

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОСИФОННОГО ТЕПЛООБМЕННИКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПАРА С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНЦЕНТРАТОРА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Е.В. Стариков, А.Т. Джайлани, А.Д. Никитин, С.Е. Щеклеин

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
620002 Екатеринбург, ул. Мира, д. 19

Тел./факс: (343) 375-95-08; e-mail: s.e.shcheklein@urfu.ru

Заключение совета рецензентов: 17.07.15 Заключение совета экспертов: 20.07.15 Принято к публикации: 23.07.15

Исследовано производство пара с помощью концентратора солнечной энергии для различных климатических зон. Приведена методика расчета мощности солнечного концентратора, расположенного под произвольным углом к горизонту. Рассчитаны характеристики параболоцилиндрического концентратора в зависимости от величины поступающей солнечной радиации. Определена выработка пара солнечным концентратором при различной величине солнечной радиации. Рассчитана суточная генерация пара в июле для условий России (г. Екатеринбург), Таджикистана и Египта. Проведены экспериментальные испытания для условий России с целью верификации методики определения производительности концентратора, результаты которых совпали с рассчитанными значениями. Среднесуточное удельное значение расхода генерируемого концентратором пара составит 137 г/(ч·м²) для России, 190 г/(ч·м²) для Таджикистана и 214 г/(ч·м²) для Египта. Возможно широкое применение солнечного концентратора для выработки пара на технологические и бытовые нужды в обеспеченных солнечной радиацией странах.

Ключевые слова: солнечный концентратор, получение пара, термосифон, расчет характеристик концентратора, расчет производительности солнечного концентратора.

THE CALCULATING EXPERIMENTAL RESEARCH OF USE OF THE THERMOSIPHON HEAT EXCHANGER FOR RECEIVING TECHNOLOGICAL STEAM WITH USE OF THE CONCENTRATOR OF SOLAR ENERGY

E.V. Starikov, A.T. Jailany, A.D. Nikitin, S.E. Shcheklein

Ural Federal University named after First President of Russia B.N. Yeltsin
19 Mira ave., Yekaterinburg, 620002, Russia

Tel./fax: (343) 375-95-08; e-mail: s.e.shcheklein@urfu.ru

Referred: 17.07.15 Expertise: 20.07.15 Accepted: 23.07.15

The production of steam using solar energy concentrator for different climate zones is investigated. The method for calculating the capacity of the solar concentrator located at an arbitrary angle to the horizon is given. The characteristics of the cylindrical-parabolic concentrator according to the magnitude of the incoming solar radiation are calculated. The steam generation by solar concentrator at different values of solar radiation are determined. The daily generation of steam in July, for the conditions of Russia (Ekaterinburg), Tajikistan and Egypt is calculated. The experimental tests for conditions of Russia for the purpose of verification methods for determining the performance of the concentrator, the results of which coincided with the calculated values are conducted. The average daily value of the specific consumption of steam generated by the concentrator will be 137 g/(m²·h) for Russia, 190 g/(m²·h) for Tajikistan, and 214 g/(m²·h) for Egypt. Perhaps the widespread use of solar concentrator to produce steam for technological and domestic needs in countries wealthy by solar radiation.

Keywords: solar concentrator, steam generating, thermosiphon, hot-water gravity circulation, calculating the characteristics of solar concentrator, calculation the performance of solar concentrator.



Евгений
Владимирович
Стариков
Evgeny V. Starikov

Сведения об авторе: канд. техн. наук, доцент кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» УрФУ.

Образование: Уральский гос. технический университет (УГТУ-УПИ) (2004).

Область научных интересов: малая и нетрадиционная энергетика, энергетический анализ эффективности установок нетрадиционной энергетике, солнечная энергетика.

Публикации: 32.

Information about the author: candidate of technical sciences, associate professor of department "Nuclear power plants and renewable energy sources" Ural Federal University.

Education: Urals State Technical University (2004).

Research area: minor and alternative energetics, alternative energy plants, effectiveness energetical analysis, solar energetics.

Publications: 32.



Ахмед Т.А.
Джайлани
Ahmed T.A. Jailany

Сведения об авторе: канд. техн. наук, ассистент профессор Агроинженерной кафедры Сельскохозяйственного факультета Александрийского университета, Арабская Республика Египет.

Образование: Московский гос. агроинженерный университет им. В.П. Горячкина (2010).

Область научных интересов: возобновляемые источники энергии, комбинированные электростанции, энергоснабжение удаленных сельских мест.

Публикации: 14, 1 патент РФ.

Information about the author: PhD in technical sciences, Assistant professor, Dpt. Of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Alexandria University, Egypt.

Education: Moscow State Agro-engineering University (2010).

Research area: renewable energy systems, hybrid electro-energy systems, remote area electrification.

Publications: 14, 1 patent of RF.



Александр
Дмитриевич
Никитин
Alexandr D. Nikitin

Сведения об авторе: магистрант кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» УрФУ.

Победитель всероссийских выставок и конференций, имеет грамоты.

Образование: УрФУ (2014).

Область научных интересов: малая и нетрадиционная энергетика, энергетический анализ эффективности установок нетрадиционной энергетике, солнечная энергетика, исследования тепловых процессов в энергетике.

Публикации: 10.

Information about the author: undergraduate, department "Nuclear power plants and renewable energy sources" UrFU.

Education: UrFU (2014).

Research area: alternative energy, energy efficiency analysis of alternative energy systems, solar energy, study of thermophysical processes in the energy sector.

Publications: 10.



Сергей Евгеньевич
Щеклеин
Sergey E. Shcheklein

Сведения об авторе: д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» УрФУ.

Научный руководитель ряда реализованных инновационных проектов, в т. ч. «Энергоэффективный дом для села», «Системы солнечного энергоснабжения автономных потребителей специального назначения», «Солнечные системы охранной сигнализации» и др.

Член редколлегии журнала «Известия вузов. Ядерная энергетика», сборника трудов УГТУ-УПИ «Теплофизика ядерных энергетических установок», научно-технического журнала «Энергоэффективность и анализ». Заслуженный энергетик России, действительный член Международной энергетической академии.

Образование: Уральский политехнический институт (УГТУ-УПИ) (1972).

Область научных интересов: термодинамика ядерных энергетических установок, проблемы атомной энергетике и теплофизики двухфазных потоков, продление ресурса и повышение надежности оборудования АЭС, солнечная энергетика, ветровая энергетика, биоэнергетика, энергосбережение, энергоэффективность.

Публикации: более 450, в том числе 6 монографий и учебников, 28 изобретений.

Information about the author: doctor of technical science, professor, Urals State Technical University “Atomic Stations and Renewable Energy Sources” Department head.

A scientific director of several realized innovation projects, including “The energoefficient house for the village”, “Special systems of individual consumer solar energy supply”, “The solar systems for the guarding alarm” etc.

A member of the editorial board of “Institute of Higher Education News. Nuclear Power” magazine, “Nuclear power units heat engineering” USTU article collection, “Energoeffectiveness and analysis” scientific magazine. A Honoured power engineering specialist of Russian Federation, a member of International Energy Academy.

Education: Urals Polytechnic Institute (1972).

Research area: nuclear power units thermodynamics; questions of nuclear energy and thermophysics of the two-phase flows; NPP equipment lifetime enduring and reliability increasing; solar, wind and bioenergetics, energy conservation, energy efficiency.

Publications: more than 450 scientific works, including 6 monographs and textbooks, 28 inventions.



Введение

В настоящее время нашли широкое применение параболоцилиндрические концентраторы солнечной энергии для получения пара. Существуют мощные станции для генерации тепла в США, Германии и других странах, одним из элементов конструкций которых является параболоцилиндрический концентратор солнечной энергии. Как правило, концентраторы соединены между собой последовательно для ступенчатого повышения температуры теплоносителя и располагаются таким образом, что ось их фокуса находится в горизонтальном положении. В связи с этим возникает интерес в исследованиях, направленных на получение пара с помощью параболоцилиндрических концентраторов, у которых ось фокуса располагается вертикально или под некоторым углом к горизонту. В этом случае концентраторы соединены также последовательно и возникает возможность ориентации концентратора в двух плоскостях для максимального использования солнечной энергии. При таком расположении концентраторов солнечной энергии возникает потребность в отводе тепловой энергии из фокуса концентратора [1–5]. Одним из эффективных способов отвода тепловой энергии из фокуса концентратора является применение термосифона – тепловой трубы.

Интерес к исследованиям в этом направлении также возникает по причине возможности трансфера технологий, когда технология создается в регионах, имеющих хороший промышленный потенциал, а применяется странами, расположенными в наиболее благоприятных климатических условиях. В настоящей работе на основании разработанной методики проведен анализ возможностей получения пара с применением концентратора солнечной энергии для стран с высокой плотностью солнечной радиации (Таджикистан, Египет) и приведены результаты экспериментальной верификации методики.

Методика экспериментального исследования

Для исследования работы термосифона с использованием солнечной энергии была создана модульная экспериментальная высокоэффективная гелиоустановка с малыми размерами, представленная на рис. 1, которая состояла из следующих основных элементов: солнечного концентратора 1, бака-аккумулятора 3 объемом 5,5 литра с теплоизоляционным покрытием, термосифона и системы измерительных приборов.

Принцип работы установки следующий: заправленный водой термосифон устанавливался таким образом, что его испаритель 8 располагался в фокусе солнечного концентратора 1; солнечное излучение, попадая на отражательную поверхность концентратора, концентрировалось в его фокусе и передавало тепловую энергию рабочей жидкости термосифона; с помощью термосифона тепло отводилось за пределы концентратора к нагреваемому баку-аккумулятору с водой 3, расположенному выше солнечного концентратора; со временем вода в баке доводилась до температуры кипения, после чего начинался процесс парообразования. Далее пар поступал в конденсатор 6, где охлаждался водой, проходящей через охлаждающую рубашку конденсатора. Образующийся конденсат стекал в мерную колбу 7.

При экспериментальных исследованиях термосифона в режиме нагрева воды и парогенерации измерялись следующие величины: объем образующегося конденсата; интенсивность солнечной радиации на поверхности солнечного концентратора при помощи неселективного радиометра «Аргус-03» 2, давление внутри термосифона; регистрация температур поверхности стенки термосифона, воды в баке-аккумуляторе, окружающей среды при помощи температурных датчиков сопротивления, соединенных с аналого-цифровым преобразователем компьютера.



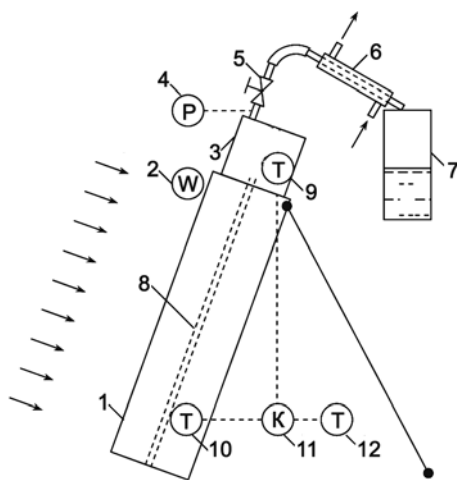


Рис. 1. Экспериментальная гелиоустановка для исследования работы термосифона с использованием солнечной энергии в режиме парогенерации: 1 – солнечный концентратор; 2 – радиометр; 3 – бак-аккумулятор; 4 – датчик давления; 5 – вентиль; 6 – конденсатор с водяным охлаждением; 7 – мерная колба; 8 – испаритель термосифона; 9, 10, 12 – термодатчики; 11 – аналого-цифровой преобразователь, соединенный с компьютером

Fig. 1. Experimental solar concentrator for research the work of thermosiphon in steam generation mode with using solar energy: 1 – solar concentrator; 2 – radiometer; 3 – storage tank; 4 – pressure sensor; 5 – the valve; 6 – water cooled condenser; 7 – volumetric flasks; 8 – evaporator of thermosiphon; 9, 10, 12 – temperature sensors; 11 – analog-to-digital converter connected to the computer

Полученные в ходе экспериментальных исследований данные интенсивности солнечной радиации сравнивались с данными метеостанции, расположенной в Верхнем Дуброво, в 15 км от места проведения экспериментов (местоположение 56,7° с.ш., 61,1° в.д.). Относительная погрешность в определении суммарной солнечной радиации составила не более 7%.

На метеостанции измерения проводились стандартными термоэлектрическими приборами: интенсивность прямой солнечной радиации – актинометром М-3, имеющим систему постоянной ориентации на Солнце; интенсивность суммарной радиации – пиранометром баллометрического типа М-115 [6, 7].

Эксперимент проводился в поселке Растущий в окрестностях Екатеринбурга. В ходе исследований приемная поверхность солнечного концентратора была постоянно ориентирована под прямым углом к солнечному излучению. Точное местоположение устанавливалось при помощи системы глобального позиционирования GPS Garmin III plus и составляло 56°46'39,5" северной широты, 60°56'53,8" восточной долготы.

Результаты исследования

Для проведения расчетно-экспериментальных исследований использовался концентратор, имеющий форму поперечного сечения в виде ветвей параболы (параболоцилиндрический) [8].

Геометрию параболического отражателя характеризуют двумя независимыми параметрами: диаметром $D_k = 2r_k$ (или фокусным расстоянием f_k) и углом раскрытия U_k (или отношением D_k/f_k):

$$D_k = \frac{4f_k \sin U_k}{1 + \cos U_k}. \quad (1)$$

В поперечном сечении парабоцилиндрический концентратор имеет площадь, ограниченную параболой. Требования, предъявляемые к концентратору при его изготовлении, следующие: необходимо иметь малое расстояние от фокуса концентратора до его отражающей поверхности для уменьшения тепловых потерь в окружающую среду и одновременно большое расстояние между концами ветвей параболы для увеличения площади входного окна концентратора.

Сконцентрированное солнечное излучение поглощается поверхностью приемника и нагревает рабочую жидкость (воду). Чтобы снизить потери тепла, связанные с излучением нагретым приемником в тепловой области спектра, приемная поверхность солнечного концентратора закрыта стеклом. Это позволяет значительно повысить эффективность работы системы. Характеристики парабоцилиндрического гелиоконцентратора при нормальных условиях ($T = 25^\circ\text{C}$, $q = 1000 \text{ Вт/м}^2$) приведены ниже.

Мощность концентратора, Вт	627
Геометрические размеры:	
площадь входного окна, м ²	0,84
высота концентратора, м	1
угол раскрытия концентратора, град.	120°
площадь отражающей поверхности, м ²	1
длина фокуса, м	1
Фокусное расстояние, м	0,12
КПД концентратора, %	63
Коэффициент отражения	0,8
Коэффициент концентрации	50
Вес, кг	12

Далее приведены расчеты мощности, коэффициента полезного действия и температуры в фокусе концентратора в зависимости от плотности солнечной радиации, поступающей на его поверхность.

Расчет мощности и КПД концентратора

Мощность концентратора вычисляется по формуле [9]

$$W = F_{\text{пр}} q_{\text{max}} = F_{\text{пр}} \cdot 8,36 \cdot 10^{-3} q F_{\text{конц}} \kappa_{\text{конц}} R_3 A_{\text{max}} h^3, \quad (2)$$

где $F_{\text{пр}}$ – проекция площади отражающей поверхности концентратора на фокальную плоскость, м^2 ; q_{max} – удельная мощность собранной солнечной радиации в фокусе концентратора, $\text{Вт}/\text{м}^2$; q – удельная мощность поступающей на поверхность концентратора солнечной радиации, $\text{Вт}/\text{м}^2$; $F_{\text{конц}}$ – площадь первой апертуры (входного окна) концентратора, м^2 ; $\kappa_{\text{конц}}$ – коэффициент концентрации; R_3 – коэффициент отражения зеркальной поверхности; h – мера оптической точности отражающей поверхности (принимается в диапазоне от 0 до 6); A_{max} – апертура угла раскрытия концентратора.

Апертура угла раскрытия концентратора вычисляется следующим образом:

$$A_{\text{max}} = \frac{\pi}{3} [(2 - \cos U) \cos(U/2) - 1]. \quad (3)$$

где U – угловое раскрытие отражающей поверхности, град.

КПД концентратора вычисляется по формуле [9]

$$\eta = \frac{W}{q} F_{\text{конц}}. \quad (4)$$

Расчет температуры в фокусе концентратора

Температура в фокусе концентратора для абсолютно черного тела (АЧТ) рассчитывается по формуле [9]

$$T_{\text{max}} = k \sqrt{[(2 - \cos U) \cos(U/2) - 1] h^{1/2}}; \quad (5)$$

$$k = \sqrt[4]{(\varepsilon/\sigma_0) 8,36 \cdot 10^{-3} q R_3 (\pi/3)}, \quad (6)$$

где ε – степень черноты поглощающей поверхности; $\sigma_0 = 5,7 \cdot 10^{-8}$ – постоянная Стефана-Больцмана, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}^4$.

Результаты расчета мощности, КПД и температуры в фокусе концентратора (без учета тепловых потерь в окружающую среду) в зависимости от плотности потока солнечной радиации, поступающего на поверхность концентратора, сведены в таблице.

Согласно данным таблицы, мощность концентратора и максимальная температура в фокусе концентратора увеличивается почти линейно с ростом плотности потока солнечной радиации, поступающего на поверхность концентратора.

Время, необходимое для нагрева воды гелиоустановкой, рассчитывалось по формуле

$$\tau = \tau_1 + \tau_2. \quad (7)$$

Расчетные характеристики параболоцилиндрического гелиоконцентратора для разной плотности потока солнечной радиации
Design characteristics cylindrical-parabolic solar concentrator for different flux of solar radiation

Плотность потока солнечной радиации, поступающей на поверхность q , $\text{Вт}/\text{м}^2$	Мощность W , Вт	Температура в фокусе для АЧТ T_{max} , $^{\circ}\text{C}$	КПД η
200	125	99	0,63
300	188	109	0,63
400	250	117	0,63
500	314	124	0,63
600	376	129	0,63
700	439	135	0,63
800	501	139	0,63
900	565	143	0,63
1000	627	147	0,63

Для определения продолжительности нагрева теплоносителя до температуры насыщения в баке-аккумуляторе τ_1 и в термосифоне τ_2 использовались выражения [10]

$$\tau_1 = \frac{V_1 (t_2 - t_1) c_p \rho_{\text{вод}} + Q_{\text{пот}}}{W \eta_{\text{ТС}}}; \quad (8)$$

$$\tau_2 = \frac{V_2 (t'_2 - t'_1) c_p \rho_{\text{вод}}}{W \eta_{\text{ТС}}}, \quad (9)$$

где V_1 – объем воды в баке-аккумуляторе, м^3 ; V_2 – объем воды в термосифоне, м^3 ; t_1 , t'_1 – начальная температура воды, $^{\circ}\text{C}$; t_2 , t'_2 – конечная температура воды, $^{\circ}\text{C}$; c_p – удельная теплоемкость воды, равная $4,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; $\rho_{\text{вод}}$ – плотность воды, равная $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$; W – мощность концентратора, Вт; $\eta_{\text{ТС}}$ – эффективность теплопередачи термосифона; $Q_{\text{пот}}$ – потери тепла через теплоизолированную стенку бака в окружающую среду, Вт, рассчитываемые по формуле [11]:

$$Q_{\text{пот}} = K_B \Delta t F_B, \quad (10)$$

где Δt – средняя разность температур воды и окружающей среды за время нагрева, $^{\circ}\text{C}$; F_B – площадь поверхности бака-аккумулятора, м^2 ; K_B – коэффициент теплопередачи теплоизолированной стенки бака-аккумулятора, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

График зависимости времени нагрева воды гелиоустановкой до температуры насыщения от интенсивности солнечной радиации, поступающей на концентратор, представлен на рис. 2.

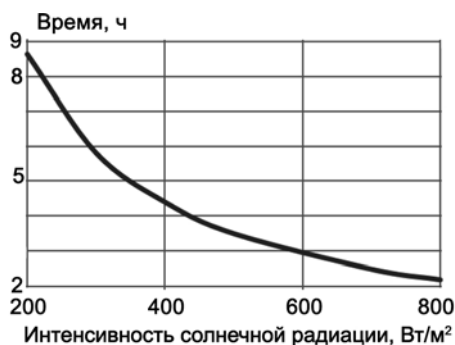


Рис. 2. Зависимость продолжительности нагрева воды гелиоустановкой от интенсивности солнечной радиации, поступающей на концентратор

Fig. 2. Dependence the water heating time of the intensity of the solar radiation coming onto the solar concentrator

Для определения расхода генерируемого гелиоустановкой пара использовалось выражение [10]

$$G = \frac{W\eta_{TC} - Q_{пот}}{r}, \quad (11)$$

где r – удельная теплота парообразования воды, равная $2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг.

График зависимости расхода генерируемого пара гелиоустановкой от интенсивности солнечной радиации, поступающей на концентратор, представлен на рис. 3.

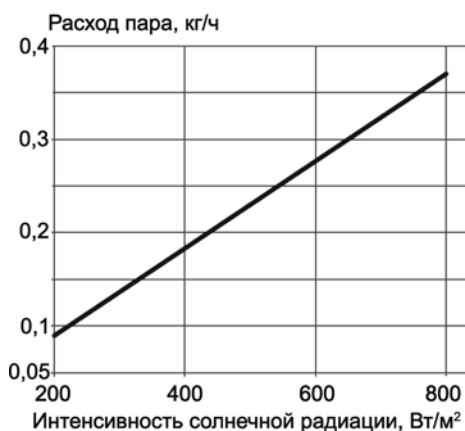


Рис. 3. Зависимость расхода генерируемого пара гелиоустановкой от интенсивности солнечной радиации, поступающей на концентратор под прямым углом

Fig. 3. Dependence the steam flow generated by the solar concentrator of the intensity of solar radiation coming onto the concentrator at a right angle

Максимальные суточные значения солнечной радиации, поступающей на приемную поверхность солнечного концентратора, расположенного под прямым углом к солнечным лучам, для России, Таджикистана, Египта представлены на рис. 4.

Используя интенсивность солнечной радиации (рис. 4) и зависимость расхода генерируемого пара гелиоустановкой от интенсивности солнечной ра-

диации, поступающей на концентратор (рис. 3), рассчитана суточная выработка установкой пара для климатических условий России, Таджикистана, Египта (рис. 5).

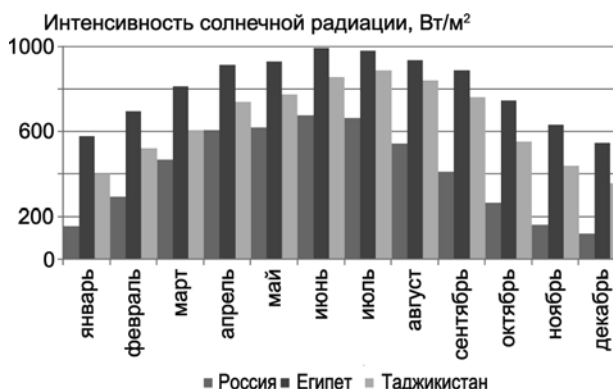


Рис. 4. Интенсивность солнечной радиации, поступающей на поверхность солнечного концентратора, расположенного перпендикулярно солнечным лучам

Fig. 4. The intensity of solar radiation reaching the surface of the solar concentrator, located perpendicular to the sun's rays

Из графика на рис. 5 следует, что масса генерируемого установкой пара в июле за сутки для климатических условий России, Таджикистана, Египта составит 2,8, 3,85 и 4,3 килограмма соответственно.

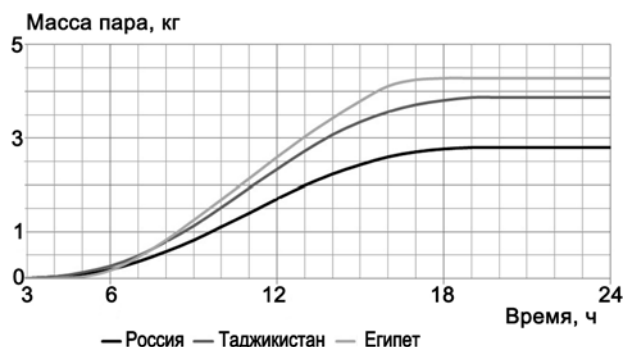


Рис. 5. Выработка установкой пара для климатических условий России, Таджикистана, Египта в июле

Fig. 5. Productivity of the installation for the climatic conditions of Russia, Tajikistan, Egypt in July

Исходя из этого расчетное среднесуточное удельное значение расхода генерируемого установкой пара составит $137 \text{ г}/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ при среднесуточной интенсивности солнечной радиации $255 \text{ Вт}/\text{м}^2$ (пиковая интенсивность $650 \text{ Вт}/\text{м}^2$) в случае ее эксплуатации в России; $190 \text{ г}/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ при среднесуточной интенсивности солнечной радиации $350 \text{ Вт}/\text{м}^2$ (пиковая интенсивность $900 \text{ Вт}/\text{м}^2$) в случае ее эксплуатации в Таджикистане и $214 \text{ г}/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ при среднесуточной интенсивности солнечной радиации $390 \text{ Вт}/\text{м}^2$ (пиковая интенсивность $1000 \text{ Вт}/\text{м}^2$) в случае ее эксплуатации в Египте.

В ходе работы были получены экспериментальные значения выработки установкой пара для клима-

тических условий России, г. Екатеринбург. Результаты экспериментальной верификации методики расчета расхода генерируемого гелиоустановкой пара приведены на рис. 6.

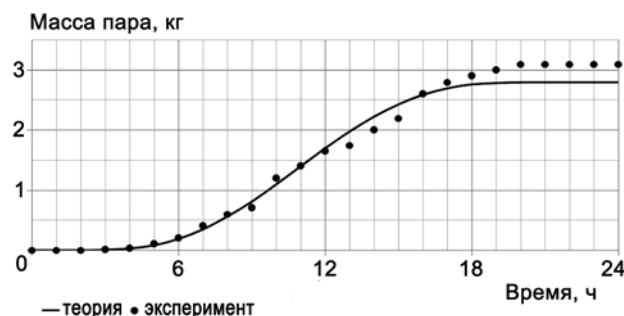


Рис. 6. Выработка установкой пара для климатических условий России, г. Екатеринбург, в июле
Fig. 6. Productivity of the installation for the climatic conditions of Russia, Yekaterinburg, in July

Закключение

Разработанная методика оценки эффективности получения пара с помощью концентраторов солнечной энергии позволяет с достаточной для практического применения точностью производить оценку для различных климатических условий, ориентации и особенностей конструкции концентраторов и тепловоспринимающих устройств.

Экспериментальная верификация методики расчета расхода генерируемого пара для климатических условий России (Уральский регион) показала хорошую сходимость результатов.

Показано, что эффективность генерации пара гелиоустановкой для климатических условий Таджикистана и Египта в 2-4 раза выше, чем для северных регионов России, что открывает перспективы широкого использования подобных установок в этих странах.

Список литературы

1. Тверьянович Э.В. Экспериментальное исследование оптико-энергетических характеристик фоконов. Концентраторы солнечной радиации для фотоэлектрических энергоустановок. М.: Энергоатомиздат, 1986. С. 11–14.
2. Баум И.В., Браславская М.В., Баранов В.К. Энергетические характеристики фоконов и фоклинов. Тезисы и доклады всесоюзной конференции «Использование солнечной энергии» (часть 2). Ашхабад, 1977. С. 169–171.
3. Тверьянович Э.В. Выбор конструктивных параметров призматических концентраторов солнечной энергии // Гелиотехника. 1981. № 6. С. 16–19.
4. Жуков К.В., Тверьянович Э.В. Светопотери в призматических концентраторах // Гелиотехника. 1982. № 6. С. 17–21.
5. Лидоренко Н.С., Жуков К.В., Набиуллин Ф.Х., Тверьянович Э.В. Перспективы использования линз Френеля для концентрирующих систем гелиотехнических установок // Гелиотехника. 1977. № 4. С. 22–25.
6. Алексеев В.В., Чекарев К.В. Солнечная энергетика. М: Знание, 1991.
7. РД 52.04.562-96. Наставление гидрометеостанциям и постам, вып. 5, ч.1, 1997 г.
8. Стариков Е.В., Щеклеин С.Е. Проектирование гелиоконцентратора. Научные труды VI отчетной конференции молодых ученых. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005.
9. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированной солнечной радиации. Ленинград: Наука, 1989.
10. Андреев В.М., Румянцев В.Д. Солнечное отопление. М.: Наука, 1986.
11. Кутателадзе С.С., Боришанский В.М. Справочник по теплопередаче. М.: Госэнергоиздат, 1958.

References

1. Tver'ânovič È.V. Èkspierimental'noe issledovanie optiko-ènergetičeskikh harakteristik fokonov. Koncentratory solnečnoj radiacii dlâ fotoelektričeskikh ènergoustanovok. M.: Ènergoatomizdat, 1986. S. 11–14.
2. Baum I.V., Braslavskaa M.V., Baranov V.K. Ènergetičeskie harakteristiki fokonov i foklinov. Tezisy i doklady vsesoužnoj konferencii «Ispol'zovanie solnečnoj ènergii» (časť 2). Ašhabad, 1977. S. 169–171.
3. Tver'ânovič È.V. Vybor konstruktivnyh parametrov prizmennyyh koncentratorov solnečnoj ènergii // Geliotekhnika. 1981. № 6. S. 16–19.
4. Žukov K.V., Tver'ânovič È.V. Svetopoteri v prizmennyyh koncentratorah // Geliotekhnika. 1982. № 6. S. 17–21.
5. Lidorenko N.S., Žukov K.V., Nabiullin F.H., Tver'ânovič È.V. Perspektivy ispol'zovaniâ linz Frenelâ dlâ koncentriruûših sistem geliotekničeskikh ustanovok // Geliotekhnika. 1977. № 4. S. 22–25.
6. Alekseev V.V., Čekarev K.V. Solnečnaâ ènergetika. M: Znanie, 1991.
7. RD 52.04.562-96. Nastavlenie gidrometeorostanciam i postam, vyp. 5, č.1, 1997 g.
8. Starikov E.V., Šeklein S.E. Proektirovanie geliokoncentratora. Naučnye trudy VI očetnoj konferencii molodyh učenyyh. Ekaterinburg: GOU VPO UGTU-UPI, 2005.
9. Andreev V.M., Grilihes V.A., Rumancev V.D. Fotoelektričeskoe preobrazovanie koncentrirovannoj solnečnoj radiacii. Leningrad: Nauka, 1989.
10. Andreev V.M., Rumancev V.D. Solnečnoe otoplenie. M.: Nauka, 1986.
11. Kutateladze S.S., Borišanskij V.M. Spravočnik po teploperedache. M.: Gosènergoizdat, 1958.

Транслитерация по ISO 9:1995