

УДК 621.47

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВСЕСЕЗОННЫХ СОЛНЕЧНЫХ КОНЦЕНТРАТОРОВ

С.Е. Щеклеин, С.А. Коржавин, С.В. Анников, А.В. Паздников

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина
620002 Екатеринбург, ул. Мира, д. 19
Тел./факс: (343) 375-95-08, e-mail: aes@mail.ustu.ru

Заключение совета рецензентов: 21.03.12 Заключение совета экспертов: 25.03.12 Принято к публикации: 28.03.12

Выполнены исследования эффективности всепогодных солнечных концентраторов. Исследования выполнены на двух экспериментальных стендах: № 1 – параболосферический концентратор с конвективным теплообменником и баком-аккумулятором; № 2 – параболоцилиндрический концентратор с теплоприемной тепловой трубой в вакуумной теплоизоляции. Определяется среднее значение тепловой мощности солнечных концентраторов. Оценивается КПД установок.

Ключевые слова: всепогодные системы концентрации солнечной энергии, конвективный теплообменник, тепловая труба в вакуумной изоляции, интенсивность солнечной радиации, тепловая мощность, КПД концентратора.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE ALL-SEASON SOLAR CONCENTRATORS EFFICIENCY

S.E. Shcheklein, S.A. Korzhavin, S.V. Annikov, A.V. Pazdnikov

Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin
19 Mira ave., Yekaterinburg, 620002, Russia
Tel./fax: (343) 375-95-08, e-mail: aes@mail.ustu.ru

Referred: 21.03.12 Expertise: 25.03.12 Accepted: 28.03.12

The investigation of the all-season solar concentrators efficiency is performed. The studies were performed on two test benches: a parabolic spherical concentrator with a convective heat exchanger and an accumulator vessel and a parabolic cylindrical concentrator with a heat receiving pipe in the vacuum heat insulation. The mean value of the solar concentrators heat capacity is determined. The installations efficiency is estimated.

Keywords: all-season systems of solar energy concentration, convective heat exchanger, heat pipe vacuum insulation, solar radiation intensity, heat capacity, concentrator efficiency.



*Сергей Валериевич
Анников*

Сведения об авторе: студент 5-го курса УрФУ, теплоэнергетический факультет, кафедра «Атомные электростанции и возобновляемые источники энергии». Стипендиат правительства РФ.

Область научных интересов: солнечные концентраторы.
Публикации: 1.



*Антон Вячеславович
Паздников*

Сведения об авторе: студент 5-го курса УрФУ, теплоэнергетический факультет, кафедра «Атомные электростанции и возобновляемые источники энергии». Стипендиат правительства РФ.

Область научных интересов: солнечные концентраторы.

Публикации: 1.

Введение

Исследованиям систем концентрации солнечной энергии с целью повышения потенциала генерируемой теплоты, сокращению требуемых размеров теплоприемников и материалоемкости установок посвящено большое количество исследований [1-5].

Выполнены исследования эффективности всепогодных параболосферических и параболоцилиндрических концентраторов с теплопередающими элементами в виде конвективного теплообменника и тепловой трубы.

Краткое описание экспериментальных установок

Исследования выполнены на двух экспериментальных стендах: № 1 – параболосферический концентратор с конвективным теплообменником и баком-аккумулятором; № 2 – параболоцилиндрический концентратор с теплоприемной тепловой трубой в вакуумной теплоизоляции.

Принципиальные гидравлические схемы и фотографии стендов приведены на рис. 1-4.

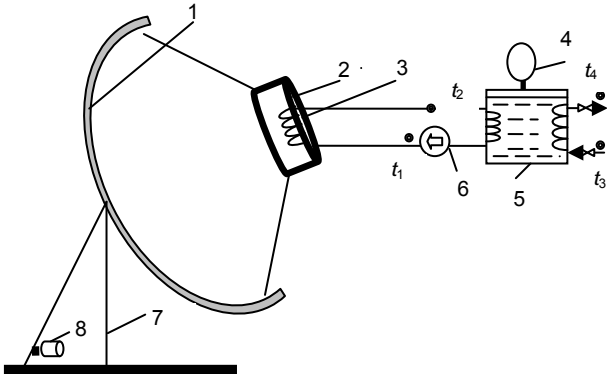


Рис. 1. Принципиальная схема концентратора № 1:
1 – приемно-отражающая поверхность; 2 – корпус теплоприемника; 3 – скоростной теплообменник;
4 – расширительный бак; 5 – бак-аккумулятор;
6 – циркуляционный насос; 7 – опорные конструкции;
8 – система ориентации; $t_1 - t_4$ – что это?

Fig. 1. Concentrator No. 1 schematic diagram:
1 – receiving and reflecting surface; 2 – casing of the heat;
3 – speed heat exchanger; 4 – expansion tank;
5 – storage tank; 6 – circulation pump; 7 – supporting structures; 8 – attitude control system; $t_1 - t_4$ – что это?



Рис. 2. Студенты С. Теребей, А. Паздников производят настройку фокусного расстояния концентратора под руководством аспиранта С. Коржавина
Fig. 2. Students S. Terebey and A. Puzdnikov align the focal distance of a concentrator under the direction of postgraduate student S. Korzhavin

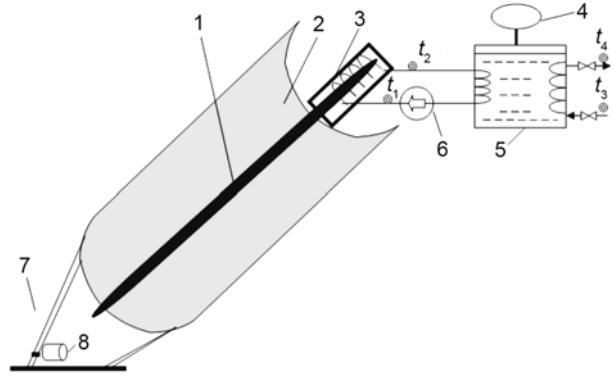


Рис. 3. Технологическая схема включения концентратора № 2:
1 – тепловая труба в вакуумной оболочке; 2 – приемно-отражающая поверхность; 3 – скоростной теплообменник;
4 – расширительный бак; 5 – высокотемпературный бак-аккумулятор; 6 – циркуляционный насос; 7 – опорные конструкции; 8 – система ориентации; $t_1 - t_4$ – что это?

Fig. 3. Manufacturing scheme of the concentrator No. 2 connection: 1 – heat pipe vacuum-packed; 2 – receiving and reflecting surface; 3 – speed heat exchanger; 4 – expansion tank; 5 – high-temperature storage tank; 6 – circulation pump; 7 – supporting structures; 8 – attitude control system; $t_1 - t_4$ – что это?



Рис. 4. Общий вид параболоцилиндрического концентратора с приемником на базе тепловой трубы в вакуумной теплоизоляции

Fig. 4. The general view of a parabolic cylindrical concentrator with a receiver on the base of a heat pipe in vacuum heat insulation

Методика проведения исследований концентратора

1. При отсутствии солнечной радиации бак-теплообменник (парогенератор) заправляется заданным объемом теплоносителя.

2. Осуществляется проверка датчиков температуры теплоносителя в зоне размещения конденсационной части тепловой трубы.

3. Включается система автоматического измерения температуры с регистрацией результатов измерений в памяти компьютера.

4. Осуществляется ориентация и фокусировка концентратора на солнце.

5. Продолжительность измерительного цикла определяется временем достижения заданного уровня температуры (или выпариванием части объема жидкости) в баке-теплообменнике.

6. После завершения опыта осуществляется расфокусировка и расхолаживание концентратора, замена теплоносителя и повторение операций 1-5.

Результаты исследования эффективности солнечного концентратора

Исследование интенсивности солнечной радиации осуществлялось синхронно с измерением тепловых характеристик солнечного концентратора при помощи 2 автоматических метеостанций южной (№ 2) и юго-восточной ориентации (№ 1). Осуществлялся контроль и регистрация как полной, так и рассеянной составляющих солнечной радиации, а также распределение энергии по зонам энергетического спектра.

Приведенные на рис. 5 данные суточного измерения радиации показали хорошую сходимость результатов.



Рис. 5. Сопоставление результатов суточного измерения интенсивности солнечной радиации метеостанциями юго-восточной (№ 1) и южной (№ 2) ориентации
Fig. 5. The comparison of the daily measurements of the solar radiation intensity of weather stations of south-eastern (No. 1) and southern (No. 2) orientation

На рис. 6 представлены данные измерения значений солнечной радиации в характерные дни испытаний солнечного концентратора.

На рис. 7 представлены результаты измерения температур в баке-теплоприемнике системы.

График иллюстрирует темп нагрева теплоносителя от начального значения ($t_0 = 30\text{ }^\circ\text{C}$) до конечного стационарного значения, соответствующего условиям теплового равновесия с окружающей средой и устойчивого парообразования.

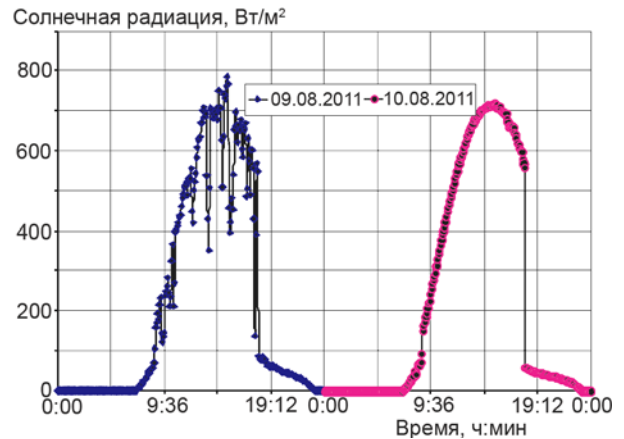


Рис. 6. Результаты измерений интенсивности солнечной радиации в дни испытаний солнечных концентраторов
Fig. 6. The results of the solar intensity measurements in the solar concentrators tests days

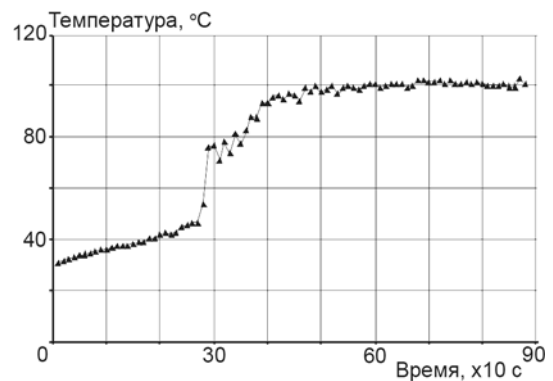


Рис. 7. Изменение во времени температуры в баке-теплоприемнике параболического концентратора
Fig. 7. The time variation of the heat receiving vessel temperature of the parabolic cylindrical concentrator



Рис. 8. Развитое поверхностное кипение в баке-теплоприемнике (200 с после начала опыта)
Fig. 8. The developed surface boiling in the heat receiving vessel (200 s after the experiment start)

На рис. 8 приведена фотография процесса парообразования на поверхности тепловой трубы, выполненная при помощи съемного прозрачного бака.

Тепловая мощность концентратора определяется по значению величины энергии ($\mathcal{E}_{\text{тепл}}$, кДж), расходуемой на нагрев теплоносителя от уровня начальной температуры бака-теплоприемника ($t_0 = 20$ °С) до температуры кипения и полное испарение его части:

$$\mathcal{E}_{\text{тепл}} = \mathcal{E}_{\text{пар}} + \mathcal{E}_{\text{нагр}} = M''_{\text{тепл}} r_{\text{тепл}} + M_{\text{тепл}} C_p (t_{\text{нас}} - t_{\text{тер}}),$$

где $\mathcal{E}_{\text{пар}}$ – энергия на парообразование; $\mathcal{E}_{\text{нагр}}$ – энергия на нагрев до температуры кипения; $M''_{\text{тепл}}$ – масса выкипевшего теплоносителя, кг; $r_{\text{тепл}}$ – скрытая теплота парообразования (для воды 2250 кДж/кг); $M_{\text{тепл}}$ – полная масса теплоносителя, кг; C_p – что это?; $t_{\text{нас}}$, $t_{\text{тер}}$ – что это?

Расчет по данным рис. 7 для начального объема теплоносителя в баке-теплоприемнике 2 л дает среднее значение тепловой мощности за время эксперимента 0,6–0,65 кВт.

Синхронные данные по приходу радиации в период исследования позволяют провести оценку КПД концентратора, который имеет средний уровень 0,8–0,85.

Выводы

Проведенные испытания разработанных стендов для обеспечения высокопотенциальной тепловой энергией на основе концентраторов солнечной энергии позволили установить, что тепловая мощность концентраторов достаточна для устойчивого получения тепловой энергии высокого потенциала.

Высокий КПД концентраторов (0,8–0,85) при работе в режиме парообразования подтверждает целесообразность использования их в составе комплексного стенда с применением бака-аккумулятора на-

гретого теплоносителя более низких параметров (80 °С). В этом случае производительность концентраторов по пару составляет: № 1 – 15 кг/сут·м², № 2 – 18 кг/сут·м².

В связи с тем, что концентратор № 2 обладает низким уровнем тепловых потерь (менее 1,7 Вт/м²·град?), целесообразно рассматривать его в качестве базового при создании промышленного образца установок всепогодного типа.

Разработанная конструкция стенда № 2 является модульной и позволяет осуществлять набор любого требуемого уровня тепловой мощности и паропроизводительности путем увеличения количества модулей.

Список литературы

1. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика. М.: МЭИ, 2008.
2. Захидов Р.А., Огнева Т.А., Клычев Ш.И. и др. Исследование энергетических характеристик параболоторических фоконов // Гелиотехника. 1984. № 4. С. 30-33.
3. Умаров Г.Я., Кородуб Н.В. и др. // Гелиотехника. 1965. № 4-5.
4. Умаров Г.Я. Вопросы концентрации солнечной энергии // Гелиотехника. 1987. №5. С. 32-51.
5. Тверьянович Э.В. Экспериментальное исследование оптико-энергетических характеристик фоконов. Концентраторы солнечного излучения для фотоэлектрических энергоустановок. М.: Энергоатомиздат, 1986. С. 11-14.