

*На правах рукописи
УДК 662.997:537.22.*

ТЎРАЕВА ЎЛМАСОЙ ФАРМОНОВНА

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЛНЕЧНЫХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
УСТАНОВОК С СЕЛЕКТИВНЫМИ ПРИЕМНИКАМИ
ИЗЛУЧЕНИЯ**

05.14.08 - Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии
05.14.05 - Теоретические основы теплотехники

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ТАШКЕНТ – 2010

Работа выполнена в Институте Материаловедения
НПО "Физика-Солнце" им. С.А.Азимова АН Республики Узбекистан

Научный руководитель: доктор технических наук
Абдурахманов Абдужаббор Абдурахманович

Научный консультант: доктор технических наук
Клычев Шавкат Исакович

Официальные оппоненты: академик АН РУз, доктор технических наук,
профессор **Захидов Ромэн Абдуллаевич**

доктор технических наук, профессор
Вардияшвили Асқар Билол ўғли

Ведущая организация: Ферганский политехнический институт

Защита состоится «___» _____ 2010 года в _____ часов на заседании Специализированного совета Д.015.08.01 при Физико-техническом институте НПО «Физика-Солнце» им. академика С.А.Азимова АН РУз по адресу: 100084, г.Ташкент, ул. Бодомзор йўли, 2Б. Тел.: (8-10-99-871) – 233-12-71, Факс: (8-10-99-871) - 235-42-91, E-mail: karimov@uzsci.net

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Физико - технического института НПО «Физика-Солнце» АН РУз.

Автореферат разослан «___» _____ 2010 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по вышеуказанному адресу на имя ученого секретаря Специализированного совета.

Ученый секретарь
Специализированного совета
д.ф.-м.н., профессор

Каримов А.В.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность работы. 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. Указанное определяет значительные габариты и высокую стоимость солнечных установок и в первую очередь их приемно - концентрирующих устройств.

В настоящее время основная задача в гелиотехнике это повышение рентабельности солнечных установок. Решение задачи ведется по двум, в общем, взаимосвязанным направлениям. Первое, это уменьшение стоимости и второе это повышение КПД солнечных установок. Один из основных факторов, влияющих на КПД солнечной установки это радиационные характеристики приемников солнечного излучения, а также поверхностей ограждающих конструкций.

Указанное, определяет актуальность темы работы, направленной на повышение эффективности солнечных установок за счет оптимизации селективных радиационных характеристик приемников солнечного излучения.

Степень изученности проблемы. В настоящее время проведены большие работы по созданию селективных приемников солнечного излучения, разработаны требования к оптимальным радиационным характеристикам селективных приемников солнечного излучения. Однако известных работах [1-4] мало внимания уделяется определению влияния селективных радиационных характеристик приемников, на эффективность солнечных тепловых и энергетических установок в целом. Так, не определены требования к необходимой степени селективности приемников солнечных низкотемпературных установок в зависимости от температур нагрева, влияние селективности на КПД установки в целом, не рассмотрены вопросы использования селективных покрытий для поверхностей зданий и сооружений, находящихся под воздействием солнечного излучения (поверхности охлаждения).

Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР. Диссертационная работа выполнена в рамках государственной научно – технической программы института Материаловедение НПО «Физика - Солнца» АН РУз на 2009-2011 ФА-А13-ФО26 «Расширение функциональных возможностей Большой Солнечной Печи (БСП) для осуществления оптимальных технологических режимов и преобразование солнечной энергии».

Целью исследования является разработка методик определения селективности приемников солнечного излучения и численных моделей для определения эффективности использования селективных поверхностей в солнечных низко- и высокотемпературных установках и выработки рекомендаций по их применению.

Задачи исследования:

1. Разработка моделей для определения эффективности использования селективных приемников в солнечных тепловых и теплоэнергетических установках.
2. Разработка методики определения интегральных радиационных характеристик селективных приемников солнечного излучения и её экспериментальная отработка.

3. Разработка рекомендаций по применению селективных лучевоспринимающих поверхностей в солнечных установках.

Объектом и предметом исследования. В качестве исследуемого объекта были выбраны солнечные тепловые и энергетические установки. Предметом исследования является закономерности распределения радиационных характеристик приемников солнечного излучения и влияния селективности на КПД солнечных установок.

Методы исследования. В работе использованы основные положения фотометрии, геометрической оптики и теоретических основ теплотехники, общепризнанные методы численного решения уравнений теплопроводности, а также методы обработки результатов.

Гипотеза исследования основана на законе Кирхгофа, определяющей взаимосвязь коэффициентов поглощения материала и излучения с температурой приемника излучения.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Методики измерения интегральных поглощательных и излучательных характеристик поверхностей в условиях эксплуатации, а также их экспериментальная отработка.

2. Численные модели низкотемпературных солнечных установок, включающие селективные приемные поверхности.

3. Методика оптимизации радиационных характеристик приемников солнечных теплоэнергетических установок.

Научная новизна:

1. Развита методика определения интегральных радиационных характеристик поверхностей по равновесным температурам, отличающаяся новым способом учета конвективных теплопотерь.

2. Разработана численная модель «горячего ящика», отличающаяся учетом теплопотерь с боковых поверхностей и возможностью определения влияния селективности приемных поверхностей на КПД установки.

3. Разработана методика определения оптимальных параметров (концентрация, температура преобразования) солнечной теплоэнергетической установки с селективным приемником излучения, впервые определены максимальные КПД солнечных теплоэнергетических установок с селективными приемниками излучения.

Научная и практическая значимость результатов исследования:

1. Методика определения интегральных радиационных характеристик, её экспериментальная отработка могут быть использованы на практике для определения радиационных характеристик различных материалов.

2. Разработанные тепловые модели солнечных низкотемпературных установок и их численная и программная реализации могут быть использованы при обосновании степени селективности приемников солнечного излучения.

3. Результаты оптимизации системы приемник – термодинамический преобразователь могут быть использованы при определении оптимальных параметров селективности приемника в зависимости от концентрации солнечного излучения и температуры преобразования.

Реализация результатов. Разработанные методики определения интегральных радиационных характеристик поверхностей использованы в ФТИ НПО «Физика – Солнце АН РУз» при исследованиях приемников солнечного излучения, а также в учебных курсах по возобновляемым источникам энергии в ряде высших учебных заведений Республики.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались на научных семинарах Института Материаловедения НПО "Физика-Солнце" АН РУз, Объединенном научном семинаре Спецсовета при Физико-техническом институте НПО "Физика-Солнце" АН РУз, а также на Республиканских и Международной конференции: «Современное состояние и актуальные проблемы развития энергетика» (Ош, Киргизия, 2008), «Альтернативная энергетика и проблемы энергобезопасности» (Бишкек, Киргизия, 2008), «Табиий фанларнинг долзарб муаммолари» (Самарканд, 2008).

Опубликованность результатов. Основные научные результаты диссертации изложены в 9 научных работах, из них 4 статей в международном научном журнале «Гелиотехника» и 5 в материалах и трудах международных и республиканских конференций.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Объём работы состоит из 120 страниц, и содержит 35 рисунков, 3 таблицы, список литературы из 102 наименований, приложения на 10 стр.

2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, изложены цели и задачи, научная новизна, основные положения, выносимые на защиту, научная и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе исходя из общей проблемы создания эффективных солнечных установок проведен анализ работ по повышению эффективности солнечных установок за счет оптимизации радиационных характеристик приемника и ограждающих поверхностей. Анализ показал, что в настоящее время в этой области актуальными являются задачи разработки методик измерения селективности приемников в эксплуатационных условиях, а также задачи разработки тепловых моделей для определения влияния КПД селективного приемника на эффективность солнечной установки. Практически, за исключением Теплякова Д. И. не рассмотрена задача оптимизации селективных характеристик приемников солнечных теплоэнергетических установок с концентрацией солнечного излучения. По результатам анализа сформулированы цели и задачи работы.

Во второй главе приведены результаты разработки методик определения интегральных поглотательной (α_S) и излучательной (ε_T) характеристик реальных поверхностей приемников солнечного излучения в эксплуатационных условиях. Отметим, что если ε_T является функцией температуры тела, то α_S является функцией температуры источника. Поэтому на первом этапе разрабатывалась методика определения ε_T . На рис.1. приведена схема определения ε_T по равновесной температуре.

Одна из проблем определения ε_T это необходимость учета (исключения) при измерениях конвективных теплопотерь. Особенность разработанной методики в том, что для одних и тех же условий определяются равновесные температуры двух тонких пластин «черного» тела и рабочего образца.

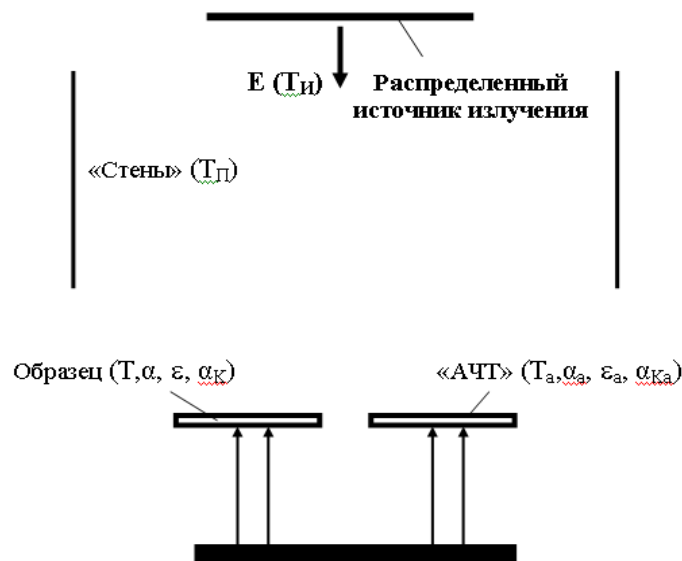


Рис.1. Схема определения ε_T по равновесным температурам

Так для равновесного теплового состояния этих тел имеем следующие уравнения баланса, для образца

$$2 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 + 2 \cdot \alpha_K \cdot (T - T_0) = \alpha \cdot E_C + 2 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (1)$$

Для «черного» тела

$$2 \cdot \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4 + 2 \cdot \alpha_{Ka} \cdot (T_a - T_0) = \alpha_a \cdot E_C + 2 \cdot \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4 \quad (2)$$

Важным здесь является обеспечение условия $\alpha = \varepsilon$ и $\alpha_a = \varepsilon_a$, что определяет и температуру источника, так при условии 90% излучения в области длин волн более 3мкм она составляет не более 320⁰С, а для 80%, не более 520⁰С.

В этих уравнениях известны температуры образца и «АЧТ», температуры стен, окружающего воздуха и плотность падающего излучения E , неизвестными являются ε и коэффициенты конвективной теплоотдачи α_K , α_{Ka} . При этом из уравнения (2) определяем α_{Ka} и считая, что $\alpha_K = \alpha_{Ka}$ (погрешность допущения при естественной конвекции не более 5%, а при вынужденной равенство становится еще более точным). Далее из уравнения (1) определяем ε . При этом погрешность метода составляет около 8%, что вполне приемлемо.

Анализ методики определения ε_T по равновесным температурам показывает, что на этой основе возможно создание и нестационарного метода определения ε_T . Метод заключается в том, что излучательная способность определяется не только по равновесной температуре, а в целом по кривым охлаждения (нагрева), рис.2.

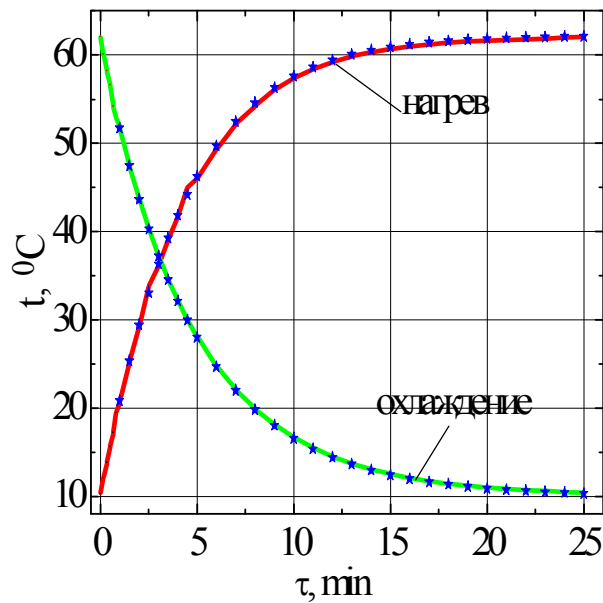


Рис. 2. Расчетные и экспериментальные кривые нагрева и охлаждения зачерненной медной пластины

Расчетная модель задачи нагрева одномерной пластины приведена на рис. 3, где h – толщина образца; L – характерный (условный) размер пластины.

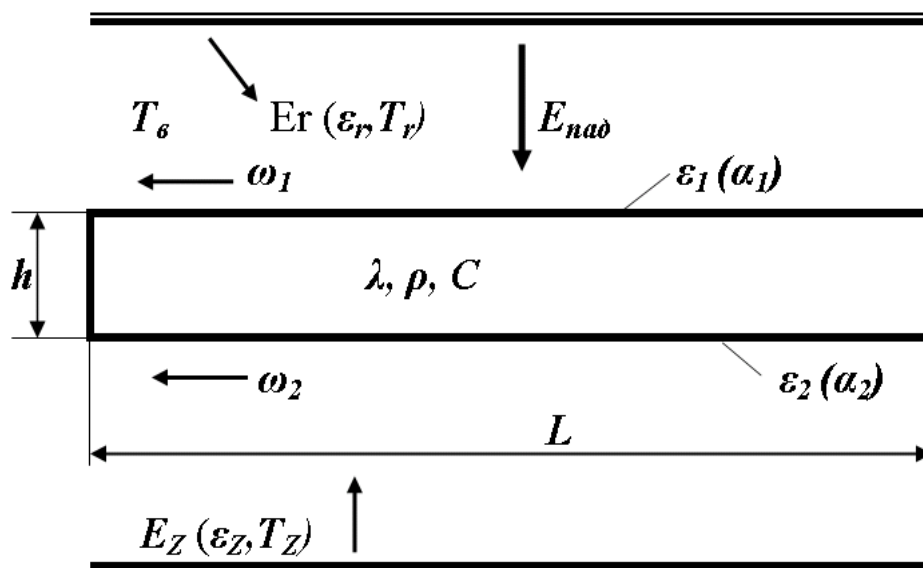


Рис. 3. Схема одномерной нестационарной задачи нагрева

Как, показали исследования на этой основе возможно создание и упрощенного метода определения ϵ_T . Известно, что при одинаковой плотности потока падающего излучения серые тела, независимо от ϵ_T имеют одинаковую равновесную температуру. В то же время динамика их нагрева может отличаться (рис.4а,б). Анализ временной зависимости динамика нагрева пластины показал, что по разности равновесных температур или максимальных разностей на кривой нагрева относительно черного тела можно определять ϵ_T на воздухе для заданных условий (рис.5). При определении поглощательной способности по этим методикам необходимо, чтобы температура излучателя была близкой к температуре Солнца. В связи с этим

были реализованы схемы, когда источник Солнце и ксеноновая лампа. При этом, как видно из уравнений (1) и (2) этот метод позволяет решать две задачи – непосредственно из измерений также определять такой важный параметр, как параметр селективности $\Pi = \alpha_s/\varepsilon_T$ для любой поверхности приемника, а при предварительном измерении ε_T может быть определена и поглощательная способность материала к солнечному излучению α_s .

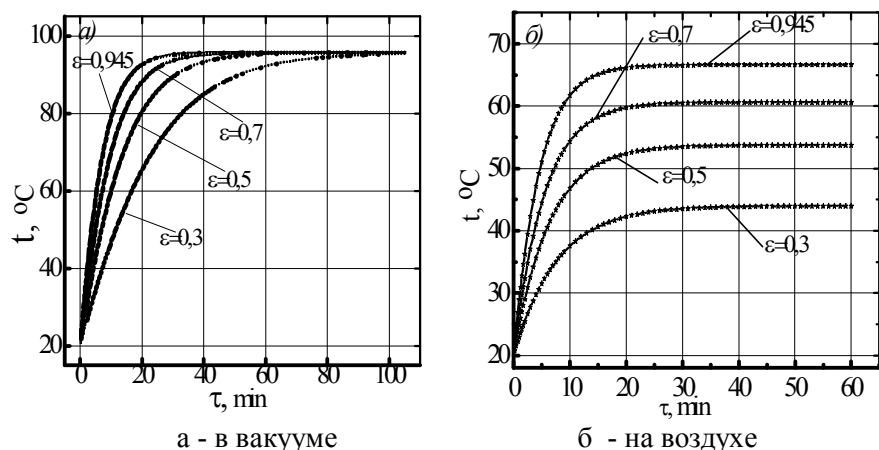


Рис. 4. Динамика нагрева пластины во времени при различных ε_T

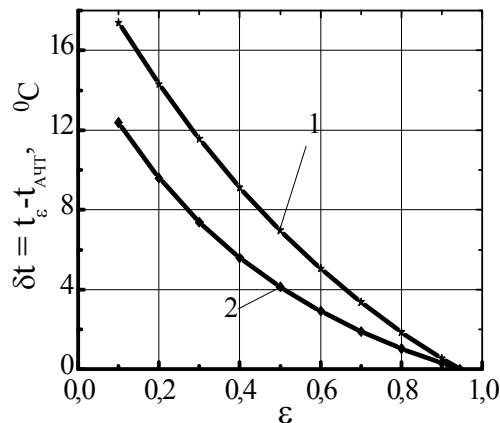
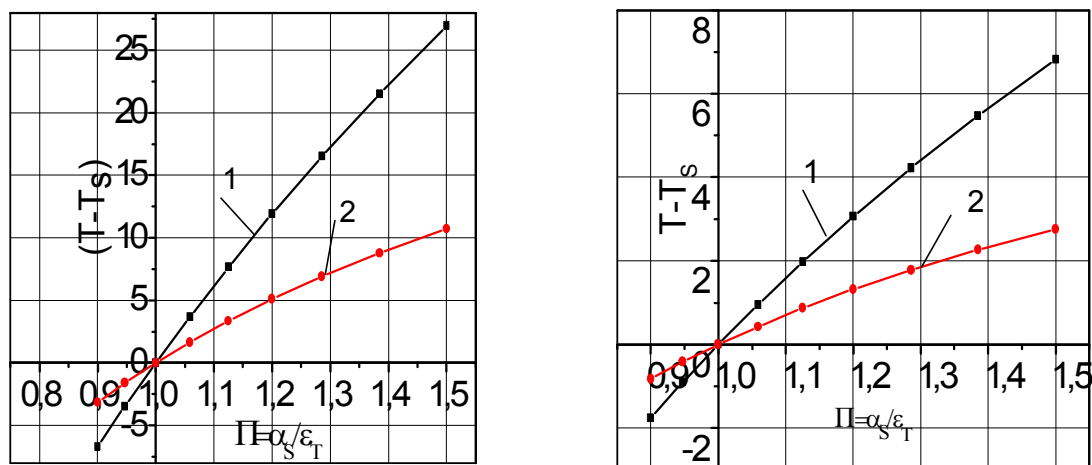


Рис. 5 Разности температур тел с различными ε_T относительно "черного" тела
1-максимальные; 2 – равновесные

Влияние селективности поверхности на равновесную температуру при различных значениях параметра селективности Π показано на рис. 6, где приведены разности равновесных температур серой ($T_{сер}$) и селективной (T) поверхностей $\delta T = T - T_{сер}$, и различными α_1 ($\varepsilon_1 = \alpha_1$) серой поверхности.



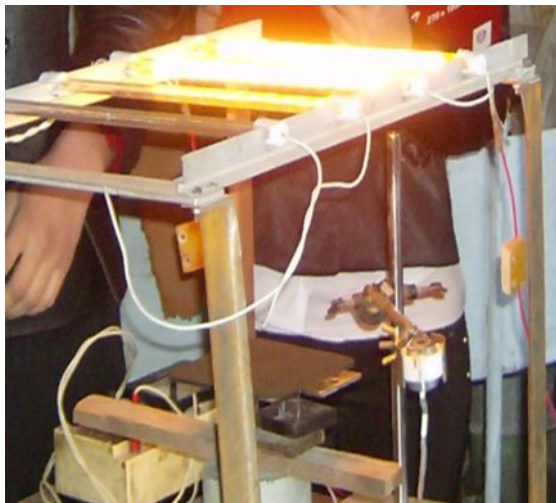
а - $E_c=5000 \text{ Вт/м}^2$;

б - $E_c=900 \text{ Вт/м}^2$;

Рис. 6. Влияния селективности на равновесные температуры нагрева для $\alpha_{ST} = 0,9$

В третьей главе приведены результаты работ по реализации предложенных методик и результаты измерения радиационных характеристик, различных поверхностей приемников, в том числе поверхностей «охлаждения».

На рис.7. приведены установки для определения интегральных излучательной (а) и поглощательной (б) способностей.



а – излучательная способность;



б – поглощательная способность;

Рис. 7. Экспериментальная установка для определения интегральных радиационных характеристик материалов

На этих установках были исследованы радиационные характеристики образцов различных материалов без предварительной обработки их поверхностей, характерных для условий эксплуатации, как показано в таблице.

Интегральная поглощательная к солнечному излучению
и излучательная способности различных материалов

ОБРАЗЦЫ	ε_T	α_S	α_S/ε_T
«сажа»	0,945	0,945	1
медь	0,45	0,45	1
нержавеющая сталь	0,53	0,52	1
алюминий	0,32	0,32	1
черная краска	0,919	0,9	0,998
серая краска	0,76	0,75	1,019
синяя краска	0,54	0,5	1,08
зеленая краска	0,7	0,7	1
красная краска	0,61	0,6	1,04
«селективная»	0,4	0,9	2,25
белая эмаль	0,897	0,5	0,6
гипс	0,902	0,3	0,3
шамот	0,75	0,25	0,3

Анализ результатов исследований и сравнение с материалами с известными радиационными характеристиками показал, что погрешность методик составляет порядка 8 – 10%. Так например, подтверждается, что некоторые из красок и строительных материалов имеет существенно обратную селективность и могут быть использованы как поверхности охлаждения. В целом такие установки и разработанная методика могут быть рекомендованы для использования на практике.

На рис. 8 приведены равновесные температуры различных образцов, отличающихся поглощательной способности. Как видно, имеет место существенное влияние радиационных характеристик на температуре нагрева, что позволяет управлять температуры нагрева (охлаждения).

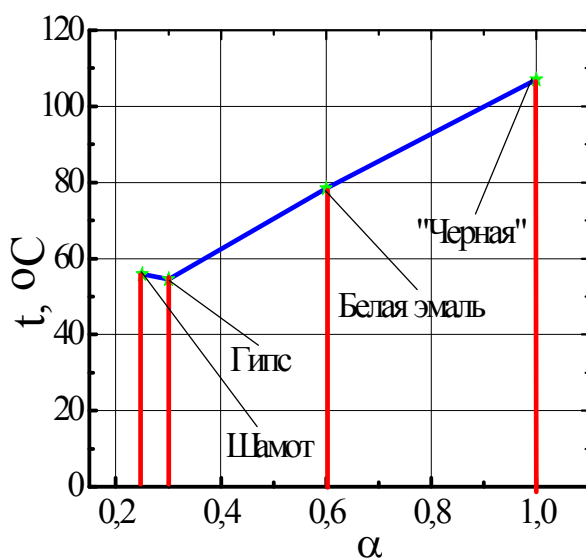


Рис.8. Равновесные температуры образцов

В четвертой главе на основе исследований, проведенных выше были разработаны тепловые модели приемников солнечных установок для определения влияния радиационных характеристик на КПД приемника и солнечных установок в целом, и выработки на этой основе рекомендаций по их оптимизации и рациональному применению. В общем случае можно выделить два основных типа солнечных теплоэнергетических установок (СЭУ) – тепловые («горячий ящик» - водонагреватели, сушилки, опреснители) и собственно теплоэнергетические, преобразующие тепло в термодинамических циклах.

Типы и конструктивное исполнение СЭУ могут существенно различаться, однако всегда можно выделить следующие основные элементы: – приемник и преобразователь тепловой энергии в механическую (см. рис.9), для горячих ящиков обычно имеем один элемент «приемник».

В общем случае КПД СЭУ равно

$$\eta = \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{пр}} \quad (3)$$

Влияние радиационных характеристик имеет место, как в тепловых, так и в теплоэнергетических установках. Для исследования влияния радиационных характеристик на КПД горячего ящика была разработана тепловая модель, основные параметры которой представлены на рис.10.

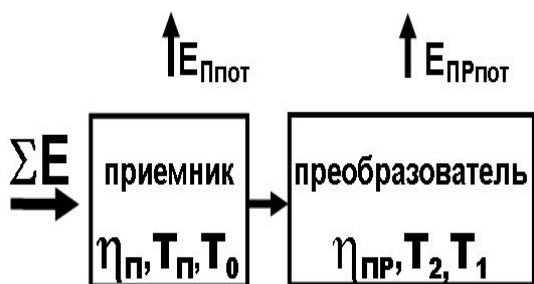


Рис.9. Основные характеристики СЭУ

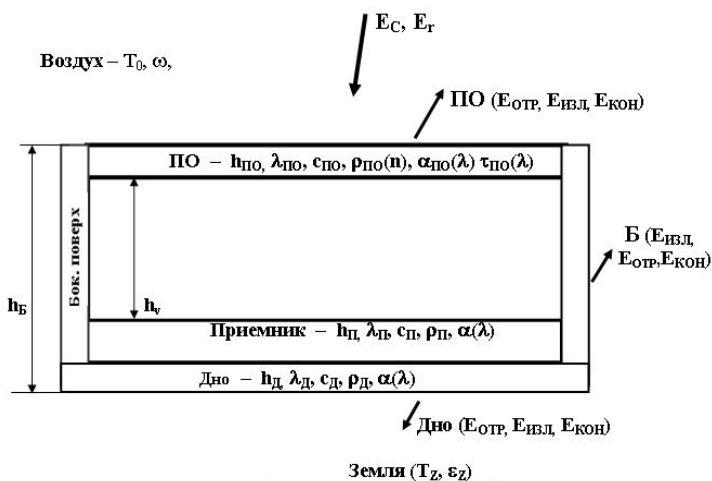
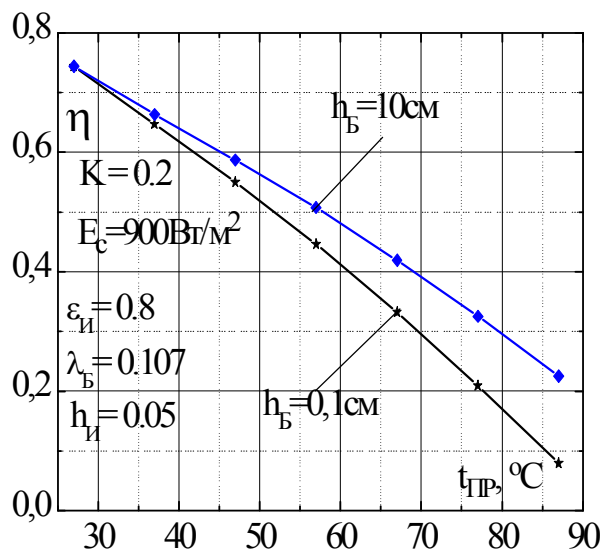


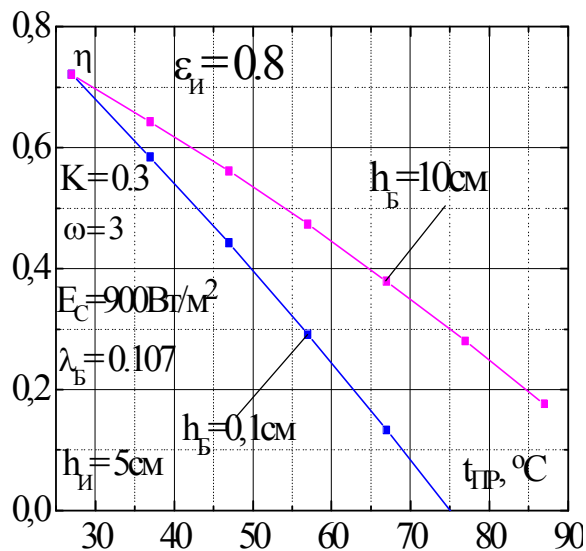
Рис.10. Схема и основные параметры, и тепловые потоки в приемнике НПУ

Разработанная стационарная тепловая модель горячего ящика отличается от существующих тем, что позволяет учитывать все основные виды теплотерь, в том числе и с боковых сторон (составляют от 20% до 30% площади дна), а также селективность радиационных характеристик приемника, прозрачного ограждения, а также поверхностей теплоизоляционных ограждающих конструкций.

Влияние теплотерь с боковых сторон на КПД горячего ящика для двух предельных случаев, изоляция на боковой стороне отсутствует ("h=0.1см") и теплоизоляция идеальна (h=10см) приведено на рис.11.



а - K = 0.2;



б - K = 0.3;

Рис 11. Влияние теплотерь с боковой поверхности на КПД водонагревателя в зависимости от температуры приемника

Как видно, теплотери с боковой поверхности достаточно заметно, особенно при температурах приемника более $50^\circ C$. Так при $T_{гр} = 70^\circ C$ и отношение площади боковой поверхности к площади приемника K равно 0.2 КПД уменьшается на

26%, а при $K = 0.3$ КПД уменьшается практически в три раза. Т.е. этот фактор необходимо учитывать при проектировании горячего ящика, в том числе и при назначении расстояния от лучевоспринимающей поверхности (ЛП) до прозрачного ограждения.

Результаты исследования влияния радиационных характеристик наружных поверхностей водонагревателя на КПД приемника приведено на рис.12. Отметим, что, так как температура окружающей среды, сравнимы с температурой водонагревателя, то здесь эффекта селективности не имеется и, в общем, наружные поверхности должны представлять серые тела. Как видно из рис.12 влияние ε_T боковой и донной поверхности достаточно заметно при температурах приемника более 50°C . Так при отсутствии теплоизоляции на боковой поверхности при $T_{\text{пр}} = 65^\circ\text{C}$ для $\varepsilon_T = 0.9$ КПД равно 0.315, при $\varepsilon_T = 0.5$ КПД составляет 0.333, а при $\varepsilon_T = 0.1$ КПД составляет 0.353. Т.е. с уменьшением ε_T КПД возрастает соответственно на 6% и 12%, с ростом температур приемника это различие увеличивается. Для случая, когда боковая поверхность идеально теплоизолирована влияние ε_T на КПД незначительно. Дело в том, что основные теплотери в «горячих ящиках» происходят со стороны прозрачного ограждения.

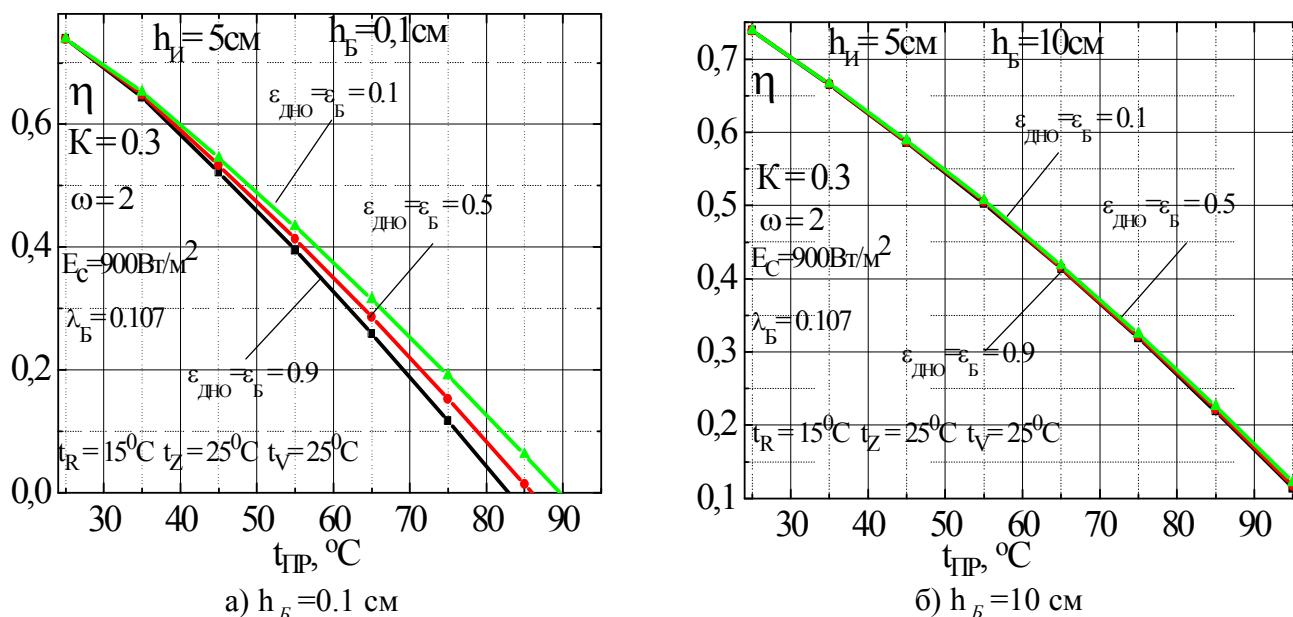


Рис 12. Влияние излучательной способности наружных поверхностей водонагревателя на КПД приемника в зависимости от его температуры

Влияние селективных ($\alpha = 0.9$, $\varepsilon = 0.1$ и $\alpha = 0.9$, $\varepsilon = 0.5$) радиационных характеристик ЛП с постоянной пороговой длиной волны $\lambda_{\text{пор}} = 2.7 \text{ мкм}$ (граница пропускания стекла) на КПД горячего ящика приведено на рис.13, там же для сравнения приведены КПД «черной» ($\alpha = \varepsilon = 1$) и «серой» с $\alpha = \varepsilon = 0.9$. Как видно, эффект от селективности существенно зависит от температуры ЛП и также начинает заметно проявляться при температурах приемника более 60°C . Причем до температур 55°C , КПД черной ЛП даже превышает КПД селективной ЛП.

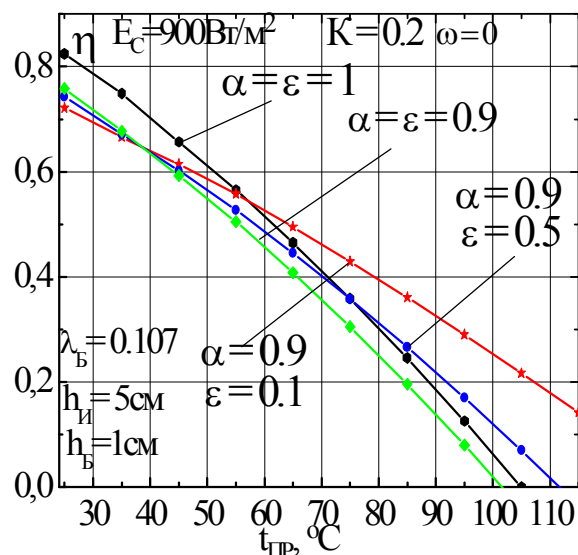


Рис.13. Влияние селективности приемника на КПД «горячего ящика» водонагревателя

Отсюда следует, что применение селективных приемников в НПУ целесообразно только для случаев, когда требуется достаточно высокая температура приемника, а при обычных температурах в водонагревателях более эффективно применение серых приемников с максимально возможной поглощательной способностью. В целом полученные результаты, модели и программы могут быть использованы в проектных расчетах «горячих ящиков» – определение толщин теплоизоляции, выбор радиационных характеристик приемника и ограждающих поверхностей.

Одним из перспективных путей крупномасштабного преобразования солнечной энергии являются солнечные энергетические установки (СЭУ) на базе термодинамических циклов. Особенность расчета СЭУ проявляется только для солнечного приемника (котла), КПД которого, в отличие от "обычных" котлов существенно уменьшается с ростом температуры. В то время, как известно, КПД термодинамического преобразования растет с ростом температуры. Т.е. в СЭУ имеются оптимальные температуры преобразования тепловой энергии в механическую, при которых достигается максимальный КПД СЭУ в целом.

В общем случае КПД СЭУ η равно

$$\eta = \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{к}} \quad (4)$$

где $\eta_{\text{п}}$ - КПД приемника (П) и $\eta_{\text{к}}$ - КПД цикла Карно.

Для приемников концентрированного солнечного излучения основные потери происходят с лучевоспринимающей поверхности (ЛП) и можно принять, что КПД приемника равно КПД ЛП, или $\eta_{\text{п}} = \eta_{\text{лп}}$. Общее выражение для КПД ЛП для любых типов приемников было получено ранее. Анализ показал, что для случая концентрированного солнечного излучения оно может быть упрощено

$$\eta_{\text{лп}} = [a_s - \varepsilon_T n(T/T_C)^4 - n\alpha_K (T - T_0) / \sigma T_C^4] \quad (5)$$

где a_s - коэффициент поглощения ЛП падающего излучения; ε_T - коэффициент излучения ЛП; T_C , T , T_0 - температуры Солнца, приемника и окружающей среды; n - коэффициент, учитывающий концентрацию солнечного излучения ($n = \pi / (C \cdot \omega_C \cdot \tau)$), где C - средняя концентрация солнечного излучения на ЛП, ω_C - телес-

ный угол Солнца, τ - коэффициент пропускания солнечного излучения атмосферой); α_K - коэффициент конвективной теплоотдачи. Отметим, что здесь C это безразмерная средняя плотность потока концентрированного солнечного излучения, т.е. $C = E/E_0$, где E_0 - плотность прямого солнечного излучения на поверхности Земли.

В общем случае, как для прямого, так и для концентрированного солнечного излучения коэффициенты поглощения a_S и излучения ε_T равны

$$a_S = (a_1 a_{S1} + a_2 a_{S2}) \quad (6)$$

$$\varepsilon_T = (a_1 \varepsilon_{T1} + a_2 \varepsilon_{T2}) \quad (7)$$

где a_1, a_2 - средние спектральные коэффициенты поглощения (излучения) ЛП до и после некоторой пороговой длины волны $\lambda_{ЛП}$ данного материала; a_{S1}, a_{S2} и a_{T1}, a_{T2} и $\varepsilon_{T1}, \varepsilon_{T2}$ доли черного излучения при температурах T_C, T , соответственно до $\lambda_{ЛП}$ и после.

Выражение для КПД ЛП (5) с учетом (6) и (7) является общим для всех типов приемников концентрированного солнечного излучения. При этом из (5) - (7) можно получить выражения для КПД ряда важных в теоретическом плане случаев, например, при $a_1 = 1$ и $a_2 = 0$ (идеальная селективная поверхность), при $a_1 = a_2 = 1$ для КПД абсолютно черного приемника и при $a_1 = a_2 < 1$ для КПД серого приемника, или

КПД идеальной селективной поверхности (ИСП) - $a_1 = 1$ и $a_2 = 0$

$$\eta_{ИСП} = a_{S1} - n(T/T_C)^4 \varepsilon_{T1} - n \alpha_K (T - T_0) / (\sigma T_C^4) \quad (8)$$

КПД черного приемника (АЧТ) - $a_1 = a_2 = 1$

$$\eta_{АЧТ} = 1 - n(T/T_C)^4 - n \alpha_K (T - T_0) / (\sigma T_C^4) \quad (9)$$

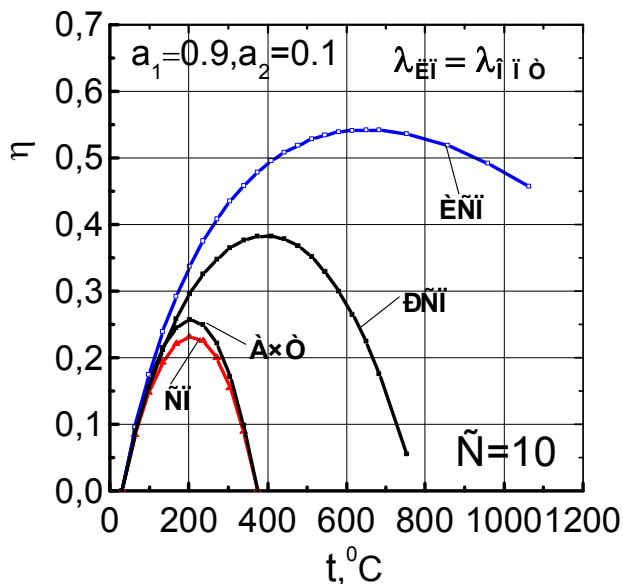
КПД серого приемника (СП) - $a_1 = a_2 < 1$

$$\eta_{СП} = a_1 [1 - n(T/T_C)^4] - n \alpha_K (T - T_0) / (\sigma T_C^4) \quad (10)$$

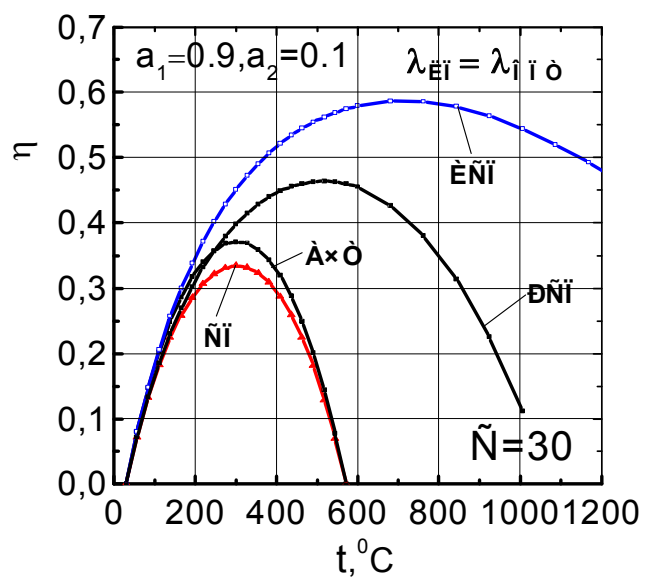
КПД реальной селективной поверхности (РСП) описывается общим выражениями (5) - (7). Для целей анализа, случая концентрированного солнечного излучения можно принять, что $\alpha_K = 0$ (т.е. теплопотери с ЛП происходят только излучением).

На основе полученных выражений были исследованы КПД СЭУ с селективными приемниками при различных концентрациях C , для среднетемпературных СЭУ с линейными концентраторами, где C порядка 10-30 (см. рис.14а,б) и оптимальными пороговыми значениями $\lambda_{ЛП}$. Там же для сравнения приведены кривые КПД СЭУ с "черным", "серым" и "идеально" селективными приемниками (было принято, что: $T_C = 5764K$, $\tau = 0.7$, $T_0 = 303K$, или при E_0 равной $E_0 = \sigma T_C^4 \cdot \omega_C \cdot \tau = 947 \text{ Вт/м}^2$).

Как видно использование селективных приемников (ИСП и РСП) может дать существенный выигрыш по КПД СЭУ. Так, если приемник типа АЧТ (к нему близок полостной приемник) для $C=10$ в максимуме может обеспечить КПД СЭУ около 25%, то РСП в максимуме обеспечивает около 37%. При $C = 30$ соответственно



а) концентрация падающего потока - $C = 10$



б) концентрация падающего потока - $C = 30$

Рис.14. КПД среднетемпературных СЭУ в зависимости от температуры приемника

имеем с приемником АЧТ - 36%, а с РСП - 46%. Причем, что интересно, при меньшей концентрации эффективность РСП более высока.

На практике, РСП имеют постоянное значение пороговой длины волны. В связи с этим на рис.15 приведены КПД СЭУ для РСП с постоянными пороговыми длинами волн $\lambda_{\text{пор}}$: - 2, 2.5, 3 мкм. Там же, для сравнения представлены кривые КПД СЭУ для РСП с оптимальной пороговой длиной волны, а также для черного и серого приемника. Как видно, кривые с постоянными $\lambda_{\text{пор}}$ совпадают с кривой $\lambda_{\text{пор.опт}}$ до тех пор пока $\lambda_{\text{пор}}$ не станет равной $\lambda_{\text{пор.опт}}$ и далее, с повышением температуры эффективность СЭУ с РСП с постоянной $\lambda_{\text{пор}}$ начинает быстро умень-

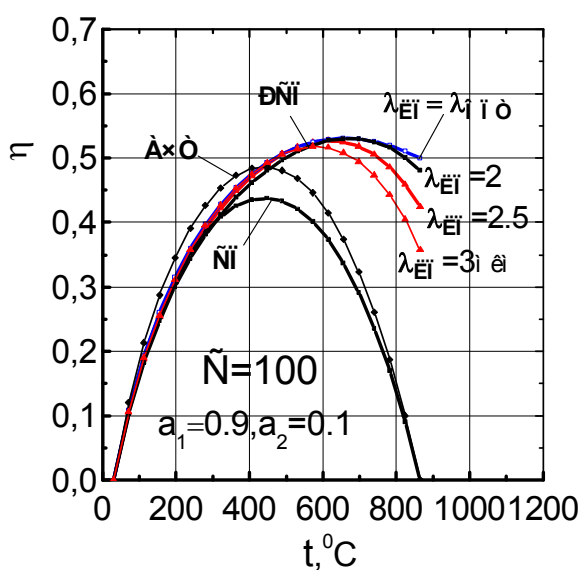


Рис.15. Зависимость КПД СЭУ от температуры для РСП с постоянными $\lambda_{\text{пор}}$

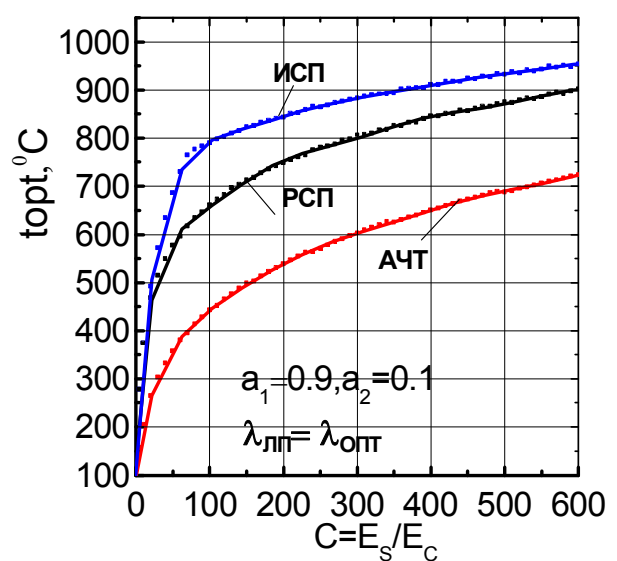


Рис.16. Температуры приемника в зависимости от концентрации солнечного излучения

шаться. Т.е. в принципе КПД СЭУ с РСП с постоянной $\lambda_{\text{пор}}$ до некоторых температур практически совпадает с идеальной РСП, что очень важно для практики. На рис.16 приведены оптимальные рабочие температуры приемника в зависимости от концентрации солнечного излучения. Как видно, здесь эффективность РСП более заметна, так оптимальные рабочие температуры РСП существенно превышают рабочие температуры АЧТ. Так, например, для обеспечения оптимальных рабочих температур приемника порядка 600°C для РСП достаточно концентрации порядка 50, а для АЧТ необходимо C порядка 300.

В целом исследования эффективности использования селективных приемников в СЭУ показывает следующее:

1. При каждой, заданной концентрации потока C для всех типов приемников (АЧТ, СП, ИСП, РСП) имеется оптимальная рабочая температура приемника и преобразователя, при которой КПД СЭУ максимально.
2. КПД СЭУ с идеально селективным приемником наибольшее, при всех концентрациях, однако РСП дают существенный абсолютный выигрыш по КПД СЭУ в основном при малых и средних концентрациях C , меньших 100, при больших концентрациях относительная эффективность высока, но абсолютные эффекты уменьшаются, что связано с резким ростом излучения. Т. селективные приемники особенно эффективны для солнечных энергетических станций с линейными концентраторами. Для высокотемпературных СЭУ с РСП абсолютный эффект по КПД уменьшается и даже становится меньше, чем КПД СЭУ с АЧТ, однако и в этом случае имеем существенный выигрыш по концентрациям.
3. Существенно эффективны и РСП с постоянными значениями пороговых длин волн, что обуславливает возможность их практического применения.
4. Разработанная методика может быть использована для анализа практических СЭУ, когда имеют перепады температур между приемником и теплоносителем и температура холодного источника больше температуры окружающей среды.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Развита радиационная стационарная и нестационарная методики измерения интегральной поглотительной и излучательной способности материалов, в том числе селективных приемников солнечного излучения, отличающиеся новым способом учета конвективных потоков.

2. На основе разработанных методик созданы экспериментальные установки для измерения интегральных радиационных характеристик материалов, в том числе селективных в эксплуатационных условиях, которые показали, что точность разработанных методик составляет около 8-10%.

3. Разработана одномерная стационарная тепловая модель «горячего ящика», проведена её программная реализация и впервые проведены оценки влияния радиационных характеристик приемника и ограждающих поверхностей (дно, боковые стороны, прозрачная изоляция) на КПД солнечного водонагревателя. В частности получено, что для температур приемника не более 60°C , применение селективных приемников не обязательно. Также показано существенное влияние характеристик

боковой поверхности на КПД «горячего ящика», что требует учета их в тепловых моделях «горячих ящиков».

4. Впервые разработана модель и программа расчета КПД солнечных тепло-энергетических установок, включающих концентратор и селективный приемник солнечного излучения, а также термодинамический преобразователь. Получено, что:

- При каждой, заданной концентрации потока S для всех типов приемников (АЧТ, СП, ИСП, РСР) имеется оптимальная температура преобразования, при которой КПД СЭУ максимально.
- Существенно эффективны и РСР с постоянными значениями пороговых длин волн, что обуславливает возможность их практического применения.
- Разработанная методика может быть использована для анализа практических СЭУ, когда имеют место перепады температур между приемником и теплоносителем и температура холодного источника больше температуры окружающей среды.

Список цитированной литературы

1. Duffie J., Beckman W. Solar engineering of thermal processes. New York. Wiley, 1991. -919p.
2. Авезов Р.Р., Орлов А.Ю. Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения. – Ташкент, Фан, 1988. – С.7-32.
3. Абдурахманов А.А. Зеркально - концентрирующие системы для солнечных энергосиловых и технологических установок и их эффективность при использовании приемников селективного лучепоглощения.: Дис. д.т.н ...- М.: МАИ. 1992. - 300с.
4. Клычев Ш.И. Моделирование приемно – концентрирующих устройств солнечных теплоэнергетических установок.: Дис. д.т.н...- Ташкент, ФТИ. 2004. - 268с.

4. СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Абдурахманов А.А., Тураева У.Ф., Клычев Ш.И. Методика определения интегральной селективности реальных тел // Гелиотехника. – Ташкент, 2008. - №4. -С.50-53.
2. Абдурахманов А.А., Акбаров Р.Ю., Ахадов Ж.З., Маматкосимов М.А., Собиоров Ю.Б., Тураева У.Ф. Создание плавильных печей на базе большой солнечной печи // Гелиотехника. – Ташкент, 2008. -№4. -С.66-71.
3. Исманжанов А.А., Самиев М., Бахрамов С.А., Клычев Ш.И., Тураева У.Ф. О тепловой инерционности солнечных низкотемпературных установок // Международной конференции: Современное состояние и актуальные проблемы развития энергетика - Ош, Киргизия, 2008 –С. 196-202.
4. Тураева У.Ф. Влияние селективности приемной поверхности на изменение температур // Табиий фанларнинг долзарб муаммолари: Республика ёш

- олимлар илмий-амалий анжумани материаллари тўплами. – Самарқанд, 2008. –С. 145-146.
5. Абдурахманов А.А., Тураева У.Ф., Клычев Ш.И., Методика определения интегральной излучательной способности приемников солнечного излучения // Гелиотехника. – Ташкент, 2009. -№2. -С.62-64.
 6. Клычев Ш.И., Абдурахманов А.А., Бахрамов С.А., Тураева У.Ф. Влияние радиационных характеристик на эффективность солнечных теплоэнергетических установок // Гелиотехника. – Ташкент, 2010. -№4. -С.60-66.
 7. Абдурахманов А.А., Ахатов Ж.З., Маматкосимов М.А., Сарыбаев С.А., Собиров Ю.Б., Тураева У.Ф. Синтез высокотемпературных материалов, получение лазерного излучения, водорода электрической тепловой энергии и испытание материалов на световой стойкость на меговаттной солнечной печи // Альтернативная энергетика и проблемы энергобезопасности. – Бишкек, 2008. –С.59-62.
 8. Абдурахманов А.А., Ахатов Ж.З., Маматкосимов М.А., Сарыбаев С.А., Тураева У.Ф. Разработка ускоренной методики юстировки facets гелиостата автоколлиматором и автоколлимационным теодолитом // Альтернативная энергетика и проблемы энергобезопасности. – Бишкек, 2008. –С.63 - 66.
 9. Абдурахманов А.А., Клычев Ш.И., Ахатов Ж.З., Тураева У.Ф. Исследования приемников парогенераторов для комбинированных процессов преобразования солнечной энергии // Альтернативная энергетика и проблемы энергобезопасности. – Бишкек, 2008. –С.67 - 69.
 10. Мухиддинов Д.Н., Бахрамов С.А., Клычев Ш.И., Тураева У.Ф., Дудко Ю.А. Солнечный воздушнонагревательный коллектор. Рег. номер заявки: № IAP 20090388. от 18.12.2009г.

РЕЗЮМЕ

диссертации Тураевой Улмасой Фармоновны на тему: «Эффективность солнечных теплоэнергетических установок с селективными приемниками излучения» представленной на ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.14.08 - Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии и 05.14.05 - Теоретические основы теплотехники

Ключевые слова: поглощательная способность, излучательная способность, радиационная характеристика, пороговая длина волны, параметр селективности, солнечная теплоэнергетическая установка, лучевоспринимающая поверхность, боковая изоляция, донная изоляция.

Объект исследования: солнечные тепловые и энергетические установки

Цель работы: разработка методик и моделей, предназначенных для определения эффективности использования селективных поверхностей в солнечных низко- и высокотемпературных установках и выработки рекомендаций по их применению.

Методы исследования: в работе использованы основные положения фотометрии, геометрической оптики и теоретических основ теплотехники, общепризнанные методы численного решения уравнений теплопроводности, а также методы обработки результатов.

Полученные результаты и их новизна: развита методика определения интегральных радиационных характеристик поверхностей по равновесным температурам, отличающаяся новой схемой учета конвективных теплопотерь; разработана численная модель «горячего ящика», отличающаяся учетом теплопотерь с боковых поверхностей, селективности приёмника и прозрачного ограждения; разработана методика определения оптимальных параметров (концентрация, температура преобразования) солнечных теплоэнергетических установок с селективным приемником, впервые определены максимальные КПД солнечных теплоэнергетических установок с селективными приемниками излучения.

Практическая значимость: методика определения интегральных радиационных характеристик, её экспериментальная отработка могут быть использованы на практике для определения радиационных характеристик различных материалов; разработанные тепловые модели солнечных низкотемпературных установок и их численная и программная реализации могут быть использованы при обосновании степени селективности приемников солнечного излучения; результаты оптимизации системы селективный приемник – термодинамический преобразователь могут быть использованы при определении оптимальных рабочих режимов СЭУ в зависимости от, концентрации солнечного излучения и температур преобразования.

Степень внедрения и экономическая эффективность: результаты работы позволяют обосновать требования к селективности приемников солнечного излучения НПУ и ВПУ, а следовательно снизить затраты на их изготовление.

Область применения: низко-и высокотемпературные солнечные установки.

Техника фанлари номзоди илмий даражасига талабгор Тўраева Ўлмасой Фармоновнанинг 05.14.08- Қайта тикланадиган энергия турлари асосидаги энергия қурилмалари ва 05.14.05-Иссиқлик техникасининг назарий асослари ихтисосликлари бўйича “Селектив қабул қилгичли қуёш иссиқлик энергетик қурилмаларининг самарадорлиги ” мавзусидаги диссертациясининг

РЕЗЮМЕСИ

Таянч сўзлар: ютилиш қобиляти, нурланиш қобиляти, радиацион хусусият, бўсағавий тўлқин узунлиги, селективлик параметри, қуёш иссиқлик энергетик қурилмаси, нур қабул қилувчи сирт, ён изоляция, ост изоляция.

Тадқиқот объектлари: қуёш иссиқлик ва энергетик қурилмалари.

Ишнинг мақсади: қуёш паст ва юқори ҳароратли қурилмаларида селектив сиртлардан фойдаланиш самарадорлигини аниқлаш учун кўзда тутилган модел ва услубини ва уларни қўллаш бўйича таклифларни ишлаб чиқиш.

Тадқиқот методлари: қўйилган масалани ҳал қилишда фотометрия, геометрик оптика ва теплотехниканинг назарий асослари, иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасининг сонли ечимлари усулларида, ҳамда натижаларга ишлов бериш усулларида фойдаланилди.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги: мувозанат ҳарорати бўйича сиртларнинг интеграл радиацион хоссаларининг конвектив иссиқлик йўқолишини ҳисобга олиш билан фарқланадиган усули ривожлантирилди; ён сиртдан узатилаётган иссиқлик йўқолишини ҳисобга оладиган “иссиқ яшиқ”нинг сонли модели ишлаб чиқилди ва бу ф.и.к. га селектив қабул қилгичли сиртларининг аниқлаш имконини берди; селектив қабул қилгичли иссиқлик ва энергетик қурилмаларининг оптимал параметрлари (концентрация, ўзгартиргич ҳарорати) нинг аниқлаш усули ишлаб чиқилди ва илк бора селектив қабул қилгичли қуёш иссиқлик ва энергетик қурилмаларининг максимал ф.и.к. аниқланди.

Амалий аҳамияти: интеграл радиацион хоссаларни аниқлаш усули ҳамда унинг тажрибавий ишланмаси амалиётда турли материалларнинг радиацион хоссаларини аниқлаш учун фойдаланиш мумкин; қуёш паст ҳароратли қурилмалар учун ишлаб чиқилган иссиқлик модели ва уларнинг ҳисобий ва дастурий амалга оширилгани қуёш нурланиши таъсири остида ишлайдиган қабул қилгичларнинг селективлик даражасини аниқлашда қўлланилиши мумкин; қабул қилгич — термодинамик ўзгартиргич тизимини оптималлаш натижалари қабул қилгич селективлигининг оптимал параметрларини, қуёш нурланиш концентрациясини ва ўзгартиргич ҳароратини аниқлашда қўллаш мумкин.

Татбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги: тадқиқот натижалари селектив приемникли қуёш иссиқлик қурилмаларига бўлган талабни асослаб, уларни ишлаб чиқаришдаги харажатларни камайтиради.

Қўлланиш соҳаси: паст ва юқори ҳароратли қуёш қурилмалари.

RESUME

Thesis of Turaeva Ulmasoy Farmonovna on the scientific degree competition of the doctor of philosophy in technical sciences on specialties 05.14.08 – Power Installations on the base of renewable kinds of energy resources, 05.14.05 - Theoretical bases of heat – engineering, subject: “Efficiency of heat-and-power engineering equipments with selective receiver of radiation”

Key words: absorptive capacity, radiating capacity, radiation characteristics, threshold wave length, parameter of selectivity, solar heat-and-power engineering equipment, ray absorbing surfaces, lateral isolation, bottom isolation.

Subjects of research: solar heat and energy equipments, exactly, radiation characteristics of solar receivers and their influence to efficiency of equipments

Purpose of work: to develop methods and models intended to define efficiency of using selective surfaces in solar low and high temperature equipments and working out recommendations by their applications.

Methods of the research: There are used fundamentals of photometry, geometrical optics and theoretical bases of heat engineering, universally recognized methods of numerical solution of equation of thermal conductivity and methods of data handling.

The results obtained and their novelty: determination methodology of integrated radiation characteristics by equilibrium temperature which is notable with convection heat losses' new circuit of calculation; numerical model of "hot box" which is notable with convection heat losses from side surfaces and determination ability influence of receiving surfaces' selectivity to efficiency; determination methodology of optimal parameters (concentration, conversion temperature) of solar heat-and-power engineering equipments with selective receiver of radiation; determined: maximal efficiency of solar heat-and-power engineering equipments

Practical value: determination methodology of integrated radiation characteristics and its experimental refining can be used to determine radiation characteristics of different materials; developed thermal models of solar low temperature equipments and their numerical and software implementation can be used in degree validation of solar receiver's selectivity; results of system optimization receiver – thermodynamic reformer can be used to determine optimal parameters of receiver's selectivity, concentration of solar radiation and temperature transformation

Degree of embed and economic effectivity: results of the work allowed to base requirements to selectivity of solar radiation detectors and consequently to bring down costs to manufacturing them.

Field of application: low and high solar temperature equipments