



## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21) 2021/0206.1

(22) 27.03.2021

(45) 08.10.2021, бюл. №40

(72) Нестеренков Петр Александрович;  
Нестеренкова Лариса Алексеевна; Нестеренков  
Александр Геннадьевич

(73) Нестеренков Александр Геннадьевич

(56) US 20070289622 A1, 20.12.2007

CN 103684210 A, 16.09.2015

RU 2662244 C1, 25.07.2018

KZ 31168 A4, 18.03.2015

(54) СПОСОБ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ  
СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ФОТО -  
ТЕПЛОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

(57) Изобретение относится к возобновляемым  
источникам энергии и может быть использовано в  
удаленных фермерских хозяйствах, туристических  
базах отдыха, вахтовых поселках и военных  
городках для полного обеспечения электричеством,  
теплом и высокопотенциальной тепловой энергией.

В предлагаемом изобретении осуществляют  
фокусировку солнечного излучения на стенках  
каналов с фотоэлементами и фронтальных  
поверхностях вакуумных трубок с получением  
горячей воды и термической жидкости, создающими  
градиент температуры не ниже  $\approx 150^{\circ}\text{C}$ . С холодных  
сторон термогенераторов снимают тепло с помощью  
воды, идущей из каналов с фотоэлементами.  
Несмотря на ее предварительный нагрев до  $\approx 45^{\circ}\text{C}$ ,

реализуется средний градиент температуры  $\approx 150^{\circ}\text{C}$   
на термогенераторах и утилизируется отходящее  
тепло для целей теплоснабжения. В результате  
получают максимальную эффективность  
фотоэлементов и термогенераторов с  
использованием не менее двух смежных оптических  
концентраторов, размещаемых на одной несущей  
конструкции.

Днем с помощью высокопотенциальной тепловой  
энергии на выходе канала с термогенераторами  
подготавливается сырье, например, из остатков  
растений путем сушки и подогрева выше  $\approx 110^{\circ}\text{C}$ .  
После захода солнца проводится пиролиз  
термически подготовленного топлива и  
низкотемпературное пиролизное горение при  
температуре  $\approx 450^{\circ}\text{C}$ . При этом в проточном  
контуре, соединенном последовательно с каналом  
термогенераторов, достигается температура  
термической жидкости более  $\approx 250^{\circ}\text{C}$  и растет  
градиент температуры выше  $\approx 170^{\circ}\text{C}$ . Тем самым  
реализуются выработка электроэнергии фото-  
теплоэлектрическим комплексом в вечерний период  
хозяйственной деятельности - после захода солнца.

Изобретение позволяет повысить  
производительность гибридной системы по  
выработке электрической и тепловой энергии и  
увеличить коэффициент использования мощности  
гибридной системы за счет работы после захода  
солнца.

Изобретение относится к возобновляемым источникам энергии и может быть использовано в удаленных фермерских хозяйствах, туристических базах отдыха, вахтовых поселках и военных городках для полного обеспечения электричеством, теплом и высокопотенциальной тепловой энергией.

Известна гибридная система для преобразования солнечного излучения в электрическую и тепловую энергию (Concentrating Solar Energy Collector, патент US 8,686,279 B2, Arg.1,2014), включающая: оптический концентратор солнечного излучения из плоских зеркал; трекер для слежения оптического концентратора за солнцем; фотомодули V – образной формы, расположенные вдоль осевой плоскости концентратора и вырабатывающие электро- и тепловую энергию; химические аккумуляторы для приема электроэнергии; циркуляционный контур с теплоносителем для охлаждения фотоэлементов и передачи тепловой энергии через теплообменник потребителю. Недостатками гибридной системы являются большие оптические потери сконцентрированного солнечного излучения и тепловые потери до  $\approx 30\%$  с поверхности фотомодулей. Кроме того, в период отсутствия солнца гибридная система не работает, и дорогое оборудование простаивает, а химические аккумуляторы разряжаются.

Известно гибридное устройство для производства электроэнергии (Base-load thermoelectric power generation using evacuated tube solar collector and water storage tank. Published by Elsevier Ltd.) включающее: плоские коллекторы с вакуумными трубками; термогенераторы на стенках канала, соединенного с выходом коллектора и смежными каналами с холодной водой; теплоизолированный бак для хранения тепловой энергии; трубопроводов с переключающими кранами и резервуара для воды. Гибридное устройство работает следующим образом. Вода из резервуара, прокачиваясь с помощью насоса вдоль холодных сторон термогенераторов, поступает в плоские коллекторы, из которых с температурой  $\approx 90^\circ\text{C}$  направляется в канал с горячими сторонами термогенераторов и затем поступает в теплоизолированный бак-аккумулятор, включенный в систему горячего водоснабжения потребителя. После захода солнца отключаются коллекторы, и горячая вода из теплоизолированного бака самотеком подается в канал с горячими сторонами термогенераторов. Недостатком гибридного устройства является малая электрическая мощность термогенераторов из-за малого градиента температуры, большие тепловые потери на коллекторах большой площади.

Известна гибридная система для преобразования солнечного излучения в электро- и тепловую энергию (Investigation of solar hybrid system with concentrating Fresnel lens, photovoltaic and thermoelectric generators. International Journal of Energy Research, 2016), включающая фотоэлементы и линзы Френеля, в фокусной области которых размещены термогенераторы из  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  с алюминиевыми пластинами – абсорберами на поверхности для поглощения света, при этом

холодные стороны термогенераторов закреплены на медной пластине, вдоль которой закреплен термосифон с протекающей водой для снятия тепла и передачи в систему утилизации. Недостатком гибридной системы (PV+CTG) является малая величина вырабатываемой электроэнергии фотоэлементами, работающими без концентрации солнечного излучения и малая мощность термогенераторов.

Известна гибридная система для преобразования солнечного излучения (Design of a Concentration Solar Thermoelectric Generator. J. Electron. Mater., 2010), включающая: поддерживающий каркас; систему слежения за солнцем; линзы Френеля для фокусировки солнечного излучения; плоские зеркала, установленные напротив линз Френеля для изменения направления фокусируемого солнечного излучения; тепловой коллектор, селективные стенки которого установлены в фокусной области линз Френеля; модули термогенераторов, размещенные на свободной от сфокусированного излучения стенках коллектора; систему охлаждения термогенераторов, содержащую теплообменник и емкость, подсоединенную к теплоснабжению потребителей. Недостатком гибрида являются повышенные тепловые потери излучением, невысокая концентрация солнечного излучения и, соответственно, низкая эффективность термогенераторов.

Известна гибридная система преобразования солнечной энергии с концентрацией излучения до  $\approx 300$  крат с многопереходным фотоэлементом и термогенератором (Hybrid photovoltaic-thermoelectric system for concentrated solar energy conversion: Experimental realization and modeling. Journal of Applied Physics 118, 115104, 2015), в которой термогенератор рассеивает часть избыточного тепла фотоэлементов и увеличивает электрическую мощность системы. До концентрации  $\leq 200$  крат эффективность системы составляла  $\approx 32\%$  и была обусловлена в основном вкладом фотоэлемента, а дальнейший рост концентрации и температуры приводил к уменьшению эффективности фотоэлемента и росту эффективности термогенератора. Моделирование методом конечных разностей показало, что охлаждающее влияние термогенератора на эффективность гибридной системы более значительно, чем его прямой электрический вклад.

Известна работа (Performance investigation of a concentrating photovoltaic thermal hybrid solar system combined with thermoelectric generators. Energy Conversion and Management. Volume 205, 1 February 2020, 112377), в которой предложены математические модели для анализа электрических и тепловых характеристик гибридов CPVT- CTG, проверенные экспериментально. Результаты показывают, что суммарный электрический КПД системы CPVT- CTG был улучшен всего на 7,5% по сравнению с системой CPVT при солнечной радиации  $\approx 935 \text{ Вт/м}^2$  и температуре окружающей среды  $\approx 33^\circ\text{C}$ , причем с площади апертуры концентратора  $\approx 39 \text{ м}^2$  можно получить

дополнительно электрическую энергию не более  $\approx 359$  кВтч за счет интеграции термоэлектрических генераторов.

Известен «Способ преобразования солнечного излучения и когенерационная установка для реализации способа» (патент KZ №33513 от 17.09.2018), включающий: концентрацию солнечного излучения на  $\Lambda$ -фотомодулях и коллекторе с расходуемой водой; генерацию фотоэлементами электрической энергии и тепловой энергии; сброс тепловой энергии в теплообменнике; повышение температуры воды в коллекторе; транспортировку тепловой энергии в виде горячей воды к теплоизолированной емкости за счет естественной циркуляции. Недостатком когенерационной установки является малая суточная производительность, отсутствие возможности генерации высокопотенциальной тепловой энергии и низкий коэффициент использования оборудования из-за отсутствия генерации электроэнергии в отсутствие солнца.

Известен способ получения электрической энергии, (патент WO2010147638A3 от 2011-03-03), содержащий этапы: фокусировка солнечного излучения и разделение его с помощью плоского зеркала на излучение инфракрасного и видимого и ультрафиолетового спектра; преобразование инфракрасного излучения в электрическую энергию с помощью термогенераторов; и преобразование видимого и ультрафиолетового излучения в электрическую энергию фотоэлементами; рассеивание тепла на термогенераторах через теплоотвод. Способ реализуется с помощью гибридной системы, содержащей: линзу Френеля; плоское зеркало для разделения сфокусированного излучения на - инфракрасный и видимый и ультрафиолетовый спектры; термогенераторы, принимающие инфракрасное излучение; фотоэлементы для приема видимого и ультрафиолетового излучения для; теплоотвод, термически соединенный с холодной стороной термогенераторов. Гибридная система работает следующим образом. Солнечное излучение фокусируется линзой Френеля и направляется на плоское зеркало, отражающее излучение видимого и ультрафиолетового спектра на фотоэлементы и пропускающее инфракрасное излучение к термогенераторам. Инфракрасное излучение нагревает горячую сторону термогенераторов, а на холодной стороне термогенераторов рассеивается тепло через теплоотвод, в результате чего возникает градиент температуры и вырабатывается электрическая энергия. Недостатком способа и устройства является низкая мощность термогенераторов из-за малой оптической мощности сфокусированного оптического потока.

Обзор показывает, что гибридные конструкции с парами фотоэлемент + термогенератор в одном оптическом тракте концентрированного солнечного излучения являются ущербными из-за несогласованности технических характеристик и малой мощности.

Известна гибридная система для преобразования солнечного излучения в электрическую и тепловую энергию (патент US20070289622 A1 от 12.20.2007), выбранная в качестве прототипа, содержащая: концентратор для выбора апертуры и концентрации солнечного излучения; фотоэлементы, расположенные в области концентрированного солнечного излучения; термогенераторы, установленные в области концентрированного с дополнительным отражением солнечного потока; отражатель для направления концентрированного солнечного потока на термоэлементы; систему циркуляции воды для улавливания избыточной тепловой энергии с фотоэлементов и термогенераторов с последующей утилизацией в горячем водоснабжении. Гибридная система работает следующим образом. Оптический концентратор фокусирует поток солнечного излучения на охлаждаемых фотоэлементах, которые вырабатывают электрическую и тепловую энергию. Кроме того, концентратор фокусирует оставшуюся часть потока солнечного излучения с последующим направлением с помощью отражателя на смежно размещаемые термогенераторы, которые генерируют электрическую и тепловую энергию. Система циркуляции воды снимает излишнее тепло с фотоэлементов и термогенераторов и утилизирует его в горячем водоснабжении потребителя. Недостатками гибридной системы является низкая удельная мощность и малая суточная производительность по электричеству и теплу, отсутствие возможности производства высокопотенциальной тепловой энергии и низкий коэффициент использования оборудования из-за простоя в период отсутствия солнца.

Задачей изобретения является устранение указанных недостатков и получение следующих положительных технических результатов:

1. повышение удельной производительности гибридной системы по электричеству и теплу при номинальных паспортных характеристиках фотоэлементов и термогенераторов;

2. получение из энергии солнца высокопотенциальной тепловой энергии для использования в технологических приложениях, увеличение коэффициента использования установленной мощности гибридной системы и реализация выработки электроэнергии после захода солнца;

Технический результат по п. 1 достигается тем, что в способе преобразования солнечного излучения, включающем: концентрацию солнечного излучения (в дальнейшем для краткости просто излучением) на фотоэлементах; преобразование концентрированного излучения в тепловой поток через термогенераторы; циркуляцию воды вдоль фотоэлементов и термогенераторов; утилизацию тепловой энергии, выделяемой фотоэлементами и термогенераторами, новым является то, что: проводят концентрацию одновременно не менее двух смежных потоков излучения, причем один на фотоэлементах и другой на вакуумных трубках; осуществляют взаимную экранировку теплового

излучения на фронтальных поверхностях вакуумных трубок; создают смежное течение горячей воды, получаемой после фотоэлементов, и термической жидкости после вакуумных трубок и формируют из них перпендикулярно течению противоположно направленные тепловые потоки; размещают в них термогенераторы и поддерживают градиент температуры днем не менее  $\approx 150^\circ\text{C}$ . Способ реализуется в гибридной системе, содержащей: концентратор излучения, установленный на следящей за солнцем платформе; фотоэлементы в концентрированном излучении; систему циркуляции воды; термогенераторы между потоками концентрированного излучения и воды; в соответствии с изобретением, установлен еще один концентратор излучения, в фокусной области которого размещено не менее двух пар вакуумных трубок с термической жидкостью, фронтальные поверхности которых ориентированы встречно и симметрично относительно осевой плоскости, а термогенераторы размещены вдоль противоположных стенок канала, соединенного с выходом вакуумных трубок и установленного параллельно и вблизи осевой плоскости первого концентратора, причем коллинеарно каналам с фотоэлементами закреплены смежные теплопроводы с возможностью естественной циркуляции горячей воды к теплоизолированной емкости, входящей в систему теплоснабжения и соединенной с резервуаром холодной воды через запорный кран.

Технический результат по п.1 усиливается тем, что у тыльной стороны вакуумных трубок установлены зеркала, с углом наклона, позволяющим отражать прошедшее мимо концентрированное излучение на тыльную поверхность вакуумных трубок.

Температура термической жидкости в вакуумных трубках достигает температуры  $\approx 190^\circ\text{C}$  за счет трех факторов: высокой концентрации излучения на фронтальных поверхностях; взаимной двойной экранировки теплового излучения фронтальных поверхностей и оптимального расположения зеркал у тыльной стороны вакуумных трубок. При этом горячая вода при естественной циркуляции в симметричных теплопроводах и параллельно циркулирующая термическая жидкость совместно создают градиент температуры не менее  $\approx 150^\circ\text{C}$ , обеспечивая работу термогенераторов с номинальными техническими характеристиками и повышая удельную производительность. Причем теплопроводы отводят с поверхности термогенераторов большое количество тепла, которое утилизируется в теплоизолированной емкости для системы теплоснабжения.

Технический результат по п. 2 достигается тем, что поднимают уровень температуры воды и термической жидкости выше, чем в прототипе и получают на выходе термогенераторов высокопотенциальную тепловую энергию. Действительно, за счет теплообмена горячих жидкостей получают термическую жидкость на выходе с температурой более  $\approx 130^\circ\text{C}$  и используют в технологии пиролиза, осуществляя в дневной

период эффективную сушку органического топлива, пиролиз и горение которого проводят в период отсутствия солнца. Способ реализуется за счет подключения в дневной период последовательно каналу с термогенераторами и вакуумным трубкам проточного контура, размещенного в камере сушки и пиролиза, куда загружают сырье и где проводят сушку и термическую подготовку органического топлива. В отсутствие солнца перекрывают трубопровод с вакуумными трубками и подключают параллельный контур устройства пиролиза, включающий проточный контур камеры сушки и пиролиза и циркуляционный контур камеры низкотемпературного пиролизного горения с циркуляционным насосом.

За счет поддержания температуры в камере сушки и пиролиза более  $130^\circ\text{C}$  осуществляется эффективная сушка и термическая подготовка органического топлива в течение дня, в том числе из отходов растениеводства. После захода солнца инициируют на короткое время процесс горения в камере низкотемпературного пиролизного горения, поднимая температуру в камере сушки выше  $\approx 280^\circ\text{C}$  и начиная экзотермический незатухающий процесс пиролиза органического топлива. Продукты пиролиза в виде газа направляют в камеру горения, где повышают температуру термической жидкости и соответственно увеличивают ее температуру в канале с термогенераторами выше  $\approx 250^\circ\text{C}$ . При этом смежные теплопроводы снимают тепло с холодных сторон термогенераторов за счет естественной циркуляции холодной воды из резервуара. В результате градиент температуры растет выше  $\approx 200^\circ\text{C}$ , и повышается эффективность термогенераторов. Кроме того, реализуется генерация электроэнергии после захода солнца, и существенно возрастает коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) оборудования.

Технический результат по п. 2 усиливается тем, что камера сушки и пиролиза органического топлива выполняется в виде стандартной металлической трубы с величиной соотношения длины к диаметру  $\approx 4$ , что позволяет осуществлять оптимальный процесс послойного пиролиза по длине и реализовать простую периодическую загрузку - выгрузку органического топлива без прерывания технологического процесса. Кроме того, в верхней части объема в области повышенной температуры удобно размещаются трубы проточных циркуляционных контуров с термической жидкостью.

Технические признаки по способу, включающие: создание не менее двух смежных концентрированных солнечных потоков, один на охлаждаемых водой фотоэлементах, а другой на вакуумных трубках с термической жидкостью; экранирование теплового излучения встречными фронтальными поверхностями вакуумных трубок; формирование смежных потоков горячих жидкостей; получение перпендикулярно течению горячих жидкостей противоположно направленных потоков тепла с возможностью поддержания

градиента температуры не менее  $\approx 150^{\circ}\text{C}$ ; получение высокопотенциальной тепловой энергии и использование в процессе термической подготовки органического топлива; осуществление послойного пиролиза в дневной период и пиролизного горения после захода солнца с получением повышенного градиента температуры на термогенераторах  $\approx 170^{\circ}\text{C}$  не были известны ранее, и позволили достичь целевые положительные качества, поэтому заявленное техническое решение соответствует критерию «существенные отличия» и соответствует изобретательскому уровню.

Совокупность технических признаков по устройству, включающая: наличие на следящей за солнцем платформе не менее двух концентраторов солнечного излучения, с установленными в фокусной области одного из них охлаждаемых водой фотоэлементов и в фокусной области другого попарно установленных вакуумных трубок, фронтальные поверхности которых ориентированы встречно относительно осевой плоскости концентратора; размещение вдоль осевой плоскости первого концентратора канала с термогенераторами, подключенного к выходу вакуумных трубок; смежное и симметричное крепление вдоль термогенераторов теплопроводов и соединение их последовательно с каналами с фотоэлементами; соединение с каналом с термоэлементами последовательно проточного контура камеры сушки и пиролиза органического топлива, и параллельное подключение проточного контура камеры низкотемпературного пиролизного горения ранее была не известна, позволила достигнуть положительные качества, следовательно, удовлетворяет критерию «существенные отличия».

Из уровня техники приведенная последовательность технологических операций и соединений (связей) известных элементов и их конструктивного выполнения не обнаружена. Поэтому можно сделать вывод о новизне заявляемого способа и гибридного фото-теплоэлектрического комплекса и соответствии изобретательскому уровню.

Раскрытие некоторых технологических параметров в реальных образцах фото-теплоэлектрических установок дает возможность говорить о соответствии условию «промышленная применимость».

Сущность изобретения поясняется фигурами. На фиг.1 изображена оптическая и гидравлическая схема фото-теплоэлектрического комплекса. На фиг. 2 показана схема, поясняющая способ взаимной экранировки теплового излучения встречно устанавливаемыми фронтальными поверхностями вакуумных трубок. На фиг. 3 показана фотография одного из вариантов гибридной системы и ее рабочих элементов.

Фото-теплоэлектрический комплекс состоит из следящей за солнцем несущей платформы (не показана), оптических концентраторов 1 и 2 из набора плоских зеркал, каналов 3 с фотоэлементами, вакуумных трубок 4, теплопроводов 5, плоского канала 6, термогенераторов 7, проточного контура 8,

камеры сушки и пиролиза 9, переключающих кранов 10 и 11, змеевика 12 камеры горения 13; циркуляционных насосов 14 и 15, переключающих кранов 16 и 17, резервуара с холодной водой 18, теплоизолированной емкости 19.

На фигуре 2 представлена схема, поясняющая экранировку теплового излучения. Фронтальные поверхности вакуумных трубок 1 размещены встречно и симметрично относительно осевой плоскости концентратора солнечного излучения и под углом друг к другу. Позади вакуумных трубок закреплены зеркала 2, отражающие прошедшее мимо трубок концентрированное солнечное излучение, показанное стрелками. Тепловое излучение, исходящее, например, из точки F, распространяется во все стороны, в том числе на фронтальные поверхности противоположно установленных вакуумных трубок, т.е. экранируется до  $\approx 27\%$  теплового излучения. Возврат части прошедшего концентрированного солнечного излучения в работу, взаимная экранировка теплового излучения и хорошая теплоизоляция позволили поднять температуру термической жидкости до  $\approx 190^{\circ}\text{C}$ . Выполнение трубопроводов из вакуумных трубок снизили тепловые потери тепловой энергии и позволили поддерживать градиент температуры  $\approx 150^{\circ}\text{C}$ .

Размещение теплопроводов и теплоизолированной емкости вдоль осевой плоскости концентратора снизило гидравлическое сопротивление контура с расходуемой водой, увеличило динамический напор между прямым и обратным трубопроводами до  $\Delta P \approx 360$  Па и позволило реализовать интенсивную естественную циркуляцию воды с возможностью поддерживать низкую температуру фотоэлементов  $\approx 40^{\circ}\text{C}$ .

Фото-теплоэлектрический комплекс работает следующим образом. Программа управления наводит следящую за солнцем платформу на солнце, и концентраторы 1 и 2 фокусируют излучение на фотоэлементах 3, вырабатывающих электрическую и тепловую энергию, и вакуумных трубках 4, вырабатывающих тепловую энергию. Благодаря взаимной экранировке теплового излучения фронтальными поверхностями вакуумных трубок 4 и отражению концентрированного солнечного излучения на зеркалах с их тыльной стороны значительно снижены тепловые потери, и температура термической жидкости достигает  $\approx 190^{\circ}\text{C}$ . Благодаря нагреву воды вдоль фотоэлементов и стенок смежных теплопроводов 5 создается мощная естественная циркуляция, охлаждающая фотоэлементы до средней по длине каналов температуры  $\approx 40^{\circ}\text{C}$ . В смежные теплопроводы вода попадает с температурой не менее  $\approx 50^{\circ}\text{C}$  и совместно с термической жидкостью формирует противоположно направленные тепловые потоки с градиентом температуры не менее  $\approx 150^{\circ}\text{C}$ , т.е. реализуется работа термогенераторов 7 с паспортными характеристиками и повышается удельная производительность.

После термогенераторов термическая жидкость поступает в проточный контур 8 камеры сушки и

пиролиза 9 и через переключающий кран 10 по обратному трубопроводу с помощью циркуляционного насоса 14 возвращается в вакуумные трубки 4. За счет высокопотенциальной тепловой энергии термической жидкости осуществляется сушка и подогрев органического топлива. После захода солнца по программе управления кран 10 перекрывается, а кран 11 подключает змеевик 12 камеры горения 13, и происходит процесс низкотемпературного горения с ростом температуры термической жидкости до  $\approx 350^\circ\text{C}$ . При этом кран 16 перекрывает каналы 3 с фотоэлементами, и циркуляция воды осуществляется через кран 17 непосредственно из резервуара 18 с холодной водой. Вдоль теплопроводов 5 вода успевает нагреваться с  $\approx 15$  до  $\approx 55^\circ\text{C}$  и поступает в теплоизолированную емкость 19, откуда идет в систему горячего водоснабжения потребителей. В результате после захода солнца реализуется градиент температуры не менее  $\approx 250^\circ\text{C}$  и более высокая производительность термогенераторов 7.

Тестирование рабочих элементов фото-теплоэлектрического комплекса проводилось на

лабораторной установке, показанной на фиг. 3. Рядом изображены применяемые фотоэлементы Махеоп фирмы SunPower мощностью 3,4 Вт размером 0,125x0,125 мм, вакуумные трубки диаметром 0,04 мм и длиной 1,8 м китайского производства. Каналы с кремниевыми фотоэлементами, а также теплопроводы устанавливались под углом к горизонту, равному широте инсталляции  $\approx 43^\circ$  северной широты. За счет оптимального относительного расположения каналов с фотоэлементами, теплопроводов, теплоизолированной емкости и резервуара возникал динамический напор величиной  $\Delta P \approx 320$  Па, и создавалась интенсивная естественная циркуляция расходуемой воды.

На фигуре 3 показан термогенератор ТГМ-199-1,4 размером 0,04x0,04 фирмы «Криотерм» (Россия), паспортные характеристики которого при температуре горячей стороны  $\approx 190^\circ\text{C}$  и холодной стороны  $\approx 30^\circ\text{C}$  представлены в таблице. С ростом температуры холодной стороны до  $\approx 50^\circ\text{C}$  выходная мощность снижается до 9,5 Вт.

Тип модуля	A, мм	B, мм	H, мм	Rac, Ом	Rac при 22°C, Ом	Rt, К/Вт	U, В	I, А	P, Вт	$\eta$ , %
ТГМ-199-1,4-0,8	40	40	3,2	1,46	1,03	0,57	4,1	2,8	11,4	4,1

С учетом среднего косинуса угла наклона концентраторов общая площадь их апертуры для двенадцати зеркал составляла  $\approx 17$  м<sup>2</sup>. Фотоэлементы Махеоп, разрезанные на три части шириной 0,042 мм размещались на фронтальных стенках охлаждаемых каналов общей длиной 2,97 м. В летний месяц фотоэлементы со средней температурой  $\approx 45^\circ\text{C}$  вырабатывали электрическую пиковую мощность  $\approx 1830$  Вт Вт/м<sup>2</sup> и тепловую пиковую мощность  $\approx 10740$  Вт. При этом температура воды на выходе из каналов с фотоэлементами не превышала  $\approx 45^\circ\text{C}$ . Удельная пиковая электрическая и тепловая мощность соответственно составляли  $\approx 107$  Вт/м<sup>2</sup> и  $\approx 630$  Вт/м<sup>2</sup>.

Если на противоположных стенках плоского канала разместить по 80 штук термоэлементов ТГМ-199-1,4 в два ряда, то получим минимальную длину и ширину канала:  $\approx 1,8$  x 0,12 м. Соответственно длина камеры сушки (и пиролиза), устанавливаемой смежно под каналом с термогенераторами достигает  $\approx 2$  м, а ее диаметр превышает  $\approx 0,45$  м. После захода солнца в нижней части камеры сушки инициируется процесс пиролиза, благодаря чему выделяется дополнительная энергия, и продукты пиролиза поднимаются выше, реализуя медленный процесс послойного незатухающего пиролиза. При этом в проточных трубопроводах камеры сушки растет температура термической жидкости, поступающей в канал с термогенераторами.

Продукты пиролиза – газы, попадая в камеру горения, вызывают пиролизное горение и рост температуры в змеевике. В результате суммарного роста температуры термической жидкости в проточных трубопроводах и змеевике, в канале с термогенератором поднимается температура выше  $\approx 250^\circ\text{C}$ , а в смежных теплопроводах до  $\approx 30^\circ\text{C}$ , откуда пиковая мощность термогенераторов будет составлять более  $P_{ТГ2} \approx 160 \cdot 11 \approx 1760$  Вт.

### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ преобразования солнечного излучения, включающий: концентрацию солнечного излучения на фотоэлементах; преобразование концентрированного солнечного излучения в тепловой поток, направляемый через термогенераторы; циркуляцию воды вдоль поверхности фотоэлементов и термогенераторов; утилизацию тепловой энергии, выделяемой в процессе генерации электричества фотоэлементами и термогенераторами, *отличающийся* тем, что: проводят концентрацию одновременно не менее двух смежных потоков солнечного излучения, причем один на фотоэлементах и другой на вакуумных трубках; осуществляют взаимную экранировку теплового излучения фронтальных поверхностей вакуумных трубок; создают смежное течение прошедшей вдоль фотоэлементов горячей

воды и термической жидкости; формируют перпендикулярно смежному течению жидкостей противоположно направленные тепловые потоки и размещают в них термогенераторы; поддерживают градиент температуры не менее  $\approx 150^{\circ}\text{C}$ , снимая тепло с термогенераторов горячей водой после фотоэлементов; кроме того, за счет теплообмена горячих жидкостей получают термическую жидкость на выходе термогенераторов с температурой более  $\approx 130^{\circ}\text{C}$  и используют в технологии пиролиза, осуществляя в дневной период эффективную сушку органического топлива, а пиролиз и горение топлива проводят в период отсутствия солнца и повышают температуру термической жидкости до  $\approx 250^{\circ}\text{C}$ , при этом перекрывают горячую воду после фотоэлементов и открывают через запорный кран прямой трубопровод от источника холодной воды, снимая тепло с термогенераторов холодной водой, поступающей за счет естественной циркуляции из резервуара.

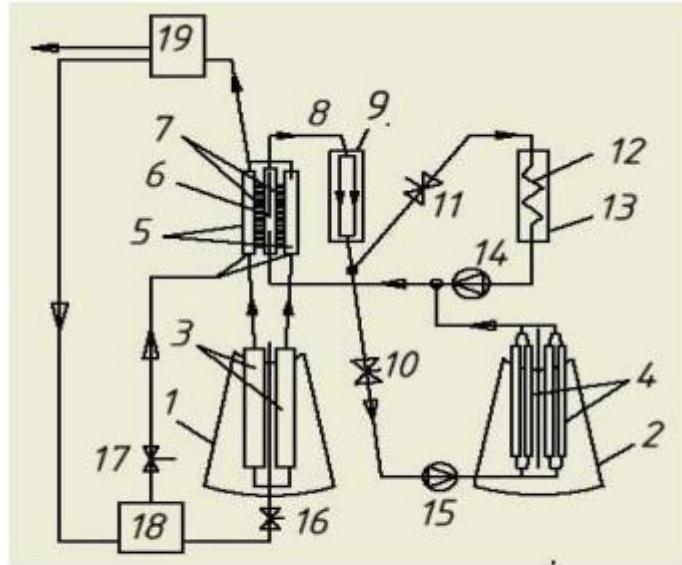
2. Фото-теплоэлектрический комплекс для преобразования солнечного излучения в электроэнергию и тепловую энергию, содержащий: концентратор солнечного излучения, установленный на следящей за солнцем платформе; охлаждаемые фотоэлементы в области концентрированного солнечного излучения; термогенераторы в тепловом потоке, образованном с применением концентрированного излучения и системы циркуляции воды, *отличающийся* тем, что: содержит не менее двух смежных концентраторов солнечного излучения на следящей за солнцем несущей платформе; в фокусной области первого установлены охлаждаемые водой фотоэлементы, а в фокусной области второго установлены попарно и симметрично вакуумные трубки с термической жидкостью, фронтальные поверхности которых ориентированы встречно; вдоль осевой плоскости первого концентратора установлен канал с закрепленными на противоположных сторонах термогенераторами,

который подключен к выходу вакуумных трубок; при этом симметрично термогенераторам установлены теплопроводы, соединенные с выходом канала с фотоэлементами и теплоизолированной емкостью, кроме того, вдоль термогенераторов установлена камера сушки с возможностью загрузки и выгрузки органического топлива, в которой размещены проточные трубопроводы с термической жидкостью, подключенные к выходу канала с термогенераторами и соединенные через обратный трубопровод и циркуляционный насос с входом вакуумных трубок, а смежно с камерой сушки установлена камера пиролизного горения со змеевиком, подключенным через переключающий кран последовательно к проточным трубопроводам, а также соединенным через циркуляционный насос с входом канала с термогенераторами.

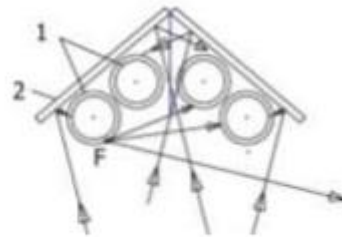
3. Фото-теплоэлектрический комплекс по п.2, *отличающийся* тем, что с тыльной стороны вакуумных трубок установлены зеркала, угол наклона которых имеет возможность отражать прошедшее мимо концентрированное излучение на тыльную поверхность вакуумных трубок.

4. Фото-теплоэлектрический комплекс по п.2, *отличающийся* тем, что камера сушки органического топлива установлена смежно и вдоль канала с термогенераторами под углом к горизонту, и выполнена в виде трубы, имеющей величину отношения длины к диаметру более  $\approx 4$ , причем проточные трубопроводы с термической жидкостью закреплены вдоль верхней части трубы, а камера горения со змеевиком состыкована вдоль ее нижней части.

5. Фото-теплоэлектрический комплекс по п.2, *отличающийся* тем, что теплоизолированная емкость, смежные теплопроводы, прямой и обратный трубопроводы с водой и резервуар размещены вдоль осевой плоскости первого оптического концентратора с возможностью формирования интенсивной естественной циркуляции воды.



Фигура 1



Фигура 2



Фигура 3