

*Тураева Улмасой Фармоновна*

*Turaeva Ulmasoy Farmonovna*

*БГУ, кандидат технических наук*

*Тураев Акбар Фармонович*

*Turaev Akbar Farmonovich*

*БГУ, учитель*

## **ОСОБЕННОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Аннотация: Основная проблема создания и использования солнечных установок, как известно, обусловлена особенностями солнечного излучения у поверхности Земли - низкая энергетическая плотность, суточная цикличность поступления и существенная зависимость от климатических факторов.

**Ключевые слова:** поглощательная способность, излучательная способность, радиационная характеристика, пороговая длина волны, параметр селективности.

### **FEATURES OF SOLAR THERMAL POWER PLANTS**

Abstract: the main problem of creating and using solar installations, as is known, is caused by the features of solar radiation near the Earth's surface - low energy density, daily cyclical input and significant dependence on climatic factors.

Keywords: absorption capacity, emissivity, radiation characteristic, threshold wavelength, selectivity parameter.

Указанное определяет значительные габариты и высокую стоимость солнечных установок и в первую очередь их приемно - концентрирующих устройств [4-5]. Принципиальная возможность управления эффективностью теплового приемника обусловлена существенным различием температуры солнечного излучения (спектр) и температурами приемника нагрева (охлаждения), т.е. возможность влияния на эффективность приемника за счет направленного изменения его радиационных характеристик [1-6]. Одна из задач

в селективных приемниках это измерение их селективности в процессе эксплуатации.

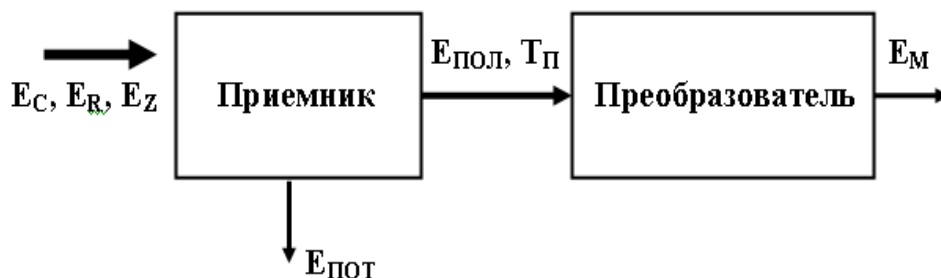
В общем случае эффективность солнечной теплоэнергетической установки определяется в виде

$$\eta = \eta_{\text{П}} \cdot \eta_{\text{ПР}}; \quad (1)$$

Как видно, общая эффективность установки представляет произведение эффективности приемника ( $\eta_{\text{П}}$ ) и преобразователя ( $\eta_{\text{ПР}}$ ).

Эффективность термодинамического преобразователя определяется циклом Карно и, в общем, не зависит от источника энергии, а зависит от температур на входе и на выходе, а также от теплотехнических и конструктивных параметров преобразователя.

Т.е. задача повышения КПД солнечных установок это в первую очередь задача повышения КПД приемника.



**Рис.1. Схема солнечных теплоэнергетических установок.**

Основными составляющими теплотеря приемника являются: потери отражением, излучением и конвекцией с лучепопринимающей поверхности приемника (ЛП) и ограждающих поверхностей (прозрачное ограждение (ПО) и наружные поверхности). Потери отражением и излучением непосредственно зависят от радиационных характеристик этих поверхностей, практически они пропорциональны поглощательным и излучательным способностям этих поверхностей. Однако, как известно, спектры падающего солнечного и собственного излучения приемника существенно различаются, что создает

возможности повышения КПД приемника за счет оптимизации радиационных характеристик этих поверхностей.

На возможность повышения КПД приемников солнечного излучения за счет оптимизации их радиационных характеристик впервые было указано Тейбором [7]. Он обратил внимание на разницу между спектрами солнечного излучения и излучения черных тел, обусловленными температурами поверхности Солнца и тела. Спектр солнечного излучения с очень хорошим приближением соответствует температуре излучения черного тела при 5800К и в интервале длин волн от 0,3 до 2,5 мкм сосредоточено около 97% энергии солнечного излучения [8]. В то время как энергии излучения черного тела при температуре 1000 - 1500К в основном происходит в интервале длин волн от  $\lambda = 2,5$  до 10 мкм на которую приходится от 91% до 97% всей энергии излучения. Конечно, эти спектры для излучения черного тела никогда не перекрываются. Однако Солнце является источником излучения достаточно малого углового радиуса, поэтому могут иметь место перекрытие кривых спектральной плотности излучения. Вследствие этого появляется возможность создания приемников солнечного излучения с оптимальными радиационными характеристиками, например для поверхностей нагрева, это повышение поглотительной способности до точки пересечения и максимальное уменьшение после точки пересечения.

Существенное развитие понятия селективного приемника было проведено Гэ Синь Ши [3]. Согласно подхода Д. Тривича и П. Флинн [10] он предположил, что существует какая-то оптимальная пороговая длина волны  $\lambda_{\text{ПОР}}$  для каждой заданной температуры поверхности теплового приемника солнечного излучения. Это  $\lambda_{\text{ПОР}}$  определяла радиационные характеристики идеальной селективной поверхности, причем в области длин волн  $\lambda \leq \lambda_{\text{ПОР.ОПТ}}$   $\alpha_{(\lambda)} = \varepsilon_{(\lambda)} = 1$ , а при  $\lambda \geq \lambda_{\text{ПОР.ОПТ}}$   $\varepsilon_{(\lambda)} = \alpha_{(\lambda)} = 0$ . Полученное выражение для  $\lambda_{\text{ПОР}}$  не учитывало

в явном виде концентрацию, а также не была рассмотрена задача определения  $\lambda_{\text{ПОР}}$  для реальных селективных поверхностей.

Ге Синь Ши - Баумом [11] определено значение  $\lambda_{\text{ПОР.ОПТ}}$  из уравнения баланса энергии путем дифференцирования полезной энергии  $P$  по  $\lambda_{\text{ПОР}}$  как  $\frac{dP}{d\lambda_{\text{ПОР}}} = 0$  и получено выражение:

$$\lambda_{\text{ПОР.ОПТ}} = \frac{C_2 \cdot \left(\frac{T_s - T}{T_s \cdot T}\right)}{\ln M + 4 \ln \frac{T_s}{T}} \quad \text{где} \quad M = \frac{1}{E_C} \cdot \sigma \cdot (T^4 - T_0^4) \quad (2)$$

где,  $C_2$  – постоянная Планка,  $1.4380 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К}$ ;  $\sigma$  – постоянная Стефана-Болцмана,  $5.68 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $T_s$  – температура Солнца, К;  $T$  – температура приемника, К;  $E_C$  – падающего солнечного излучения,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ .

Они при определении выражения (2) рассмотрели сложный случай с учетом конвективных потерь и сделали допущение для того чтобы аналитически выделить  $\lambda_{\text{ПОР.ОПТ}}$ . Учет конвективных потерь не позволяет выделить в чистом виде зависимость  $\lambda_{\text{ПОР.ОПТ}}$  от температуры нагрева и плотностей падающего потока излучения и затрудняет дальнейший анализ, а сделанное допущение вводит значительную ошибку при широком просмотре зависимости  $\lambda_{\text{ПОР.ОПТ}} = f(T, n)$ , где  $n$  – концентрация падающего потока и не выясняет ряд важных предельных случаев селективного лучепоглощения.

$$T_p = \frac{C_2}{(\lambda_{\text{ПОР}})_{\text{ОПТ}} \cdot \ln \left[ n \cdot \left( e^{\frac{C_2}{(\lambda_{\text{ПОР}})_{\text{ОПТ}} \cdot T_s}} - 1 \right) + 1 \right]} \quad (3)$$

Вопросы эффективности селективной поверхности преобразующей концентрированное солнечное излучение были впервые разработаны в работах О.И. Кудрина и А. Абдурахманова [12]. Ими были получены выражения  $\lambda_{\text{ПОР.ОПТ}}$  для случая преобразования концентрированного солнечного излучения.

Также впервые ими было показано, что за счет оптимальных селективных характеристик даже в случае прямого солнечного излучения можно теоретически достичь температур, близких к температуре Солнца:

$$\lim_{(\lambda_{\text{пор}})_{\text{опт}} \rightarrow 0} T_n = \lim_{(\lambda_{\text{пор}})_{\text{опт}} \rightarrow 0} \left[ T_s \left( 1 - \frac{1}{e^{c_2/(\lambda_{\text{пор}})_{\text{опт}} \cdot T_s}} + \frac{1}{n \cdot e^{c_2/(\lambda_{\text{пор}})_{\text{опт}} \cdot T_s}} \right) \right] = T_s \quad (4)$$

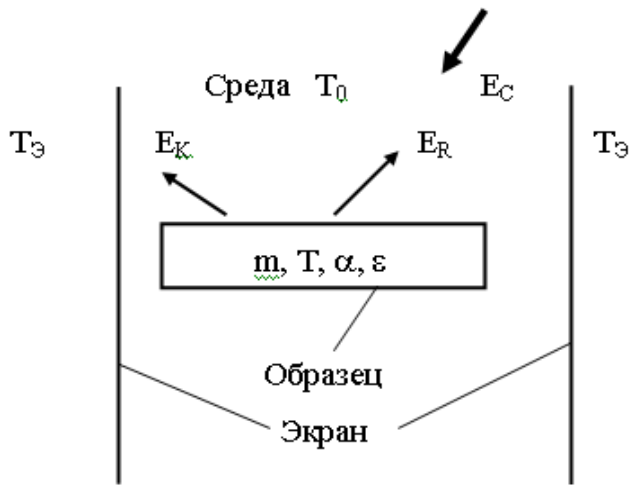
Однако полученные  $\lambda_{\text{пор.опт}}$  также были определены для приемника с идеальными селективными характеристиками и в условии вакуума.

В целом можно отметить, что к настоящему времени понятия селективной поверхности, методы оптимизации радиационных характеристик приемников солнечного излучения разработаны достаточно полно.

Однако, как показала практика разработки и испытания селективных поверхностей, их применение в приемниках солнечного излучения, в настоящее время недостаточно полно разработаны методы измерения интегральной селективности приемников в условиях эксплуатации.

Суть этих методов заключается в определении излучательной способности измерениями потоков энергии (конвекция, излучение) и температур тела и окружающей среды.

Причем реализация этих методов может быть самой различной. Для анализа схем реализации этих методов определения радиационных характеристик, в том числе приемников солнечного излучения рассмотрим следующую общую схему метода (см. рис.2).



**Рис.2. Схема определения излучательной способности прямыми методами.**

В схеме, представленной на рис.2. приведены все основные параметры и потоки энергии (излучение и конвекция) характеризующие баланс энергии для каждого момента времени, в том числе и для стационарного режима.

Общее уравнение теплообмена для схем прямого метода удобнее разделить на уравнения двух типов. Первая, это система уравнений теплообмена для каждого момента времени.

Для экрана

$$q_{ЭФ.Э} = \varepsilon_{Э} \cdot T_{Э}^4 + \rho_{Э} \cdot (U_{ЭЭ} \cdot q_{ЭФ.Э} + U_{ОББ.Э} \cdot q_{ЭФ.ОБР}) \quad (5)$$

$$q_{РЕЗ.Э} = \varepsilon_{Э} \cdot T_{Э}^4 - \alpha_{Э} \cdot q_{ЭФ.ОБР} \quad (6)$$

Для образца

$$q_{ЭФ.ОБР} = \varepsilon_{ОБР} \cdot T_{ОБР}^4 + \rho_{ОБР} \cdot U_{Э.ОББ} \cdot q_{ЭФ.Э} \quad (7)$$

$$q_{РЕЗ.ОБР} = \varepsilon_{ОБР} \cdot T_{ОБР}^4 + \alpha_{ОБР} \cdot q_{ЭФ.Э} \quad (8)$$

где,  $q_{ЭФ.Э}$ ,  $\varepsilon_{Э} \cdot T_{Э}^4$  – эффективное и собственное излучение экрана;  $T_{Э}$  – температура экрана;  $\alpha_{Э}$ ,  $\varepsilon_{Э}$ ,  $\rho_{Э}$  – поглощательная, излучательная и отражательная способности экрана;  $q_{ЭФ.ОБР}$ ,  $\varepsilon_{ОБР} \cdot T_{ОБР}^4$  – эффективное и собственное излучение образца;  $T_{ОБР}$  – температура образца;  $\alpha_{ОБР}$ ,  $\varepsilon_{ОБР}$ ,  $\rho_{ОБР}$  –

поглощательная, излучательная и отражательная способности образца;  $U$  – угловой коэффициент.

Достаточно широко применяются и нестационарные методы определения излучательных характеристик. Они основаны на уравнении

$$m \cdot C \left( \frac{dT}{dt} \right) = \alpha_C \cdot F_C \cdot E_C - \varepsilon \cdot F_C \cdot \sigma (T^4 - T_{\text{Э}}^4) - \alpha_K \cdot F \cdot (T - T_{\text{Э}}) \quad (9)$$

В этом уравнении, описывающим изменение температуры  $T$  образца во времени, входят температуры экрана, окружающей среды (обычно принимают постоянной), а также конвективные потоки. Т.е. также желательно проводить измерения в вакууме.

Таким образом, из анализа следует, что наиболее приемлемыми методами для измерения интегральных радиационных характеристик селективных к солнечному излучению материалов являются радиационный и косвенные методы, определяющие радиационные характеристики по отражению. В первом случае для этого необходимо решить задачу учета конвективных потоков, а во втором случае, необходимо разработать способы позволяющие определять коэффициенты отражения реальных материалов с зеркальной и диффузной составляющей отражения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аvezов Р.Р. Повышение эффективности использования низкопотенциальных солнечных нагревателей в системах теплоснабжения. Дис. докт.техн.наук. –Ташкент: 1990. - 447с.

2. Возобновляемые источники энергии. / В кн. Первое национальное сообщение Республики Узбекистан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Фаза 2. Главное управление по гидрометеорологии при КМ Республики Узбекистан. –Ташкент, 2001, -С.34-36.

3. Гэ – Синь - Ши. Применение поверхностей с селективными радиационными характеристиками для гелиоустановок.: Автореф. дис. канд. тех. наук. - М.: 1961. - 16с.

4. Захидов Р.А. Повышение роли альтернативных и возобновляемых источников энергии в энергетической стратегии США. // Гелиотехника, 2008. - №1. – С.89-96.

5. Захидов Р.А., Саидов М.С. Возобновляемая энергетика в начале XXI века и перспективы развития гелиотехнике в Узбекистане. // Гелиотехника, 2009. - №1. – С.3 - 12.

6. Использование солнечной энергии при космических исследованиях. // Сб. переводов под. ред. В. И. Баума. Вводная статья. – Москва, 1964. - С. 5–9.

7. Клычев Ш.И. Моделирование приемно – концентрирующих устройств солнечных теплоэнергетических установок.: Дис. д.т.н- Т.: ФТИ. 2004. - 268с.

8. Колтун М.М. Селективные оптические поверхности преобразователей солнечной энергии. – М.: Наука, 1979. - 215с.

9. Кудрин О.И., Полуэктов В.П., Кочетов В.К., Васильев Ю.Б. // Доклады Всесоюзной конференции по использованию солнечной энергии. – Ереван, 1969. - С.58-63.

10. Кудрин О.И. Солнечные высокотемпературные космические энергодвигательные установки. – М.: Машиностроение, 1987. - 248с.

11. Спэрроу Э.М., Сесс Р.Д., Теплообмен излучением. – М.: Энергия, 1977. - 294с.

12. Тривич Д., Флин П. Исследования по использованию солнечной энергии: - М.: Энергия, 1960. - 152с.

13. Tabor H., in Trans. Conf. Use of Solar Energy, Tucson, AZ, Oct., 1955, E.F. Carpenter, ed., Univ. Arizona Press, Tucson, AZ, Oct., 1955 Vol. 2, Pt.1, Sec. A, p.1. pp 10- 12.

14. Атоева М.Ф. Периодичность обучения физике. Аспирант и соискатель.– Москва, 2010. –№6. – С. 41-43.



**15.** С.К.Каххоров, Атоева М.Ф. Периодичность в качестве педагогической закономерности обучения физики. Педагогические науки. – Москва, 2010. –№ 6. – С. 56-59.

**16.** Атоева М.Ф. Эффективность обучения электродинамике на основе технологии периодичности. The Way of Science. – Volgograd, 2016. –№ 10 (32). – P.65-66.