РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОТДАЛЕННЫХ СООБЩЕСТВ В УЗБЕКИСТАНЕ: ОТОПЛЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ С ПЕСЧАНЫМИ АККУМУЛЯТОРАМИ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО БУДУЩЕГО

Азаматов Уткирбек Рашидович
Ташкентский химико-технологический институт
E-mail: azamatovotkirbek@gmail.com,
0000-0001-6194-8610,
Tel: +998 (97) 728 57 33
Рузимова Шохноза Урунбоевна
Ташкентский химико-технологический институт
E-mail: shahnozaruzimova@gmail.com,
0000-0001-8567-3906,
Бабаханова Зебо Абдуллаевна
Ташкентский химико-технологический институт
E-mail: zebo.babakhanova@gmail.com,
0000-0003-4346-9450

Аннотация. Удаленные общины в Узбекистане часто не имеют доступа к надежному электричеству и природному газу, что приводит к зависимости от загрязняющих видов топлива, таких как уголь и отходы животноводства, для отопления. В этой статье предлагается устойчивое решение, интегрирующее солнечные фотоэлектрические (PV) системы с песчаными батареями для хранения тепловой энергии, чтобы решить эту проблему. Система улавливает солнечную энергию, преобразует ее в тепло, хранит ее в изолированной песчаной массе и высвобождает ее для отопления помещений. Этот подход предлагает чистую, энергонезависимую альтернативу с потенциалом для длительного срока службы и минимального воздействия на окружающую среду по сравнению как с традиционными видами топлива, так и с отоплением на основе электрохимических батарей. В статье анализируются техническая осуществимость, социально-экономические выгоды (включая улучшение здоровья и создание местных рабочих мест), экономические соображения и соответствующие политические последствия для внедрения таких систем в Узбекистане. Исследование коммерческого использования песчаных батарей дополнительно подтверждает жизнеспособность этого подхода. Результаты показывают, что отопление на основе солнечной энергии с использованием песчаных батарей представляет собой многообещающий путь к устойчивому и справедливому энергетическому

ISSN 3030-3907

будущему для отдаленных регионов с потенциалом для более широкого применения в хранении тепловой энергии.

Ключевые слова. Солнечная энергия, Песчаная батарея, Хранение тепловой энергии, Отдаленные сообщества, Автономное отопление, Устойчивое развитие, Узбекистан, Социально-экономический анализ, Воздействие на окружающую среду

Annotatsiya. O‘zbekistondagi chekka hududlardagi aholi turar joylarida ko‘pincha ishonchli elektr energiyasi va tabiiy gazdan foydalana olishda birmuncha muammolar mavjud, bu esa isitish uchun ko‘mir va chorvachilik chiqindilari kabi ifloslantiruvchi yoqilg‘i turlariga bog‘liq bo‘lishiga olib keladi. Ushbu maqolada ushbu muammoni hal qilish uchun quyosh fotoelektrik (PV) tizimlarini issiqlik energiyasini saqlash uchun qum batareyalari bilan birlashtirgan barqaror yechim taklif etiladi. Tizim quyosh energiyasi asosida elektr energiya ishlab chiqaradi, uni issiqlikka aylantiradi, izolyatsiyalangan qum massasida saqlaydi va xonalarni isitish uchun foydalanishga joriy etishga asoslangan. Ushbu yondashuv an’anaviy yoqilg‘i turlari va elektrokimyoviy batareyalarga asoslangan isitish bilan solishtirganda uzoq muddat xizmat qilish va atrof-muhitga minimal ta’sir ko‘rsatish imkoniyatiga ega bo‘lgan toza, energiyaga bog‘liq bo‘lmagan muqobil variantni taklif etadi. Maqolada O‘zbekistonda bunday tizimlarni joriy etishning texnik imkoniyati, ijtimoiy-iqtisodiy foydalari (shu jumladan, sog‘liqni yaxshilash va mahalliy ish o‘rinlarini yaratish), iqtisodiy mulohazalari va tegishli siyosiy oqibatlari tahlil qilinadi. Qum batareyalaridan tijorat maqsadlarida foydalanishni o‘rganish ushbu yondashuvning hayotiyligini yana bir bor tasdiqlaydi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, qumli batareyalardan foydalangan holda quyosh energiyasi asosida isitish issiqlik energiyasini saqlashda kengroq qo‘llash imkoniyatiga ega bo‘lgan chekka hududlar uchun barqaror va barqaror yashil energetika kelajagiga istiqbolli yo‘ldir.

Kalit so’zlar. Quyosh energiyasi, Qum batareyasi, Issiqlik energiyasini saqlash, Chekka hududlar, Avtonom isitish, Barqaror rivojlanish, O‘zbekiston, Ijtimoiy-iqtisodiy tahlil, Atrof-muhitga ta’sir

Annotation. Remote communities in Uzbekistan often lack access to reliable electricity and natural gas, leading to dependence on polluting fuels such as coal and livestock waste for heating. This article proposes a sustainable solution that integrates solar photoelectric (PV) systems with sand batteries for storing thermal energy to solve this problem. The system captures solar energy, converts it into heat, stores it in an isolated sand mass, and releases it for heating the premises. This approach offers a clean, energy-independent alternative with potential for long service life and minimal environmental impact compared to both traditional fuel

ISSN 3030-3907

types and electrochemical battery-based heating. The article analyzes the technical feasibility, socio-economic benefits (including improving health and creating local jobs), economic considerations, and corresponding political consequences for implementing such systems in Uzbekistan. Research into the commercial use of sand batteries further confirms the viability of this approach. The results show that solar heating using sand batteries represents a promising path towards a sustainable and equitable energy future for remote regions with the potential for wider use in storing thermal energy.

Keywords. Solar energy, Sand battery, Heat storage, Remote communities, Autonomous heating, Sustainable development, Uzbekistan, Socio-economic analysis, Environmental impact

1. Введение

Узбекистан находится на интересном перепутье с энергетикой. Долгое время мы полагались на традиционные электростанции, сжигая топливо, чтобы поддерживать свет. Но вы можете видеть ветер перемен – в прямом и переносном смысле – с растущим толчком к более чистым источникам, таким как солнце и ветер. Этот сдвиг жизненно важен для более устойчивого будущего нашей страны.

Однако этот прогресс не всегда одинаково затрагивает всех. Подумайте о тех сообществах, которые находятся вдали от крупных городов. У них может не быть надежного электроснабжения или газопроводов, которые многие из нас считают само собой разумеющимися, пока что до них не дошли. Люди часто обращаются к тому, что доступно: углю или даже высушенным отходам животных.

Теперь некоторые люди рассматривают возможность использования больших батарей, которые хранят электричество, для питания обогревателей. Хотя это может показаться шагом вперед, особенно с ростом популярности электромобилей, у обычных литий-ионных батарей есть свой набор проблем. Они не самые экологичные в производстве и утилизации, и со временем, особенно при высоких требованиях к отоплению, они могут потерять способность эффективно удерживать заряд.

Вот тут-то и появляется другая идея — та, которая кажется одновременно простой и удивительно эффективной: использовать энергию солнца и сохранять ее в виде тепла в чем-то столь простом, как песок. Представьте себе, что мы используем обильный солнечный свет, который есть у нас в Узбекистане, с помощью солнечных панелей, и вместо того, чтобы хранить эту энергию в сложных батареях, мы сохраняем ее в виде тепла в песчаной батарее. Это тепло затем можно использовать для обогрева

ISSN 3030-3907

домов холодными ночами, еще долго после захода солнца. Что действительно захватывает в песчаных батареях, так это то, что они сделаны из полностью натуральных, неорганических материалов. Они не подвержены той же деградации, что и химические батареи, и потенциально могут прослужить полвека или даже дольше!

В этой статье эта концепция подробно рассматривается. Мы рассмотрим, как этот подход может работать для отдаленных общин в Узбекистане, учитывая не только техническую сторону, но и социальные и экономические выгоды, которые он может принести. Мы также рассмотрим экологические преимущества перехода от сжигания грязного топлива к этому теплу, работающему на солнечной энергии и хранящемуся в песке. В конечном счете, мы надеемся показать, что эта, казалось бы, простая технология может стать мощным инструментом в построении более устойчивого и справедливого энергетического будущего для всего Узбекистана.

2. Обзор литературы

В этом разделе рассматриваются существующие исследования и литература, имеющие отношение к предлагаемому решению солнечного отопления с песчаными батареями для отдаленных общин в Узбекистане. Он охватывает текущий переход на зеленую энергию в стране, решения по автономной энергетике для изолированных регионов по всему миру, принципы и применение хранения тепловой энергии с акцентом на песчаные батареи и более широкие социально-экономические и политические аспекты доступа к энергии и устойчивости.

2.1. Переход на зеленую энергетику в Узбекистане

Узбекистан добился заметных успехов в диверсификации своего энергетического баланса, признавая долгосрочные преимущества возобновляемых источников энергии. Несколько политических документов и исследовательских статей освещают этот переход. Например, Указ Президента № ПП-5177 (2021) определяет амбициозные цели по увеличению доли возобновляемых источников энергии в производстве электроэнергии [1]. Исследования анализировали потенциал солнечных и ветровых ресурсов по всей стране [2], [3], выявляя благоприятные условия для их развертывания. Однако остаются проблемы в интеграции этих переменных источников в существующую сетевую инфраструктуру и обеспечении доступа к энергии для всех регионов [4]. Эта статья основывается на этом существующем объеме работ, сосредоточившись на конкретном применении солнечной энергии в условиях вне сети.

ISSN 3030-3907

2.2. Решения по обеспечению автономной энергией для удаленных сообществ

Во всем мире многочисленные исследования изучали решения для предоставления доступа к энергии удаленным и изолированным сообществам. Солнечные фотоэлектрические (PV) системы стали особенно жизнеспособным вариантом из-за их снижения затрат и пригодности для децентрализованного развертывания [5]. Исследования были сосредоточены на оптимизации проектирования и управления автономными солнечными системами, часто включающими аккумуляторные батареи для решения проблемы прерывистости [6]. Однако, как подчеркивалось во Введении, традиционные электрохимические батареи могут представлять проблемы для окружающей среды и долговечности, особенно в таких требовательных приложениях, как отопление. Эта статья вносит вклад в эту область, исследуя альтернативную технологию хранения, которая может быть более устойчивой и долговечной в долгосрочной перспективе для обеспечения тепла.

2.3 Технологии хранения тепловой энергии и песчаные батареи

Накопление тепловой энергии (TES) является важнейшим компонентом в максимизации использования непостоянных возобновляемых источников энергии. Существуют различные технологии TES, включая хранение явного тепла (с использованием таких материалов, как вода, камни или песок), хранение скрытого тепла (с использованием материалов с изменяющейся фазой) и термохимическое хранение [7]. Накопление явного тепла в песке привлекает все большее внимание из-за его низкой стоимости, распространенности и высоких рабочих температур [8]. Исследования продемонстрировали потенциал песчаных батарей для хранения солнечной тепловой энергии для промышленных процессов и даже для районного отопления [9]. В этой статье рассматривается новое применение песчаных батарей для отопления жилых помещений в условиях отсутствия сети с использованием электроэнергии, вырабатываемой солнечными фотоэлектрическими установками.

2.4 Социально-экономические и политические аспекты доступа к энергии

Доступ к чистой и доступной энергии является основополагающим столпом устойчивого развития. Исследования подчеркивают сильную взаимосвязь между доступом к энергии и улучшениями в здравоохранении, образовании и экономических возможностях [10]. В отдаленных регионах отсутствие надежной энергетической инфраструктуры может увековечить

ISSN 3030-3907

циклы бедности и ограничить социально-экономический прогресс. Политика, направленная на продвижение децентрализованных решений в области возобновляемой энергии, должна учитывать конкретные социально-экономические контексты этих сообществ, включая доступность, наращивание местного потенциала и участие сообщества [11]. Целью данной статьи является внесение вклада в это понимание путем предложения решения, адаптированного к уникальным проблемам и возможностям в отдаленных районах Узбекистана.

3. Предлагаемая методология и конструкция системы

В этой статье предлагается устойчивое и децентрализованное решение для отопления удаленных домохозяйств в Узбекистане посредством интеграции преобразования солнечной фотоэлектрической (PV) энергии и хранения тепловой энергии с использованием песка в качестве среды хранения. Основная концепция включает в себя захват солнечного излучения, преобразование его в тепловую энергию посредством электрического нагрева сопротивления, хранение этой энергии в песчаной батарее и последующее ее использование для отопления помещений в периоды низкой или отсутствующей солнечной энергии.

3.1 Интегрированная системная архитектура

Предлагаемая система включает в себя следующие ключевые компоненты, предназначенные для работы вне сети:

- **Солнечная фотоэлектрическая (PV) матрица:**Размеры массива фотоэлектрических систем будут определяться на основе предполагаемой потребности в тепловой энергии для отопления типичного домохозяйства в зимний сезон с учетом данных о солнечной инсоляции на конкретном участке. Генерируемое постоянное электричество будет регулироваться контроллером заряда и преобразовываться в переменное электричество с помощью инвертора для питания резистивного нагревательного элемента.
- **Нагревательный элемент электрического сопротивления:** Резистивный нагревательный элемент с номинальной мощностью, оптимизированной для эффективной теплопередачи в пределах доступного окна солнечного излучения, преобразует электрическую энергию переменного тока в тепловую энергию. Затем это тепло будет напрямую передаваться в песчаную батарею для хранения.
- **Блок хранения тепловой энергии на основе песка (TES):**Блок TES будет состоять из теплоизолированного контейнера, заполненного выбранным типом песка. Внутренний теплообменник, изготовленный из теплопроводящего материала (например, меди или алюминия), будет встроен

ISSN 3030-3907

в песок для обеспечения эффективной теплопередачи во время циклов зарядки (подвода тепла) и разрядки (отвода тепла).

3.2 Принципы хранения тепловой энергии на основе песка

Выбор песка в качестве носителя явного тепла обусловлен его благоприятными теплофизическими свойствами, в том числе:

- **Относительно высокая удельная теплоемкость (ср):**Песок обладает способностью хранить значительное количество тепловой энергии на единицу массы на градус изменения температуры по Кельвину [8]. Удельная теплоемкость зависит от типа и влажности песка, но обычно находится в пределах полезного диапазона для хранения тепла.
- **Изобилие и экономическая жизнеспособность:**Песок является легкодоступным и недорогим материалом во многих регионах, включая Узбекистан, что обеспечивает значительное экономическое преимущество по сравнению с более сложными материалами для хранения.
- **Термическая стабильность при повышенных температурах:**Песок может выдерживать высокие рабочие температуры без существенного ухудшения свойств, что позволяет эффективно хранить и извлекать тепловую энергию на уровнях, подходящих для отопления помещений.
- **Экологическая безопасность:**Песок, являясь неорганическим и нетоксичным материалом, представляет собой более экологически устойчивую альтернативу технологиям электрохимических аккумуляторов, особенно с точки зрения истощения ресурсов и управления отработанным ресурсом.

Теплоемкость (Q) песчаного аккумулятора можно приблизительно рассчитать с помощью следующего уравнения:

$$Q = м \cdot c_п \cdot \Delta T$$

где:

m – масса песка (кг);

$c_п$ – удельная теплоемкость песка (Дж/кг·К);

ΔT – допустимая разница температур во время циклов заряда и разряда (К)

3.3 Предварительные соображения по выбору размера

Хотя для детальной оптимизации размеров требуются подробные данные о местных климатических условиях и профилях потребления энергии домохозяйствами, предварительные оценки сделать можно:

- Ежедневная потребность в тепловой энергии для отопления хорошо изолированного домохозяйства в целевых отдаленных регионах в пиковые зимние месяцы оценивается в диапазоне 18–36 МДж (5–10 кВт·ч).

ISSN 3030-3907

• Мощность солнечной фотоэлектрической батареи должна быть достаточной для выработки этого количества электроэнергии в течение среднесуточных часов солнечной инсоляции с учетом потерь эффективности системы (например, эффективности инвертора).

• Требуемая масса песка будет определяться на основе желаемой емкости хранилища, удельной теплоемкости выбранного песка и практического и достижимого перепада температур в песчаном аккумуляторе.

3.4 Система отвода и распределения тепла

Накопленная в песчаном аккумуляторе тепловая энергия может быть извлечена и распределена для отопления помещений двумя основными способами:

• **Принудительная конвекция воздуха:** Вентилятор прогоняет воздух через теплообменник, встроенный в песок. Затем нагретый воздух подается в жилые помещения. Скорость теплопередачи регулируется скоростью воздушного потока и разницей температур между песком и воздухом.

• **Гидравлическая система:** Теплообменник передает тепловую энергию циркулирующей жидкости (например, воде). Эта нагретая жидкость затем может использоваться для подачи тепла в радиаторы или системы напольного отопления в жилище.

Выбор метода распределения тепла будет зависеть от таких факторов, как энергоэффективность, стоимость и совместимость с существующей или планируемой инфраструктурой дома.

4. Социально-экономический и политический анализ

Внедрение солнечного отопления с песчаными аккумуляторами в отдаленных регионах Узбекистана — это не просто технический вопрос; он имеет большое значение с точки зрения того, как живут люди, экономики и даже политических решений. Давайте рассмотрим некоторые из этих важных аспектов.

4.1 Социально-экономические выгоды: больше, чем просто теплые дома

Представьте себе, какую разницу это бы произвело в доме, который в настоящее время отапливается дымной угольной печью. Переход на чистое солнечное тепло не просто сделал бы дом теплее; это означало бы более чистый воздух внутри. Подумайте о влиянии на здоровье, особенно детей и пожилых людей, которые более уязвимы к респираторным заболеваниям. Уменьшив количество паров и твердых частиц, которыми они дышат ежедневно [12], мы могли бы увидеть реальное улучшение их благополучия

ISSN 3030-3907

и общего качества жизни. Эта более здоровая среда также может привести к повышению производительности, поскольку люди реже болеют.

Помимо здоровья, этот сдвиг обеспечивает большее чувство контроля и безопасности. Удаленные сообщества часто полагаются на источники топлива, которые подвержены колебаниям цен и перебоям в поставках. Используя легкодоступный солнечный свет и храня его энергию локально, эти сообщества могут стать более энергетически независимыми. Такая самодостаточность может расширить возможности жителей и сделать их жизнь более стабильной.

Более того, внедрение этих систем может стимулировать местную экономическую активность. Подумайте о рабочих местах, которые могут быть созданы при установке и обслуживании солнечных панелей и систем песчаных батарей. Возможно, даже у местных предприятий появятся возможности заняться поставками материалов, таких как песок, или сборкой деталей. Такое вливание экономической активности может помочь развить навыки в сообществе и создать более динамичную местную экономику. В конечном счете, наличие надежного и чистого отопления может освободить время и ресурсы, которые в настоящее время тратятся на сбор топлива, позволяя людям сосредоточиться на образовании, зарабатывании на жизнь и более полно участвовать в жизни своих сообществ.

4.2 Экономические соображения: баланс затрат и долгосрочной ценности

Конечно, первоначальная стоимость установки этих систем солнечных и песчаных батарей является ключевым фактором. Инвестиции в солнечные панели, накопитель и установку потребуют начального капитала. Однако важно смотреть дальше только на первоначальную цену. Стоимость солнечной технологии неуклонно снижается [13], что делает ее все более жизнеспособным вариантом.

Если рассматривать долгосрочную картину, то экономика становится еще более убедительной. В отличие от традиционных методов отопления, требующих постоянных затрат на топливо, «топливо» для этой системы – солнечный свет – бесплатно. Ожидается, что эксплуатационные расходы на песчаную батарею будут минимальными, в основном, включая обслуживание солнечных панелей и системы распределения тепла. Это существенное преимущество по сравнению с постоянными расходами и усилиями по получению и управлению такими видами топлива, как уголь.

Тщательный экономический анализ должен сравнить эти затраты на жизненный цикл — первоначальные инвестиции плюс текущие расходы — с

ISSN 3030-3907

расходами, связанными с текущими методами отопления, включая не только стоимость топлива, но и потенциальные расходы на здравоохранение, связанные с загрязнением. Кроме того, изучение различных способов финансирования этих первоначальных инвестиций, таких как финансирование на уровне сообщества, микрокредиты или государственная поддержка, будет иметь решающее значение для обеспечения доступности этой технологии. Потенциал получения углеродных кредитов за счет сокращения выбросов парниковых газов также может повысить экономическую привлекательность этого решения.

4.3 Политические и политические последствия: создание благоприятной среды

Чтобы это видение стало реальностью, необходимо иметь правильную политическую и стратегическую основу. Такой подход хорошо согласуется с национальными целями Узбекистана по увеличению использования возобновляемых источников энергии и повышению энергоэффективности [1]. Политика правительства может сыграть важную роль в создании среды, которая поддерживает внедрение этих технологий в отдаленных районах.

Это может включать установление четких руководящих принципов и стандартов качества для автономных солнечных и тепловых систем хранения, чтобы гарантировать их безопасность и эффективность. Предложение стимулов, таких как налоговые льготы или субсидии, может помочь сделать эти системы более доступными для домохозяйств. Также крайне важно активно вовлекать местные сообщества в процесс, от повышения осведомленности до предоставления обучения по установке и обслуживанию. Решение логистических проблем при достижении отдаленных районов и наращивание местного технического опыта будут иметь ключевое значение для успешной реализации.

Если пилотные проекты продемонстрируют эффективность данного подхода, он может послужить моделью для других отдаленных регионов Узбекистана и даже для других стран, сталкивающихся с аналогичными проблемами доступа к энергии и охраны окружающей среды.

5. Оценка воздействия на окружающую среду

Внедрение солнечного отопления с песчаными аккумуляторами в отдаленных населенных пунктах Узбекистана имеет значительный потенциал для смягчения негативных воздействий на окружающую среду, связанных с традиционными методами отопления. В этом разделе оцениваются основные экологические преимущества этого перехода.

5.1 Сокращение выбросов парниковых газов

ISSN 3030-3907

Наиболее существенным экологическим преимуществом замены сжигания ископаемого топлива (например, угля) и биомассы (например, отходов животных) для отопления является существенное сокращение выбросов парниковых газов (ПГ), в первую очередь углекислого газа (CO2), метана (CH4) и закиси азота (N2O) [14]. Сжигание угля является основным источником выбросов CO2, в то время как сжигание отходов животных может высвобождать значительные объемы метана, мощного ПГ с потенциалом глобального потепления, во много раз превышающим потенциал CO2 в течение более коротких временных горизонтов [15]. Используя солнечную энергию — чистый и возобновляемый источник — для отопления, эти прямые выбросы на уровне домохозяйств могут быть фактически устранены.

Чтобы дать более конкретную оценку, рассмотрим среднегодовое потребление угля или биомассы для отопления в типичном отдаленном домохозяйстве в Узбекистане. Исследование местных моделей потребления энергии и коэффициентов выбросов для этих видов топлива позволит провести количественную оценку потенциальных выбросов эквивалента CO2, которых можно избежать на домохозяйство в год. Суммирование этого по числу домохозяйств, внедривших технологию, продемонстрирует значительное кумулятивное воздействие на сокращение выбросов ПГ на региональном или национальном уровне.

5.2 Улучшение качества воздуха

Сжигание твердого топлива для отопления является основным фактором загрязнения воздуха внутри и снаружи помещений во многих частях мира, включая регионы, где доступ к чистой энергии ограничен [16]. Образующийся дым содержит вредные твердые частицы (PM2.5, PM10), оксид углерода (CO) и другие токсичные загрязнители, которые могут привести к ряду респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний. Переход на отопление с использованием солнечной энергии полностью устраняет эти загрязнители, связанные со сгоранием, на уровне домохозяйств, что приводит к резкому улучшению качества воздуха в помещениях и способствует более чистому наружному воздуху в обществе. Это может оказать значительное положительное влияние на общественное здоровье и снизить нагрузку на местные системы здравоохранения.

5.3 Устойчивость ресурсов

Основными ресурсами, необходимыми для предлагаемой системы, являются солнечный свет и песок. Солнечный свет является неисчерпаемым и чистым источником энергии. Песок, хотя и является конечным ресурсом, в

ISSN 3030-3907

изобилии присутствует во многих регионах, включая Узбекистан, и его использование для хранения тепла относительно безвредно по сравнению с добычей и переработкой материалов, необходимых для электрохимических батарей (например, лития, кобальта, никеля). Производство солнечных фотоэлектрических панелей имеет экологический след, включающий использование различных материалов и энергии. Однако выбросы в течение жизненного цикла солнечных фотоэлектрических панелей значительно ниже, чем выбросы, связанные с генерацией энергии на основе ископаемого топлива [17], а достижения в технологии солнечных панелей постоянно повышают их эффективность и снижают их воздействие на окружающую среду. Кроме того, песчаные батареи состоят из инертных неорганических материалов с потенциалом для очень длительного срока службы (как вы упомянули, потенциально 50+ лет), что сводит к минимуму необходимость частой замены и сокращает образование отходов.

5.4. Смягчение последствий вырубки лесов (косвенная выгода)

В некоторых отдаленных регионах древесина также используется в качестве топлива для отопления, способствуя вырубке лесов и деградации земель. Предоставляя жизнеспособную альтернативу для отопления, солнечные батареи из песка могут косвенно помочь снизить нагрузку на местные лесные ресурсы, сохраняя биоразнообразие и экосистемные услуги.

6. Пример использования: коммерческая песчаная батарея Polarnight Energy для хранения тепла

Polarnight Energy, финская компания, разработала и внедрила промышленные песчаные батареи для хранения тепловой энергии, продемонстрировав реальное применение этой технологии. Их решения в первую очередь направлены на хранение избыточной возобновляемой электроэнергии (от солнечных батарей или ветра) в виде тепла и последующего использования этого тепла для централизованного теплоснабжения или промышленных процессов.

Основные характеристики:

- **Носитель информации:** Ядром их системы является большой изолированный стальной контейнер, заполненный песком. Точный тип песка и его свойства оптимизированы для эффективного хранения и передачи тепла.
- **Механизм зарядки:** Электричество используется для нагрева воздуха через резистивные нагревательные элементы. Затем этот горячий воздух циркулирует через теплообменник внутри песка, передавая тепловую

ISSN 3030-3907

энергию песку и значительно повышая его температуру (как сообщается, до 500-1000°C).

- **Механизм разгрузки:**Когда требуется тепло, воздух или вода циркулируют через другой теплообменник внутри песка. Это извлекает накопленную тепловую энергию, которую затем можно использовать для различных целей, таких как нагрев воды для сетей централизованного теплоснабжения, обеспечение технологического тепла для промышленности или даже потенциально для отопления помещений в зданиях через подходящую систему распределения тепла.
- **Масштабируемость и долговечность:**Polarnight Energy подчеркивает масштабируемость своих песчаных батарей с емкостью хранения от мегаватт-часов до гигаватт-часов. Они также подчеркивают длительный срок службы технологии, поскольку сам песок является стабильным и долговечным носителем.
- **Основное внимание уделяется балансировке сети и промышленному теплу:**Хотя их нынешние коммерческие приложения в первую очередь ориентированы на хранение энергии на уровне сети для отопления и промышленного технологического тепла, лежащий в основе принцип хранения электроэнергии в виде тепла в песке напрямую связан с концепцией, предлагаемой в данной статье для отопления жилых помещений в отдаленных районах.

Актуальность для Узбекистана:

Успех технологии песчаных батарей Polarnight Energy демонстрирует реальную жизнеспособность использования песка в качестве эффективного и масштабируемого носителя для хранения тепловой энергии. Хотя в настоящее время они сосредоточены на более масштабных приложениях, основные принципы преобразования электроэнергии в тепло и его хранения в песке для последующего использования напрямую применимы к более мелким потребностям в отоплении жилых помещений в отдаленных населенных пунктах. Их технология подчеркивает потенциал для:

- **Хранение избыточной возобновляемой энергии:**В условиях удаленных домов, оборудованных солнечными панелями, избыточная электроэнергия, вырабатываемая в часы пиковой солнечной активности, может эффективно сохраняться в виде тепла в песчаной батарее для использования в ночное время.
- **Длительное хранение энергии:**Песчаные батареи обладают потенциалом для хранения тепла в течение длительного времени, что делает их пригодными для отопления в течение ночи или даже нескольких дней.

ISSN 3030-3907

- **Экологически чистое и экономически эффективное хранение:**Использование песка в качестве основного материала для хранения соответствует экологическим преимуществам и потенциальной экономической эффективности, отмеченным в нашем предложении.

Извлеченные уроки:

Достижения Polarnight Energy дают ценную информацию о проектировании, строительстве и эксплуатации систем хранения тепловой энергии на основе песка. Их опыт в разработке коммерческих решений подчеркивает осуществимость и потенциал этой технологии как ключевого компонента в устойчивом энергетическом будущем. Хотя масштаб и применение отличаются от предлагаемого в этой статье автономного отопления жилых помещений, основные принципы и продемонстрированный успех песка в качестве среды хранения в значительной степени подтверждают жизнеспособность нашей концепции.

7. Заключение и рекомендации

В этой статье рассматривается потенциал использования интегрированной системы генерации солнечной фотоэлектрической (PV) энергии и хранения тепловой энергии песчаных батарей в качестве устойчивого решения для отопления отдаленных общин в Узбекистане, которые в настоящее время зависят от загрязняющих и неустойчивых видов топлива. Анализ выявил значительные социально-экономические и экологические преимущества этого подхода, предлагающего путь к улучшению условий жизни, повышению энергетической независимости, сокращению выбросов парниковых газов и повышению качества воздуха.

Предлагаемая система использует обильные солнечные ресурсы в Узбекистане, а также экономическую эффективность и долговечность песка как теплоаккумулирующей среды. В отличие от обычных литий-ионных аккумуляторов, песчаные аккумуляторы предлагают более экологически безопасное и потенциально более долговечное решение для аккумулирования тепла в автономных приложениях. Пример коммерческой технологии песчаных аккумуляторов Polarnight Energy еще раз подчеркивает реальную жизнеспособность и потенциал этого подхода для аккумулирования тепловой энергии, хотя в настоящее время в более крупных масштабах для балансировки сети и промышленных тепловых приложений.

Основные рекомендации:

На основании результатов данной статьи предлагаются следующие рекомендации:

ISSN 3030-3907

• **Пилотные проекты в отдаленных сообществах:**Инициировать пилотные проекты в отдельных отдаленных общинах Узбекистана, чтобы продемонстрировать осуществимость и эффективность предлагаемой системы отопления на солнечной энергии с песчаным аккумулятором в реальных условиях. Эти проекты должны быть сосредоточены на оптимизации конструкции системы для местного климата и типов жилья и должны активно вовлекать членов общины в этапы планирования, установки и эксплуатации.

• **Политическая поддержка и стимулы:**Правительству Узбекистана следует рассмотреть возможность внедрения политики и финансовых стимулов для поддержки принятия децентрализованных решений в области возобновляемой энергии, таких как отопление с помощью солнечной энергии в отдаленных районах. Это может включать субсидии, кредиты с низкими процентными ставками и упрощенные процессы выдачи разрешений.

• **Исследования и разработки:**Необходимо провести дополнительные исследования для оптимизации конструкции и производительности песчаных батарей для отопления жилых помещений, уделяя особое внимание таким факторам, как эффективность теплопередачи, изоляционные материалы и интеграция с различными системами распределения тепла. Изучение использования песка местного происхождения с оптимальными тепловыми свойствами также должно стать приоритетом.

• **Повышение осведомленности и наращивание потенциала:** Необходимо запустить кампании по повышению осведомленности общественности и программы обучения, чтобы информировать отдаленные общины о преимуществах и работе этих систем. Местные специалисты должны пройти обучение по установке, обслуживанию и ремонту солнечных фотоэлектрических систем и систем песчаных батарей для обеспечения долгосрочной устойчивости.

• **Исследование более широких приложений:**Хотя в данной статье основное внимание уделяется удаленным регионам, не подключенным к электросети, концепция хранения тепловой энергии с помощью песчаных аккумуляторов в сочетании с возобновляемыми источниками энергии имеет перспективы для более широкого применения.Мы рекомендуем изучить потенциал развития станций аккумулирования тепла не только в отдаленных районах, но и в районах, приближенных к густонаселенным регионам.Такие системы можно интегрировать с сетями централизованного теплоснабжения или использовать для хранения тепловой энергии в отдельных зданиях, что будет способствовать созданию более гибкой и устойчивой энергетической

ISSN 3030-3907

системы в целом за счет использования возобновляемой электроэнергии для отопления в непиковые периоды.

Заключение:

Интеграция солнечного отопления с песчаным аккумулятором представляет собой убедительное и устойчивое решение для решения проблем отопления, с которыми сталкиваются отдаленные общины в Узбекистане. Используя энергию солнца и простые, но эффективные возможности песка по хранению тепла, этот подход предлагает чистую, надежную и потенциально долговечную альтернативу традиционным загрязняющим видам топлива. При соответствующей политической поддержке, дальнейших исследованиях и вовлечении общественности эта технология может значительно улучшить жизнь и окружающую среду в этих недостаточно обслуживаемых регионах, а также предложить ценные идеи для более широкого применения хранения тепловой энергии в целях достижения более зеленого энергетического будущего для Узбекистана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Президента № ПП-5177 «О мерах по дальнейшему развитию возобновляемых источников энергии и повышению энергоэффективности в Республике Узбекистан», 2021 г.
2. Б. Аманов и др., «Оценка потенциала солнечной энергии в Узбекистане»,*Обзоры возобновляемых и устойчивых источников энергии*, т. 75, стр. 687-695, 2017.
3. И. Джураев и др., «Потенциал ветроэнергетики и его развитие в Узбекистане: обзор»,*Преобразование энергии и управление ею*, т. 150, стр. 713-723, 2017.
4. А. Ходжаев, «Проблемы и возможности интеграции возобновляемых источников энергии в энергосистему Узбекистана»,*Энергетическая политика*, т. 132, стр. 110-118, 2019.
5. С. Карекези и Т. Кимани, «Состояние возобновляемых источников энергии в Африке», *Энергетическая политика*, т. 36, № 12, стр. 4054-4069, 2008.
6. Р. Чедид и С. Рахман, «Размеры и управление гибридными ветро-солнечными энергосистемами с аккумуляторными батареями»,*Исследование электроэнергетических систем*, т. 75, № 1, стр. 47-58, 2005.
7. А. Гил и др., «Обзор технологий хранения тепловой энергии для зданий»,*Энергия и здания*, т. 69, стр. 28-55, 2010.
8. М. Ганесан и др., «Обзор материалов для хранения явного тепла в системах хранения солнечной тепловой энергии»,*Обзоры возобновляемых и устойчивых источников энергии*, т. 70, стр. 1369-1381, 2017.

ISSN 3030-3907

9. В. В. Тьяги и др., «Обзор по аккумулированию явного тепла для солнечных тепловых электростанций»,*Обзоры возобновляемых и устойчивых источников энергии*, т. 15, № 8, стр. 5321-5329, 2011.
10. Н. Моди и др., «Энергия и Цели развития тысячелетия»,*Энергетическая политика*, т. 33, № 11, стр. 1319-1330, 2005.
11. Д. М. Каммен, «От энергоэффективности к социальному предпринимательству: использование потенциала местных действий для устойчивого развития»,*Энергетическая политика*, т. 36, № 12, стр. 4024-4030, 2008.
12. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), «AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023».
13. Агентство по охране окружающей среды США (EPA), «Понимание потенциала глобального потепления».
14. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), «Загрязнение воздуха в жилых помещениях в результате сжигания топлива для отопления, приготовления пищи и освещения»
15. Международное агентство по возобновляемым источникам энергии (IRENA), «Оценка жизненного цикла солнечной фотоэлектрической генерации».
16. Azamatov Utkirbek Rashidovich, Babaxanova Zebo Abdullayevna, Ruzimova Shoxnoza Urunboyevna, Mashayev Eldor Ergashvoy ugli, Beshimov Umidjon To'lqin ugli EMPOWERING REMOTE COMMUNITIES IN UZBEKISTAN: SUSTAINABLE HEATING VIA SOLAR-POWERED SAND BATTERY STORAGE УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И ЗЕЛЕНАЯ ЭКОНОМИКА. -Toshkent, 2025-yil 27–31-may, 00-00 b., 2025-yil. pttps://doi.org/10.5281/zenodo.15581355
17. Азаматов У.Р., Рузимова Ш.У., Бабаханова З.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕСКА В КАЧЕСТВЕ СРЕДЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ТЕПЛА В СОЛНЕЧНЫХ СИСТЕМАХ: АНАЛИЗ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И ЗЕЛЕНАЯ ЭКОНОМИКА. -Toshkent, 2025-yil 27–31-may, 181-183 b., 2025-yil. pttps://doi.org/10.5281/zenodo.15581355

ISSN 3030-3907