

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС СОЛНЕЧНОЙ ПЕЧИ С ПАРАБОЛИЧЕСКИМ КОНЦЕНТРАТОРОМ

Составлен энергетический баланс солнечной установки, учитывающий механизмы изменения различных энергетических параметров, таких как, коэффициента концентрации диаметра фокального пятна плотности потока солнечной радиации в фокусе и в целом КПД системы в зависимости от произвольных изменений плотности потока солнечной радиации.

Ключевые слова: солнечный печь, высокая температура, энергетический баланс.

THE ENERGY BALANCE OF THE SOLAR FURNACE WITH PARABOLIC CONCENTRATOR

Prepared solar energy balance, taking into account the various mechanisms for changing the energy parameters, such as concentration coefficient focal spot diameter of the solar radiation flux density at the focus and efficiency of the whole system depending on changes of arbitrary solar radiation flux density

Keywords: solar oven, high temperature, power balance.

Следящие и неподвижно установленные параболические концентраторы (ПК) наиболее часто используются в солнечных печах (СП) для получения высокоточного температурного режима [1-3].

Высокотемпературный режим, достигнутый в солнечной печи зависит от эффективной работы системы ПК – СК.

Как известно, эффективность солнечной параболической установки определяется балансом энергии в ней. При этом лучистая энергия, падающая на отражатель, приравнивается к сумме оптических потерь в системе, тепловых потерь приемника и получаемой полезной энергии. В общем виде, баланс энергии в системе ПК – СК определяется как [4-6]:

$$Q_{над} = Q_{opt} + Q_{мен} + Q_{пол} \quad (1)$$

где $Q_{над}$ - лучистая энергия, падающая на отражатель; Q_{opt} - оптические потери, связанные с несовершенством концентратора солнечных лучей и системы слежения за Солнцем, с влиянием затенения отражающей поверхности концентратора приемником и его креплением, с неполнотой улавливания энергии в фокальном пятне, наклонным падением солнечных лучей, а также с радиационными характеристиками поверхности отражателя и теплоприемника; $Q_{мен}$ - тепловые потери, связанные с лучистым и конвективным теплообменом, а также с потерями теплопроводностью по футеровке СП; $Q_{пол}$ - получаемая полезная энергия.

Для системы ПК – СК составляющие баланса энергии представим в виде:

1. Солнечная энергия, падающая на ПК:

$$Q_{над} = E_0 S_k \cos i \quad (2)$$

где E_0 - плотность потока солнечной радиации на нормальную лучам поверхность; i - угол падения прямого солнечного излучения относительно осевой линии миделевого сечения; S_k - площадь отражателя;

Оптимальный геометрический размер приемника b (ширина), обеспечивающий максимум полезной энергии определяется по формуле

$$b = \frac{2Rtg\varphi_s}{\cos\alpha}, \quad (3)$$

где R - радиус отражателя; φ_s - угловой радиус Солнца; α - угол раскрытия.

Радиус отражателя R связан с фокусом концентратора f следующим образом:

$$R = \frac{2f}{1 + \cos\alpha} \quad (4)$$

1. Оптические потери в системе:

$$Q_{omm} = E_0 S_\kappa (1 - c_{omm} \cos i) \quad (5)$$

где c_{omm} - оптическая постоянная установки, определяемая по формуле

$$c_{omm} = R_3 \eta_y \tau_c A_s \quad (6)$$

где R_3 - коэффициент отражения зеркальной поверхности; η_y - коэффициент улавливания; τ_c - пропускательная способность прозрачной изоляции; A_s - поглощательная способность поверхности приемника.

2. Тепловые потери:

Тепловые потери путем теплопроводности по футеровке СП определим следующим образом:

$$Q_{фут.м} = \frac{T_{c1} - T_{c1(n+1)}}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{F\lambda_i}} \quad (7)$$

где δ_i - толщина i -слоя стенки, м; λ_i - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); F - площадь поверхности стенки, м²; $T_{c1}, T_{c1(n+1)}$ - температуры поверхностей внутренней и наружной стенки СП соответственно, К. Конвективные потери из входного отверстия печи в окружающую среду будут

$$Q_{кон} = \alpha F_{\text{вх}} (T_c - T_{oc}) \quad (8)$$

где α - коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·К; $F_{\text{вх}}$ - площадь входного отверстия приемника, м²; T_c, T_{oc} - температуры газа в СП и окружающей среды соответственно, К.

Лучистые потери из входного отверстия СП в окружающую среду определяются из выражения

$$Q_{луч} = \varepsilon_{np} \sigma_0 F_{\text{вх}} (T_c^4 - T_{c0}^4) \quad (9)$$

Где ε_{np} - приведенная степень черноты; $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) - постоянная Стефана - Больцмана.

4. Полезная энергия, получаемая СП:

$$Q_{пол} = Q_{над} - Q_{omm} - Q_{мен} \quad (10)$$

Таким образом, уравнение баланса энергии системы ПК - СП для плоского приемника можем представить в следующем виде:

$$E_0 S_\kappa \cos i = E_0 S_\kappa (1 - R_3 \eta_y \tau_c A_s \cos i) - \frac{T_{c1} - T_{c1(n+1)}}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{F\lambda_i}} - \alpha F_{\text{вх}} (T_c - T_{oc}) - \varepsilon_{np} \sigma_0 F_{\text{вх}} (T_c^4 - T_{c0}^4) - Q_{пол}. \quad (11)$$

5. КПД преобразования солнечной энергии в тепловую энергию:

$$\eta_{мен} = \frac{Q_{пол}}{Q_{над}} \quad (12)$$

По формулам (11 – 12) производим численный расчет теплоотдачи и энергетических характеристик системы ПК – СП. Программу реализуем в среде Delphi 7.

Результаты расчетов программы представлены на рис. 1 – 4.

Зависимость КПД системы ПК – СП от плотности потока солнечной радиации при различных значениях радиуса отражателя показано на рис. 1. Как видно из рисунка, с увеличением радиуса отражателя эффективность системы уменьшается, это объясняется тем, что вследствие увеличения габарита системы возрастает угловые неточности зеркальной поверхности концентратора.

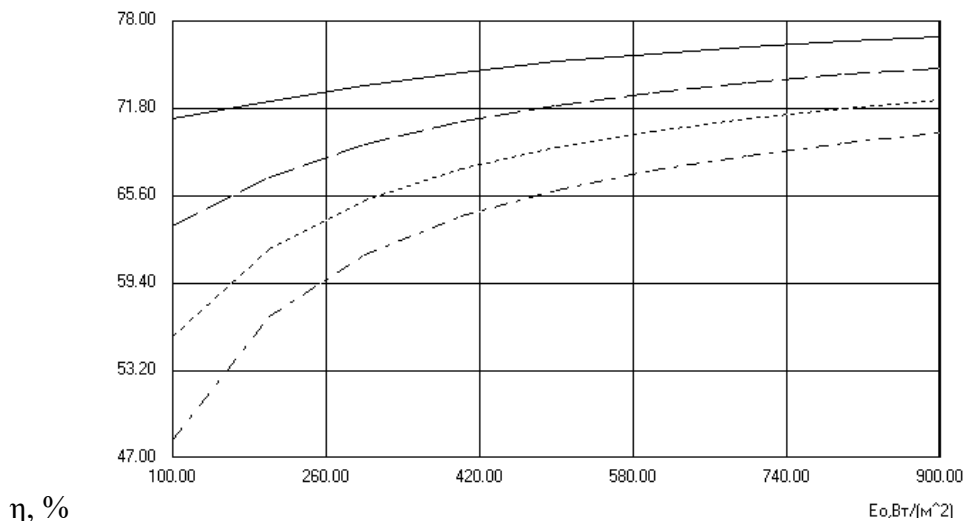


Рис. 1. Зависимость КПД системы ПК – СП от плотности потока солнечной радиации

при различных значениях радиуса отражателя: — R=3м, — — — R=4м, - - - - - R=5м, R=6м.

График зависимости КПД системы ПК – СП от углового расхождения солнечных лучей от отражателя при различных значениях плотности потока солнечной радиации изображен на рис. 2. В случае идеального концентратора КПД системы достигает 81,5%, причем при различных значениях плотности потока солнечной радиации он принимает почти идентичные значения. Но с увеличением углового расхождения солнечных лучей после отражения концентратора КПД системы резко уменьшается.

Зависимость средней плотности потока в фокальной плоскости от плотности потока солнечной радиации при различных значениях радиуса отражателя представлена на рис. 3. Из анализа рис. 3. можно сделать вывод, что график изменения средней плотности потока в фокальной плоскости практически симметрично относительно друг друга минимальных значениях плотности потока солнечной радиации. Максимальная разность наблюдается с увеличением плотности потока солнечной радиации и составляет 74,34 кВт/м² для отражателей радиусами 3 м и 6 м.

η, %

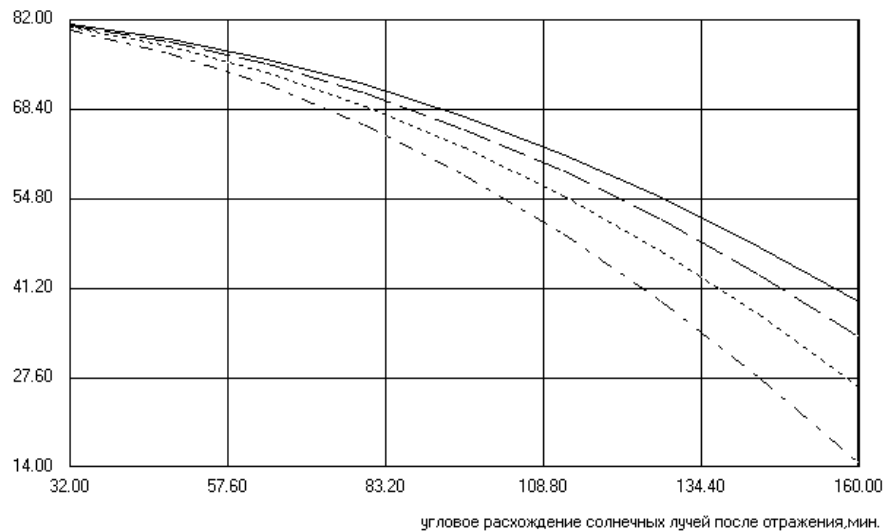


Рис. 2. Зависимость КПД системы ПК – СП от углового расхождения солнечных лучей от отражателя при различных значениях плотности потока солнечной радиации: ———— - $E_0=900 \text{ Вт/м}^2$, — — — — - $E_0=700 \text{ Вт/м}^2$, ········ - $E_0=500 \text{ Вт/м}^2$, - - - - - $E_0=300 \text{ Вт/м}^2$.

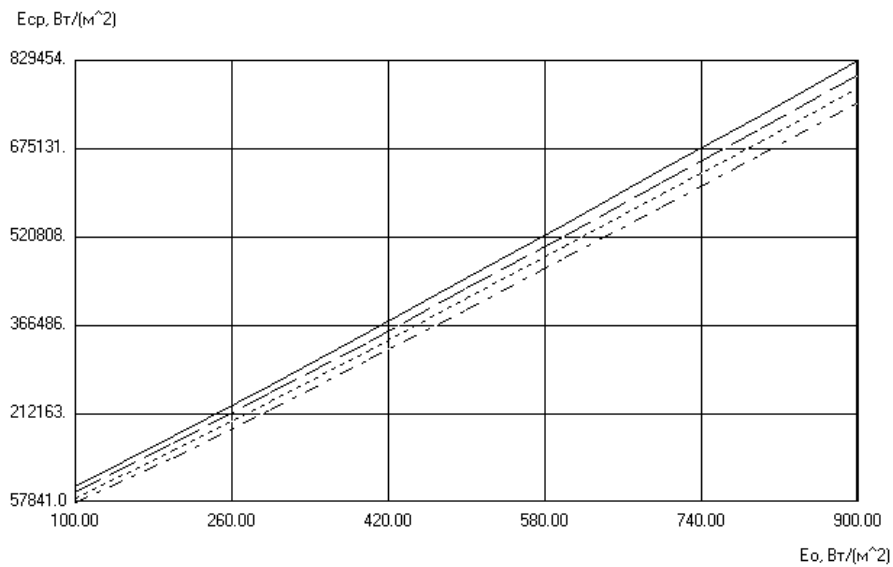


Рис. 3. Зависимость средней плотности потока в фокальной плоскости от плотности потока солнечной радиации при различных значениях радиуса отражателя: ———— $R=3\text{м}$, — — — — $R=4\text{м}$, ········ $R=5\text{м}$, - - - - - $R=6\text{м}$.

На рис. 4. показана зависимость полученной солнечной печью полезной энергии от радиуса отражателя при различных значениях плотности потока солнечной радиации.

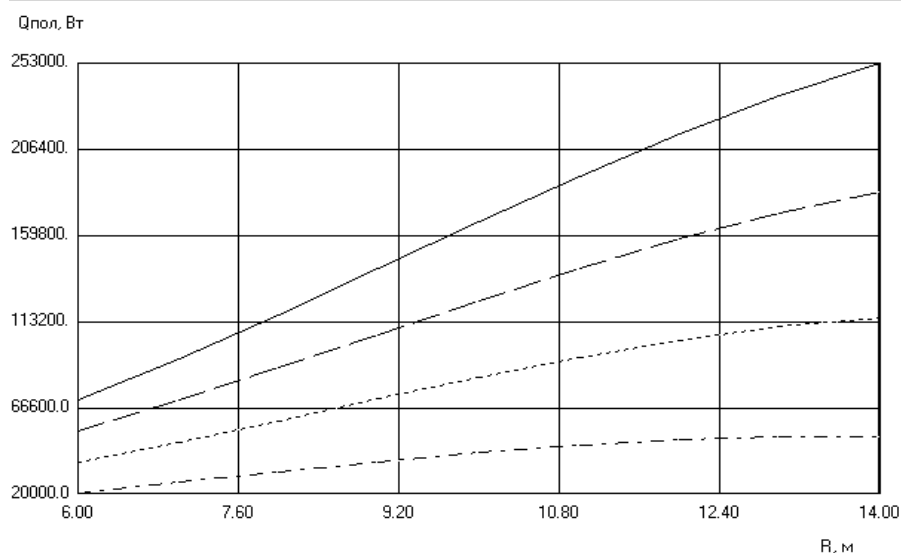


Рис. 4. Зависимость полученной солнечной печью полезной энергии от радиуса отражателя при различных значениях плотности потока солнечной радиации: ——— - $E_0=900 \text{ Вт/м}^2$, — — — - $E_0=700 \text{ Вт/м}^2$, ········ - $E_0=500 \text{ Вт/м}^2$, - - - - - $E_0=300 \text{ Вт/м}^2$.

Таким образом, на основе численных расчетов выявлены механизмы изменения КПД системы «ПК - СП», средней плотности потока в фокальной плоскости и полученной солнечной печью полезной энергии в зависимости от плотности потока солнечной радиации, конструктивных и геометрических параметров системы «ПК - СП».

Литература:

1. Ласло Т. Оптические высокотемпературные печи. М.:Мир, 1968. 207 с.
2. Апариси Р.Р., Колос Я.Г., Тепляков Д.И. Солнечные печи как инструмент для высокотемпературных исследований// Тепловые установки для использования солнечной энергии. М.: Наука, 1966. С. 33 – 53.
3. Лопатина Г.Г. и др. Оптические печи. М.: Металлургия, 1989. 216 с.
4. Мухитдинов М.М., Эргашев С.Ф. Солнечные параболические установки. Ташкент: Фан, 1994. 208 с.
5. Захидов Р.А., Вайнер А.А., Умаров Г.Я. Теория и расчет гелиотехнических концентрирующих систем. Ташкент: Фан, 1977. 134 с.
6. Солнечные высокотемпературные печи: Сб. статей/Пер. под ред. В. А. Баума. М: ИЛ, 1960.