

КОГЕНЕРАЦИОННАЯ КОНЦЕНТРАТОРНАЯ УСТАНОВКА СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

*П.А. Нестеренков, студент магистратуры
А.Г. Нестеренков, кандидат технических наук
АО «КазНИИ Энергетики им. академика Ш.Ч. Чокина»,
г. Алматы, Казахстан*

*Л.А. Нестеренкова, кандидат физико-математических наук
КазНУ им аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан*

*В.Н. Лаптев, кандидат физико-математических наук
АО «Алматинский институт энергетики и связи»,
г. Алматы, Казахстан*

*В.В. Харченко, доктор технических наук
Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства, г. Москва, Россия*

Приведено описание разработанной когенерационной системы теплоэлектроснабжения с концентрацией солнечного излучения. Рассмотрена методика исследования теплообмена коллекторов с окружающей средой в гибридных солнечных установках с концентрацией излучения. Изучены на экспериментальном стенде процессы формирования тепловых потоков вдоль стенок коллекторов

Солнечная энергия, коллектор, фотомодуль, концентратор, теплоноситель, теплообмен, методика тестирования, эффективность коллектора.

В последнее время на рынке возобновляемой энергетики начали появляться солнечные установки, обеспечивающие одновременную выработку тепловой и электрической энергии. При этом используются как плоские фотоэлектрические тепловые (ФЭТ)модули, так и модули, в которых используется концентрированное солнечное излучение, концентраторные фотовольтаик-термальные системы с водяным охлаждением (PVT/w) [1].

Среди этих систем следует различать установки с высокой (≥ 500) и малой (≈ 10) концентрацией излучения. В обоих случаях в указанных установках выделяющаяся теплота отводится жидким теплоносителем.

Дополнительные затраты на введение концентраторов и систем слежения за Солнцем оправдываются снижением числа относительно дорогих фотоэлементов и повышением вырабатываемой за год электрической и тепловой энергии.

*© П.А. Нестеренков, А.Г. Нестеренков,
Л.А. Нестеренкова, В.Н. Лаптев,
В.В. Харченко, 2014*

Цель исследований – разработка новой конструкции гибридной концентраторной установки, обеспечивающей получение максимальных энергетических выходных характеристик фотоэлектрических преобразователей и тепловых коллекторов.

Материалы и методика исследований. В конструкции использовано размещение на одной несущей платформе в оптическом поле концентраторов двух фотомодулей и между ними двусторонних коллекторов [2]. Температура теплоносителей в каналах фотомодулей не превышает $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в каналах коллекторов может быть доведена до кипения. Предусмотрено регулирование плотности фокусируемого на фотоприемных поверхностях солнечного излучения в соответствии с сезонным изменением инсоляции Солнца.

Оптическая схема установки и процесс ее монтажа представлены на рис. 1. На несущей металлической платформе размещаются модульные концентраторы из зеркал (фацет), фокусирующие отраженное солнечное излучение на фотоэлементы, работающие с более чем пятикратной концентрацией солнечного излучения, а также на селективные поверхности коллектора, установленного между ними в плоскости симметрии несущей платформы.

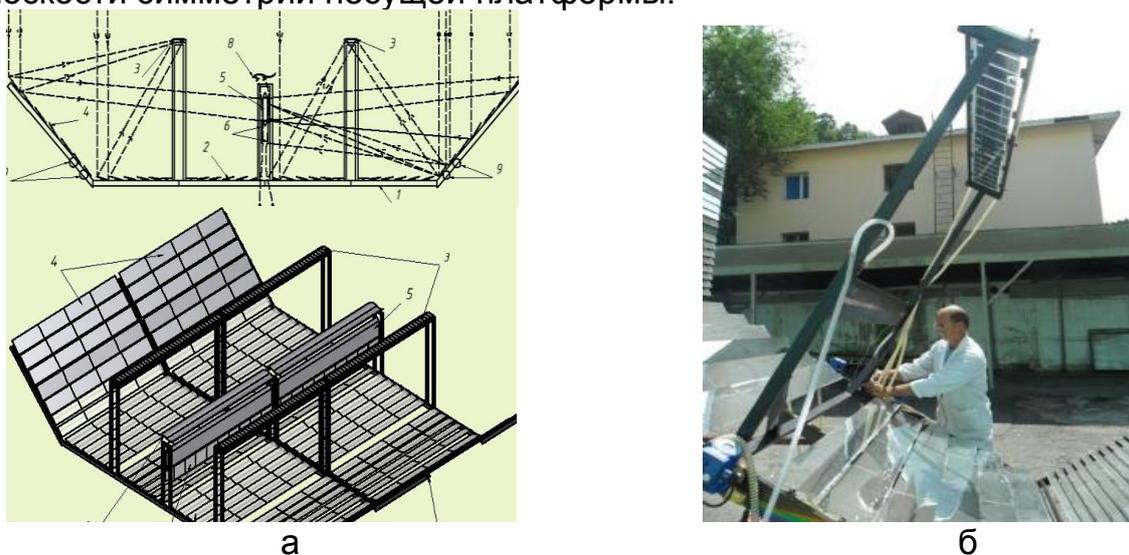


Рис. 1. Оптическая схема PVT/w установки (а) и фотография ее монтажа (б)

Новым в данной конструкции является размещение ниже коллектора в один ряд фотоэлементов относительно большой площади, работающих с одно-, двукратной концентрацией отраженного излучения. Практически 95 % общей поверхности коллектора является рабочей и покрыто селективной пленкой, поэтому нет необходимости в теплоизоляции. Плоский коллектор изготавливается из алюминия или меди. Могут применяться также серийно выпускаемые вакуумные трубки, которые модернизируются для увеличения производительности по отводу тепла.

Варианты солнечных установок с металлическим коллектором и вакуумными трубками имеют конструкторские и технологические особенности и

оптимизируются для решения специального круга задач. Пропорционально увеличению концентрации солнечного излучения уменьшается необходимая площадь поглощаемой поверхности коллектора и, соответственно, снижаются затраты на селективные пленки, стекло, крепеж, теплоизоляцию и другие материалы. С уменьшением площади каналов коллекторов возрастает скорость теплоносителей, что интенсифицирует теплообмен на стенках. Стенки плоского коллектора из алюминия покрываются селективной пленкой на основе алюминия толщиной 0,3 мм TINOX [3].

Нами рассмотрено влияние защитного теплового слоя на эффективность коллектора.

Известно, что любой нагретый предмет создает естественную конвекцию вдоль своей поверхности. В нашем случае мы вводим дополнительный источник энергии в виде выделяемого тепла пластинами фотоэлементов, который к естественной конвекции коллектора добавляет потоки тепловой конвекции от фотоэлементов. При этом в силу превышения температуры стенок коллектора над температурой фотоэлементов, возникает физический эффект увеличения расхода воздуха естественной конвекции самих фотоэлементов, что повышает интенсивность их охлаждения.

Теоретически описать формирование неизотермических потоков в сплошной двумерной среде у поверхности коллектора достаточно сложно. Мы провели экспериментальное изучение рассматриваемых процессов на специальном лабораторном стенде.

Процесс преобразования солнечной энергии в тепловую происходит следующим образом. Солнечное излучение через стекло и слой воздуха поступает на тонкую селективную пленку, в которой поглощается и преобразуется в тепло, передаваемое далее теплоносителю через стенку канала. При оценке конечного результата важно оценить интегральное значение выделяемой на поверхности канала и передаваемой теплоносителю тепловой энергии, а также той ее части, которая теряется в окружающую среду излучением и конвекцией.

На экспериментальном стенде с помощью тонкой фольги из нихрома, наклеенной на поверхность каналов через слой теплопроводящей пасты, имитируются тепловые процессы, происходящие при работе установки в реальных условиях. Получая ту же среднюю температуру стенок при тех же внешних параметрах среды, мы имитируем процессы теплообмена стенок канала с теплоносителем и окружающей средой. В этом случае теплообмен теплопроводностью и излучением между стенками изучаемого канала и окружающей средой будет аналогичен натурному эксперименту с Солнцем. На рис. 2, а изображены установленные на стенде коллектор из нержавеющей стали, датчики температуры и скорости воздушного потока вдоль стенок коллектора и ниже него – фольга из нихрома. На рис. 2, б показан процесс измерения температуры стенок коллектора и фольги пирометром при тестировании коллектора на экспериментальном стенде в зимний сезон.



а



б

Рис. 2. Коллектор и пластины из никрома, датчики температуры и скорости потока в лаборатории (а) и на улице при тестировании коллектора (б)

Питание стенда осуществляется с помощью низковольтных сварочных выпрямителей, которые подключаются к исследуемым коллекторам через медный адаптер, позволяющий равномерно по ширине распределить электрический ток. Величина тока измеряется с применением токовых шунтов и милливольтметров с точностью $\pm 5\%$. Температура формируемого теплового потока на различном расстоянии от стенки коллектора измеряется шестью хромель-копелевыми термопарами с точностью $\pm 5^\circ\text{C}$. Скорость потока вдоль стенок тонкой пластины и коллектора – ручным анемометром (ГОСТ 6376-52) с точностью $\pm 15\%$. Температура теплоносителей, стенок коллектора на входе и выходе и никромовой фольги измеряется хромель-копелевыми термопарами с точностью $\pm 7^\circ\text{C}$, а также пирометром UT 300A с точностью $\pm 15^\circ\text{C}$.

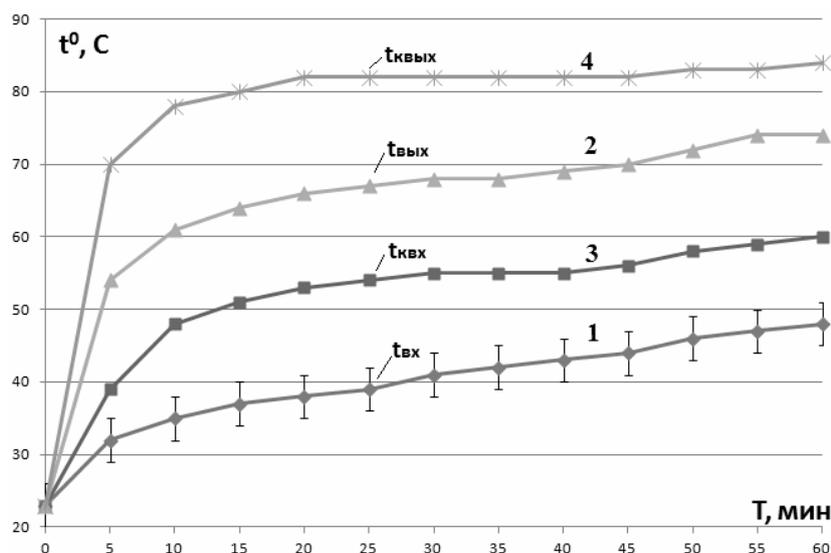


Рис. 3. Изменение температуры теплоносителя (воды) $t_{\text{вх}}$ (1) и $t_{\text{вых}}$ (3), стенок коллектора $t_{\text{квх}}$ (2) и $t_{\text{квых}}$ (4)

Методика проведения исследований включает предварительную настройку и калибровку датчиков измеряемых параметров, выход исследуемых процессов теплообмена на стационарный режим, обработку полученных результатов измерений в этом режиме с применением справочных данных.

Результаты исследований. На рис. 3 представлены усредненные данные нескольких опытов по измерению температуры на входе и выходе коллектора при расходе теплоносителя $G = 12,6 \cdot 10^{-3}$ кг/с и выделяемой мощности в стенках коллектора $P_k = 1780$ Вт. На нижней кривой приведена точность измерения температур. Как видно из графиков, примерно через 10 мин после включения источников тока и циркуляционных насосов разность температур на входе и выходе канала стабилизируется. По начальному темпу роста температур оценивалась тепловая инерционность циркуляционных контуров, которая для параметров коллектора $L/b \geq 15$ (отношение длины к ширине) составляла менее двадцати минут.

На рис. 4 представлен график зависимости эффективности коллектора от выделяемой мощности на фольге. Видно, что тепловая энергия, генерируемая ниже стенок коллектора, увеличивает его эффективность. Количественно эффект достигает 25 % при генерируемой тепловой мощности 400 Вт, что соответствует уровню мощности фотоэлементов с двукратной концентрацией излучения.

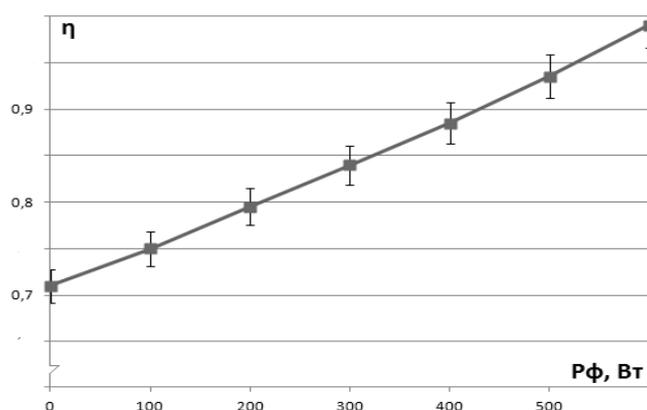


Рис. 4. Рост эффективности коллектора от генерируемой пластинами тепловой мощности. $G = 10,2 \cdot 10^{-3}$ кг/с, $P_k = 510$ Вт.

Выводы

Предложенная конструкция гибридной солнечной установки с установленным между фотомодулями двусторонним коллектором расширяет область применения кремниевых фотоэлементов большой площади как источников тепла для формирования теплового защитного слоя вдоль стенок коллектора. В области реально выделяемой пластинами фотоэлементов тепловой мощности (≈ 400 Вт) эффективность коллектора за счет защитного теплового слоя увеличивается на 25 %. Совместное использование коллектора и фотоэлементов с более

высокой температурой поверхности коллектора создает эффект усиления расхода воздушного потока вдоль пластин фотоэлементов, что увеличивает интенсивность охлаждения фотоэлементов и количество вырабатываемой ими электроэнергии.

Результаты измерений тепловых параметров коллектора на теплотехническом стенде с применением электрического тока в качестве нагревателей могут быть перенесены на натурные условия взаимодействия коллектора с окружающей средой и приходящей солнечной радиацией.

Список литературы

1. T.T. Chow. A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology//Applied Energy, Volume 87, Issue 2, February 2010, Pages 365–379
2. A.G. Nesterenkov, etc. Innovative patent № 26293 from 21.10.2011, the “PVT Solar Power Station.”
3. http://www.viessmann-rus.ru/product/solar/vitosol_100f/

Наведено опис розробленої когенераційної системи тепло-електропостачання з концентрацією сонячного випромінювання. Розглянуто методика дослідження теплообміну колекторів з навколишнім середовищем у гібридних сонячних установках з концентрацією випромінювання. Вивчено на експериментальному стенді процеси формування теплових потоків уздовж стінок колекторів.

Сонячна енергія, колектор, фотомодуль, концентратор, теплоносій, теплообмін, методика тестування, ефективність колектора.

The description of the cogeneration system of heat power supply with a concentration of solar radiation developed. The method of heat transfer studies of collectors and the environment in the hybrid solar thermal systems with a concentration of radiation. Studied in experimental stand the processes of formation of heat flows along the walls of collectors

Solar energy, collector, photo module, hub, heat transfer fluid, heat transfer, testing methodology, efficiency of the collector.