты:

Угол наклона	Полезная мощность (Вт)	КПД (%)
20°	731	46,9
30°	617	42,8
40°	465	36,0
60°	3	0,4

Анализ результатов показывает, что оптимальный угол наклона для летнего периода составляет 20-30°, обеспечивая максимальную тепловую отдачу.



4.3. Влияние объема теплоносителя

ISSN 3030-3907

Объем накопительного бака влияет на динамику нагрева системы:

- При объеме 50 литров и полезной мощности 731 Вт за 4 часа работы температура повышается на ~5°C
- При объеме 100 литров аналогичная система обеспечивает нагрев на ~2,5°C

Больший объем обеспечивает более стабильную температуру и меньшие ночные потери, но требует большего времени на нагрев.

5. Экономическая оценка эффективности

5.1. Исходные данные

Для экономического анализа использованы следующие тарифы (по состоянию на 2025 год):

- Электроэнергия: 600 сум/кВт·ч (до 200 кВт·ч/мес)
- Природный газ: ~1000 сум/м³ (базовый тариф)
- Стоимость солнечного водонагревателя (500 л): 3 200 000 сум
- Годовые эксплуатационные расходы: ~150 000 сум

5.2. Расчет экономии

Типовая система обеспечивает годовую экономию:

- Электроэнергии: 1000 кВт·ч/год → 600 000 сум/год
- Или природного газа: 400-500 м³/год → 400 000-500 000 сум/год

Чистая годовая экономия с учетом эксплуатационных расходов составляет: 600 000 - 150 000 = 450 000 сум/год

5.3. Срок окупаемости

Срок окупаемости = 3 200 000 / 450 000 ≈ **7,1 года**

Этот показатель является приемлемым для долгосрочных инвестиций в энергосберегающие технологии, учитывая расчетный срок службы качественных солнечных коллекторов 20-25 лет.

6. Экологический аспект

6.1. Снижение выбросов парниковых газов

Использование солнечной тепловой энергии обеспечивает значительное сокращение выбросов CO_2 [10]:

- 1 МВт·ч электроэнергии от угольной электростанции → 900-1000 кг CO_2
- 1 МВт·ч от солнечной установки → 0 кг CO_2 (в процессе эксплуатации)

Типовая система мощностью 50 МВт способна сократить выбросы на 80-90 тысяч тонн CO_2 в год.

6.2. Снижение загрязнения воздуха

При использовании солнечных коллекторов полностью исключаются выбросы:

- Оксидов азота (NO_x) и серы (SO_2), вызывающих кислотные дожди
- Угарного газа (CO)
- Твердых частиц (пыль, сажа)

ISSN 3030-3907

- Ртути и тяжелых металлов

6.3. Жизненный цикл и углеродный след

Полный жизненный цикл солнечных тепловых установок, включая производство, транспортировку и утилизацию, имеет углеродный след в 10-30 раз меньший по сравнению с установками на ископаемом топливе [3, 11]. Энергетическая окупаемость (Energy Payback Time) для солнечных коллекторов составляет 1-3 года, что значительно меньше их расчетного срока службы 20-25 лет [12].

7. Практические рекомендации

7.1. Оптимальная конфигурация для жилого дома

Для типовой квартиры в городе Чуст рекомендуется следующая конфигурация:

Технические параметры:

- Тип коллектора: плоские или вакуумные трубчатые
- Площадь: 2-3 м² на семью из 4 человек
- Бак-накопитель: 300 литров с встроенным ТЭНом (резервное питание)
- Угол наклона: 35-40° (оптимальный для круглогодичной работы)
- Ориентация: строго южная

Состав системы:

- Солнечные коллекторы
- Циркуляционный насос с автоматическим контроллером
- Расширительный бак (8 л)
- Предохранительный клапан
- Антифриз (пропиленгликоль, 20-25 л)
- Теплоизолированные трубопроводы

7.2. Требования к монтажу

Расположение:

- Южная сторона крыши без затенений
- Открытое пространство с максимальным доступом солнечного света
- Прочное анкерное крепление к конструкции крыши

Изоляция:

- Морозостойкая теплоизоляция трубопроводов (вспененный каучук)
- Размещение накопительного бака в отапливаемом помещении

7.3. График технического обслуживания

Операция	Периодичность
Осмотр соединений и труб	Каждые 6 месяцев
Очистка поверхности коллекторов	2-3 раза в год
Замена антифриза	Каждые 2-3 года
Проверка контроллера и насоса	Ежегодно

ISSN 3030-3907

7.4. Ориентировочная стоимость

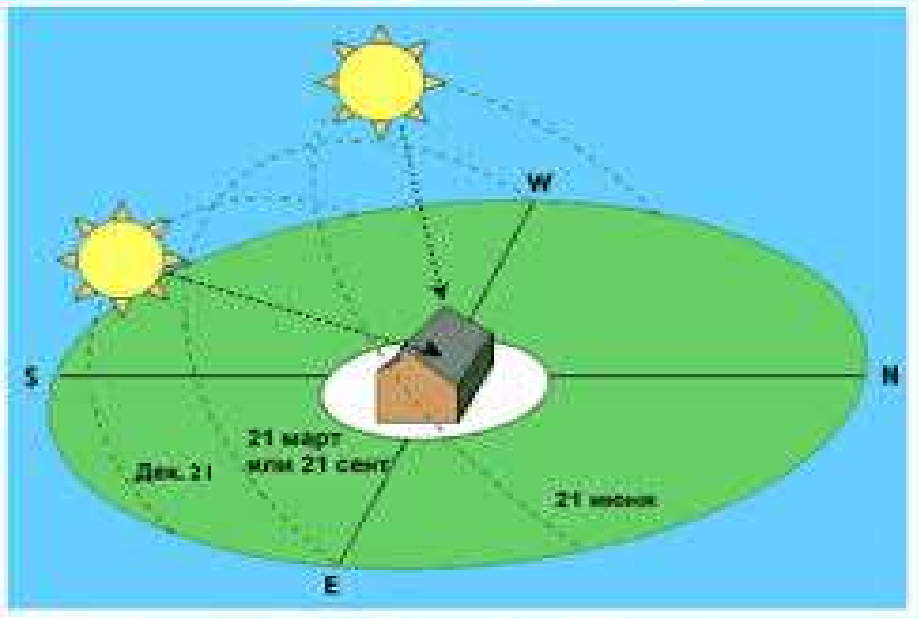
Для типовой системы на одну квартиру:

Компонент	Стоимость (USD)
Коллекторы (6 м²)	300
Бак-накопитель 300 л	100
Насос, контроллер, арматура	150
Монтаж и материалы	200
Итого	**~750**

8. Выводы

1. **Климатический потенциал.** Город Чуст Наманганской области обладает высоким потенциалом для применения солнечных коллекторов благодаря интенсивной солнечной радиации в течение всего года (от 151 до 808 МДж/м² в зависимости от сезона).
2. **Техническая эффективность.** Оптимальный угол наклона коллекторов для региона составляет 35-40° при южной ориентации, что обеспечивает КПД до 47% в летний период. Площадь коллектора 2-3 м² достаточна для обеспечения горячим водоснабжением семьи из 4 человек.
3. **Экономическая целесообразность.** Срок окупаемости системы составляет около 7 лет при текущих тарифах на энергоносители, что является приемлемым показателем. Годовая экономия составляет 400-500 м³ газа или 800-1000 кВт·ч электроэнергии.
4. **Экологические преимущества.** Использование солнечных коллекторов обеспечивает нулевые выбросы CO_2 в процессе эксплуатации и значительно улучшает качество воздуха за счет исключения продуктов сгорания ископаемого топлива.
5. **Рекомендации по внедрению.** Для успешного внедрения технологии необходимы государственная поддержка в виде субсидий или льготного кредитования, информационные кампании для населения, а также подготовка квалифицированных специалистов по монтажу и обслуживанию систем.

ISSN 3030-3907



Заключение

Результаты исследования убедительно демонстрируют высокую перспективность внедрения солнечных коллекторов в жилом секторе города Чуст. Благоприятные климатические условия Ферганской долины в сочетании с растущими тарифами на традиционные энергоносители создают экономические предпосылки для массового перехода на возобновляемые источники энергии. Развитие солнечной энергетики в Узбекистане поддерживается на государственном уровне соответствующими законодательными актами [13, 14], что создает благоприятные условия для инвестиций в данную сферу.

При этом технология обеспечивает не только экономическую выгоду для потребителей, но и значительный экологический эффект, способствуя снижению углеродного следа региона.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на оптимизацию систем для зимнего периода, разработку гибридных решений с интеграцией тепловых насосов, а также изучение возможностей применения солнечной энергии для кондиционирования воздуха в летний период.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cristofari C., Notton G., Poggi P., Louche A. Modelling and performance of a copolymer solar water heating collector // Solar Energy. 2002. Vol. 72, No. 2. P. 99-112. DOI: 10.1016/S0038-092X(01)00092-6

2. Kumar R., Rosen M.A. Comparative Studies on the Efficiency of Solar Flat Plate Collector and Evacuated Tube Collector // International Journal of Energy and Environment. 2010. Vol. 1, No. 5. P. 805-812.

3. Kalogirou S.A. Economic and environmental comparison between flat plate and evacuated tube solar collectors // Global NEST Journal. 2009. Vol. 11, No. 2. P. 235-243.

ISSN 3030-3907

4. Said Z., Saidur R., Rahim N.A. Optical properties of metal oxides based nanofluids // International Communications in Heat and Mass Transfer. 2014. Vol. 59. P. 46-54. DOI: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2014.10.010
5. Ahmadi A., Ganji D.D., Jafarkazemi F. Analysis of utilizing Graphene nanoplatelets to enhance thermal performance of flat plate solar collectors // Energy Conversion and Management. 2016. Vol. 126. P. 1-11. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.07.061
6. Choudhury C., Garg H.P. Evaluation of a jet plate solar water heater // Solar Energy. 1991. Vol. 46, No. 4. P. 199-209. DOI: 10.1016/0038-092X(91)90066-4
7. Kennedy C.E. Review of Mid- to High-Temperature Solar Selective Absorber Materials // Technical Report NREL/TP-520-31267. National Renewable Energy Laboratory, 2002. 58 p.
8. Duffie J.A., Beckman W.A. Solar Engineering of Thermal Processes. 4th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2013. 910 p.
9. Узгидромет. Справочник по климату Узбекистана. Солнечная радиация. Ташкент: Центр гидрометеорологической службы при Кабинете Министров Республики Узбекистан, 2019. 156 с.
10. IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A. et al. (eds.). Cambridge University Press, 2021. 2391 p.
11. Ardente F., Beccali G., Cellura M., Lo Brano V. Life cycle assessment of a solar thermal collector: sensitivity analysis, energy and environmental balances // Renewable Energy. 2005. Vol. 30, No. 2. P. 109-130. DOI: 10.1016/j.renene.2004.05.006
12. Crawford R.H., Treloar G.J. Net energy analysis of solar and conventional domestic hot water systems in Melbourne, Australia // Solar Energy. 2004. Vol. 76, No. 1-3. P. 159-163. DOI: 10.1016/j.solener.2003.07.030
13. Закон Республики Узбекистан «Об использовании возобновляемых источников энергии» от 21.05.2019 г. № ЗРУ-539.
14. Постановление Президента Республики Узбекистан «О мерах по дальнейшему развитию альтернативной энергетики» от 02.04.2019 г. № ПП-4255.

ISSN 3030-3907