

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

КЫРГЫЗСКО-УЗБЕКСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

на правах рукописи
УДК 662.997.534.

Турсунбаев Жанболот Жанышович

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ
С ДВИГАТЕЛЕМ СТИРЛИНГА НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ВИДАХ
ЭНЕРГИИ**

Специальность: 05.14.08 – Энергоустановки на основе возобновляемых
видов энергии

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ош – 2005

Работа выполнена в Ошском государственном университете и в Физико-техническом институте НПО «Физика-Солнце» АН РУз.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Научный руководитель: кандидат технических наук,
доцент, член корр. ИА КР Кенжаев И.Г.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор ОбозоЕ А.Дж.

кандидат технических наук,
доцент Сатыбалдыев А.Б.

Ведущая организация: Алматинский институт энергетики, связи и информации

Защита состоится «_/_» июль 2005 г. в «/^» часов на заседании диссертационного совета К 05.05-291 при Кыргызско-Узбекском университете по адресу: 714003, г. Ош, ул. Исанова, 79.

Факс (988) 2-54-73, 5-70-55
E-таЦ: [кии\(Шпе1.кк, Гел51тр5@уро5*.п1- пайка кии@таП.ги](mailto:кии(Шпе1.кк, Гел51тр5@уро5*.п1- пайка кии@таП.ги)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызско-Узбекского университета.

Отзывы об автореферате в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять по адресу: 714003, г. Ош, ул. Исанова, 79, Кыргызско-Узбекский университет, диссертационный совет К 05.05-291.

Автореферат разослан « » 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.т.н.

С.К. Султанов

Актуальность темы. В последнее время проблемы преобразования возобновляемых видов энергии с применением динамических преобразователей привлекают внимание многих ученых мира. Этот интерес связан с необходимостью создания новых видов энергетических установок, работающих на альтернативных источниках энергии.

Автономные энергетические установки (АЭУ) с двигателями Стирлинга (ДС) отличаются высокой эффективностью, экологической чистотой, малым уровнем шума меньшей токсичностью отработанных газов.

Проведенный литературный обзор энергетических установок с ДС показал, что основным назначением большинства разрабатываемых установок является получение лишь электрической энергии. Поэтому создание энергетической установки на базе ДС с широким диапазоном использования его потенциальных возможностей и разработка методов инженерных расчетов, позволяющих более точно определять значения выходных параметров установки, является актуальной задачей.

Связь темы диссертации с научными программами.

Работа выполнялась в ходе реализации проекта 81Р Рпучс! 972296 Международной научной программы НАТО «Наука во имя мира» и в соответствии с темой проекта, финансируемого по линии Госагенства по науке и интеллектуальной собственности при правительстве Кыргызской Республики.

Целью работы является разработка автономной энергетической установки с двигателем Стирлинга с улучшенными выходными показателями на основе возобновляемых видов энергии для обеспечения потребителей электрической и тепловой энергией.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- разработка математической модели и пакета прикладных программ для расчета параметров внутреннего контура ДС;
- расчетно-экспериментальное исследование для оптимизации параметров топочно-горелочного устройства (ТГУ), приемников солнечного излучения ДС и параболических концентраторов АЭУ;
- разработка и создание опытного образца АЭУ с ДС мощностью 3 кВт;
- экспериментальное исследование разработанной АЭУ с ДС и сравнительный анализ адекватности результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Научная новизна диссертационной работы состоит:

- в разработке математической модели и пакета прикладных программ для её расчета, позволяющие с более высокой точностью определять значения параметров внутреннего контура ДС АЭУ;
- в разработке приемника солнечного излучения и ТГУ, позволяющего повысить эффективность теплоподвода к рабочему телу ДС АЭУ при использовании солнечной энергии и газообразного топлива;

- в разработке эффективного способа утилизации продуктов горения, позволяющего вырабатывать дополнительную тепловую энергию энергоустановкой;

- в разработке более эффективной АЭУ с ДС, предназначенной для обеспечения потребителя электрической и тепловой энергией.

Новизна полученных результатов подтверждена сертификатом программы НАТО «Наука во имя мира», выданного на проект ZP Projес1 972296.

Основные положения, выносимые на защиту:

- разработанная математическая модель для расчета параметров внутреннего контура ДС АЭУ;

- полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных на опытном образце энергетической установки с ДС на возобновляемых видах энергии;

- особенности и технология подвода теплоты к рабочему телу ДС посредством разработанных конструкций приемника солнечного излучения и ТГУ;

- разработанный способ утилизации теплоты продуктов горения и технологическая схема подачи тепловой энергии к потребителю;

- разработанный экспериментальный образец АЭУ с ДС мощностью 3кВт на возобновляемых видах энергии, предназначенной для обеспечения потребителя электрической и тепловой энергией.

Практическая значимость полученных результатов:

- разработанная математическая модель учитывает в расчетах наличие газодинамических сопротивлений в тракте теплообменников и утечек рабочего тела из надпоршневых полостей в картер, и тем самым позволяет при проведении теоретических исследований более точно определить значения параметров внутреннего контура ДС АЭУ;

- разработанные конструкции приемника солнечного излучения и ТГУ для АЭУ с ДС способствуют повышению эффективности теплоподвода к рабочему телу при использовании возобновляемых видов энергии;

- разработанный способ утилизации теплоты из камеры сгорания ДС позволяет получить дополнительную тепловую энергию, что обеспечит повышение эффективности энергетической установки в целом;

- разработанная АЭУ с ДС позволит автономно обеспечить электрической и тепловой энергией потребителей, удаленных от централизованных систем энергоснабжения;

Личное участие автора в получении научных результатов.

На протяжении ряда лет автор принимал непосредственное участие при создании энергетических установок на базе двигателей Стирлинга различных модификаций. Был исполнителем совместного международного проекта, выполненного в рамках Международной научной программы НАТО «Наука во имя мира», а также в проектах, финансируемых по линии ГАНИС.

Тема диссертационной работы, постановка задачи исследований, выводы и заключения согласованы с научным руководителем диссертационной работы,

к.т.н. И.Г. Кенжаевым. Научные публикации по теме диссертационной работы подготовлены в соавторстве с И.Г. Кенжаевым, Б.Э. Кудайбердиевым и О.М. Осмоновым. Автор работы принимал участие в разработке, создании и проведении экспериментальных исследований АЭУ с ДС. Теоретические исследования по расчету параметров внутреннего контура ДС, теплообменников и пакета прикладных программ выполнены автором диссертационной работы.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на международной конференции «Проблемы управления и информатики», посвященной к 40-летию Института автоматики (Бишкек, сентябрь 2000), на международной конференции «Проблемы энергетики в Центральной Азии и Европе» (Ташкент, ноябрь 2004), на республиканских и региональных конференциях: «Экология и природные ресурсы Тянь-Шаня» (Ош, февраль 2002), «Комплексные основы развития Кыргызской Республики - прогресс Кыргызстана» (Ош, май 2002). Работа в полном объеме доложена на расширенном Научно-техническом совете ОшГУ, на Научно-техническом совете лабораторий гелиотехнического направления Физико-технического института НПО «Физика-Солнце» АНПУз, на Научно-техническом совете Кыргызско-Узбекского университета.

Публикации по работе. По теме диссертационной работы опубликовано 14 научных статей, в том числе в трудах международного семинара «Состояние энергетики в Центральной Азии и Европе», международной конференции «Проблемы управления и информатики» в периодических научных журналах «Известия ВУЗов», «Известия ОшГУ» и «Вестник ОшГУ».

На представленную работу получен сертификат НАТО по результатам итогового отчета проекта 8Й> Pгсуес! 972296.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов, списка использованных источников и приложения. Содержит 135 страниц, включая 27 рисунков, 9 таблиц и библиографию из 124 наименований.

В приложении приведены акты о внедрении, официальный информационный лист НАТО, копия диплома о присуждении гранта Президента КР и пакет прикладных программ.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отражены актуальность проблемы, предмет, цели и задачи исследования, а также научная и практическая значимость полученных в работе результатов.

В первой главе (Анализ состояния работ по разработке энергетических установок с двигателем Стирлинга) проведен анализ состояния научных исследований по разработке АЭУ с ДС на возобновляемых видах энергии. Проанализировано современное состояние теоретических и экспериментальных исследований, проведенных учеными ведущих научно-исследовательских организаций различных стран в области создания энергетических установок с динамическими преобразователями энергии, и в частности, с ДС. На основании

проведенного литературного анализа были определены цели и задачи исследования.

Во второй главе (Теоретические исследования основных параметров двигателя Стирлинга) изложены проведенные теоретические исследования по определению основных параметров внутреннего контура и блока теплообменников ДС АЭУ с учетом наличия газодинамических сопротивлений в тракте теплообменников и утечек рабочего тела в картер через уплотнительные кольца.

Давление в горячей полости есть сумма давления в холодной полости и потери давления от газодинамических сопротивлений:

$$P_G = P_X + AP, \tag{1}$$

где P_X - давление в холодном цилиндре; AP - потери давления вследствие газодинамических сопротивлений в тракте теплообменников.

Давление в холодном цилиндре определяется из следующей формулы:

$$P_X = \frac{P \cdot AP \cdot (\gamma \cdot (1 + ca \cdot \phi) + 25z + 8p)}{P_{цх} \cdot (T_0 + T)^{\gamma} + 2 \cdot 15 + - \lambda \kappa^{\gamma} + - \lambda 2 \kappa - ca \cdot \phi} \tag{2}$$

где P - функция изменения давления в отсутствие газодинамических сопротивлений; γ - отношение температур; $8p$ и $8r$ - соответственно проходное сечение нагревателя и регенератора; κ - отношение объемов.

Полные потери от газодинамических сопротивлений трактов теплообменников есть сумма потерь от газодинамических сопротивлений нагревателя, регенератора и холодильника:

$$AP = AP_z + AP_p + AP_x, \tag{3}$$

Тогда потери от газодинамических сопротивлений к потоку рабочего тела нагревателя, регенератора и холодильника имеют вид:

$$\Delta P = \dots \tag{4}$$

$$P = \dots \tag{5}$$

где ξ , Γ_x , Γ_r - коэффициенты трения в потоке нагревателя, холодильника и регенератора; $\kappa_{сг}$, $\kappa_{сг}$, $\kappa_{сх}$, $\kappa_{сх}$ - коэффициенты местных сопротивлений в нагревателе и в холодильнике; v - скорость газа в теплообменнике.

Утечки рабочего тела из рабочих полостей в картер происходит через зазоры между стенкой цилиндра и уплотнительными кольцами, а также между уплотнительными кольцами и канавками поршня (рис. 1).

Значение давления P_3 в межкольцевом объеме соответственно, в горячей и холодной полостях, определяются из уравнений:

$$P_3 = \dots \tag{7}$$

где P_k - давление в картере двигателя; B - длина поршневой канавки.

Значения среднего давления в межкольцевом объеме, соответственно в горячей и холодной полости, определяются частным от деления интеграла по кривой изменения давления на длину отрезка интегрирования:

$$P_{3,ср,z} = \frac{\int_{P_1}^{P_2} p^{\kappa} dx}{(P_2 - P_1) \kappa} \tag{9}$$

$$P_{3,ср,x} = \frac{\int_{P_1}^{P_2} p^{\kappa} dx}{(P_2 - P_1) \kappa} \tag{10}$$

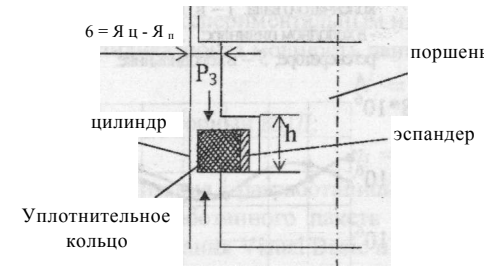


Рис. 1. Расчетная схема для определения утечек рабочего тела через уплотнительные кольца.

Используем уравнения (9) и (10) для определения величины утечек рабочего тела через уплотнительные кольца по времени:

$$\dot{m} = \dots \tag{11}$$

$$L = \dots \tag{12}$$

В результате проведенных теоретических исследований установлено, что величина утечек газа через уплотнительные кольца в горячей полости будет больше, чем в холодной полости, т.к. при прочих равных условиях функция давления в холодной полости P_X изменяется почти по противофазе относительно давления в горячей полости P_G . Это приводит к возрастанию расхода газа через уплотнительные кольца из-за увеличения на нем перепада давления.

Расчетные уравнения для индикаторной работы и подводимой к двигателю теплоты имеют вид:

$$L = \dots \tag{13}$$

$$Q_2 = \dots \tag{14}$$

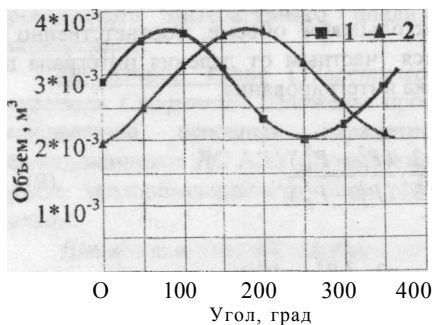


Рис. 2. Изменения объемов 1 - в горячем и 2 - в холодном цилиндре по углу поворота коленчатого вала.

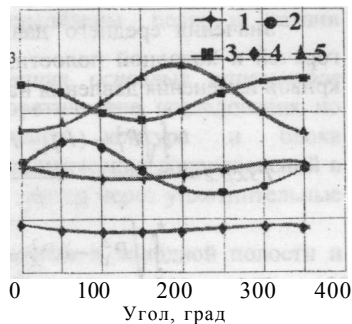


Рис.3. Изменяющаяся газополость коленчатого вала 1- в горячем цилиндре 2- в холодном цилиндре 3- в регенераторе; 4- в входе; 5- в выходе.

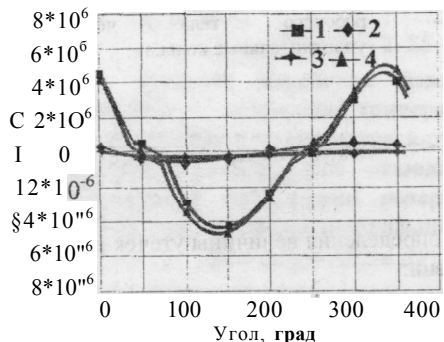


Рис.4. Изменения перепада давлений при газодинамических сопротивлениях к потоку газа: 1- в горячем цилиндре; 2- в холодном цилиндре; 3- в регенераторе; 4- суммарный.

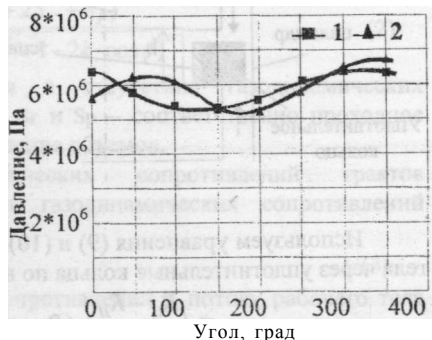


Рис. 5. Изменения давления газа: 1- в холодном и 2 - в горячем цилиндрах за цикл.

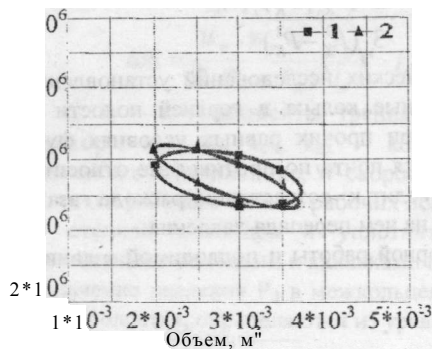


Рис. 6. Индикаторные диаграммы: 1- в горячем и 2 - в холодном цилиндрах.

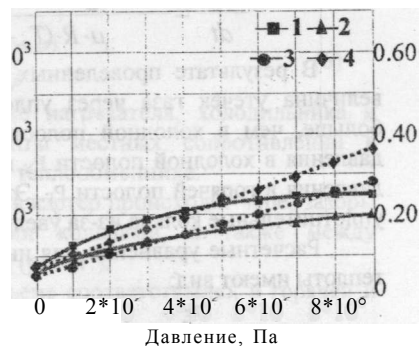


Рис 7. Индикаторные и эффективные показатели двигателя: 1,2 - индикаторный и эффективный ют; 3,4 - индикаторная и эффективная мощность.

где Q_p — теплота, подводимая к газу и отводимая от газа в регенераторе; $Q_{\text{ут}}$ — утечка теплоты по элементам конструкции; c/U_T и c/U_X — соответственно функции изменения объема в горячем и холодном цилиндрах, которая определяется:

$$- \text{ для горячей полости } c/U_T = 0,5 \cdot V_x \cdot (\text{вт} < p \cdot c / < p), \quad (15)$$

$$- \text{ для холодной полости } (U_X - 0,5 \cdot \kappa \cdot V, \cdot \text{зм} < p - \phi) c / < p, \quad (16)$$

где U_T рабочий объем цилиндров; ϕ — угол поворота коленчатого вала.

Предложенная методика определения индикаторных показателей ДС, с учетом потерь от газодинамических сопротивлений тракта теплообменников и наличия утечек рабочего тела в картер, позволяет уменьшить погрешности расчетов и тем самым снизить расхождение значений выходных параметров ДС, получаемых экспериментальным и расчетным путями.

Индикаторная мощность двигателя:

$$(17)$$

Индикаторный КПД:

$$(18)$$

Реализация разработанной математической модели осуществлена при помощи разработанного пакета прикладных программ составленного на языке программирования Visual Basic и проведен расчет рабочего процесса внутреннего контура разработанного двигателя Стирлинга а- модификации. По результатам расчетов построены зависимости основных параметров ДС АЭУ от различных факторов (рис. 2-7).

В третьей главе (Исследования процесса теплоподвода (энергию солнца и биогаза) к рабочему телу двигателя Стирлинга) изложены результаты исследований зависимости выходной энергетической мощности АЭУ от плотности прямого солнечного излучения (от величины, подводимой к теплоприемнику лучистой энергии) при заданном миделе концентратора солнечного излучения, а также по определению необходимой площади миделя концентратора солнечного излучения АЭУ с ДС и основных параметров теплоприемника для обеспечения заданной выходной мощности АЭУ.

На основе проведенного анализа составляющих энергетического баланса системы концентратор - теплоприемник (К-П) получена формула по определению площади миделя параболического концентратора, необходимого для обеспечения заданной выходной мощности ЭУ с ДС:

$$P_{\text{п}} = \frac{E_0 \cdot Y_{\text{сл}} \cdot L_{\text{юс}}}{\pi \cdot (O_{\text{опт.}} + \text{изл.} + \text{конс.} + \text{конс. из.})} \quad (19)$$

где $P_{\text{п}}$ — функция давления в горячем цилиндре; Q_p — теплота, подводимая к рабочему телу и отводимая от рабочего тела в регенераторе; ϵ — эффективность регенератора; π — число оборотов коленчатого вала; $S_{\text{к}}$ — утечка теплоты по элементам конструкции; c/U_T — функция изменения объема в горячем цилиндре, которая определяется из уравнения (15); E_0 — плотность потока прямой солнечной

радиации; $8п$ - площадь миделя ЗКС; $Kз$ - коэффициент зеркального отражения ЗКС; $\eta_{сл}$ - эффективность системы слежения концентратора за солнцем; $\eta_{юс}$ - эффективность юстировки ЗКС; $O_{опт.}$ - оптические потери ЗКС; $O_{изл.}$ - потери излучением; $O_{конв.}$ - конвективные потери с поверхности теплоприемника; $O_{конв.из.}$ - конвективные потери с поверхности изоляции в окружающую среду.

Таблица 1

№	E_0 , кВт/м ²	$Kз$	$\eta_{сл}$	$\eta_{юс}$	ЭУ с ДС 1 кВт			ЭУ с ДС 3 кВт		
					E_0 , кВт	$8п$, м ²	$O_{р-т.}$, кВт	E_0 , кВт	$8п$, м ²	$O_{р-т.}$, кВт
1.	0,1	0,94	0,5	0,9	0,26	58	1,02	0,87	98,3	3,28
2.	0,2	0,94	0,5	0,9	0,33	51	2,01	1,1	92,3	6,70
3.	0,3	0,94	0,5	0,9	0,40	44	2,70	1,34	85,3	9,48
4.	0,4	0,94	0,5	0,9	0,41	38	3,65	1,37	80,0	12,16
5.	0,5	0,94	0,5	0,9	0,47	34	4,26	1,57	74,7	15,98
6.	0,6	0,94	0,5	0,9	0,54	31,5	4,91	1,81	71,6	16,36
7.	0,7	0,94	0,5	0,9	0,60	27,8	5,12	2,02	64,4	17,04
8.	0,8	0,94	0,5	0,9	0,68	25,5	5,64	2,27	62,3	18,81
9.	0,9	0,94	0,5	0,9	0,75	23,8	5,94	2,52	58,6	20,55

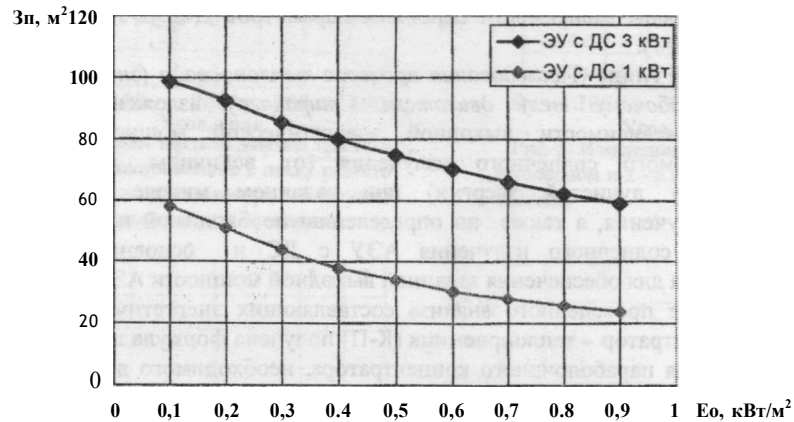


Рис. 1. Зависимость площади миделя концентратора от плотности прямого солнечного излучения

В таблице 1 приведены результаты расчетов энергетических потерь системы К-П и площади миделя концентратора разработанной ЭУ с ДС а - модификации мощностью 3 кВт. На рис.1. приведена зависимость площади миделя концентратора от плотности прямого солнечного излучения. Для

сравнительного анализа проведен расчет ранее разработанной ЭУ с ДС а - модификации мощностью 1 кВт и построена зависимость (рис. 1).

Для получения требуемой выходной мощности 3 кВт АЭУ с ДС необходимо подвести к рабочему телу ДС тепловую мощность в пределах 15-17 кВт. Такие значения $O_{р-т}$ можно получить с помощью параболического концентратора имеющего площадь миделя 65+70 м².

Установлено, что параболический концентратор целесообразно использовать для ЭУ с ДС малых мощностей (до 1,5 кВт). При создании ЭУ с ДС мощностью 3 кВт и более, требуется параболический концентратор с большой площадью миделя, что приводит к усложнению конструкции и дороговизне ЭУ с ДС. Поэтому, при создании ЭУ с ДС средних и больших мощностей целесообразно подвести солнечную энергию к теплоприемнику при помощи гелиостатов или создать ЭУ с ДС, работающий на биогазе.

Найдены оптимальные значения параметров теплоприемника. Расчет основных параметров теплоприемника проведен в два этапа: на первом этапе определяется площадь поглощающей поверхности теплоприемника:

$$P_{п} = \frac{P_{г.}}{K \cdot \Delta T} \quad (20)$$

где K - коэффициент теплопередачи; ΔT - средний температурный напор.

Первый этап расчетов позволил определить значение таких параметров теплоприемника как, коэффициент теплоотдачи a , коэффициент теплопередачи K , температурный напор ΔT .

Второй этап заключается в определении составляющих энергетического баланса концентратор-теплоприемник.

$$Z_{р.т.} = \left[\frac{E_0 \cdot \eta_{сл} \cdot \eta_{юс}}{A \cdot (\alpha_{опт.} + O_{изл.} + O_{конв.} + O_{конв.из.})} \right] \quad (21)$$

где A - коэффициент теплопроводности материала теплоприемника ДС.

При определении каждого составляющего энергетического баланса определялись остальные значения параметров теплоприемника.

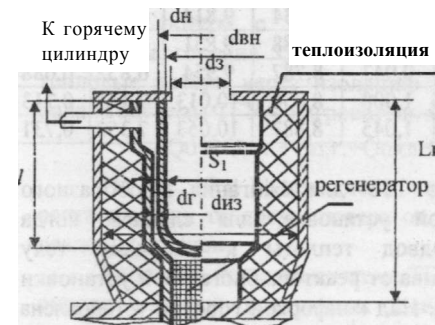


Рис. 8. Расчетная схема экспериментального образца полостного приемника солнечного излучения: $L_{из}$ - длина теплоизоляции; $d_{из}$ - диаметр теплоизоляции; L - глубина полости теплоприемника; z - диаметр зрачка теплоприемника; $d_{вн}$ - наружный диаметр теплоприемника; $d_{вн}$ - внутренний диаметр теплоприемника; $d_{из}$ - диаметр теплоизоляции; $d_{г}$ - гидравлический диаметр канала нагревателя;

Результаты расчетно-экспериментальных исследований приведены в таблице 2.

Экспериментальное исследование разработанного теплоприемника проведено следующим образом: теплоприемник нагревался при помощи электрического нагревателя, и экспериментально определялись конвективные потери. Конвективные потери составляли 613 Вт при естественной конвекции. При этом были зафиксированы: температура в полости теплоприемника - 625 °С; наклон оси полости теплоприемника к горизонту - 45°. Основную часть тепловых потерь теплоприемника связанных с конвекцией, составляют конвективные потери с поглощающей поверхности теплоприемника. По нашим оценкам, потери с внешней стенки теплоизоляции теплоприемника, составляют не более 20%. Для всех остальных значений l и d , приведенных в таблице, величина конвективных потерь приблизительно экстраполировалась по полученным экспериментальным данным, для $d=0,27$ м, $l=0,35$ и $Q_{конв} \approx 613$ Вт.

Установлено, что наиболее оптимальными для АЭУ с ДС мощностью 3 кВт являются полостные теплоприемники с размерами $d = 0,27$ м и $l=0,35$ м. Для этих параметров потери солнечного излучения от поглощающей поверхности теплоприемника минимальны, а эффективный коэффициент поглощения максимален.

Таблица 2

$\frac{l}{d}$	S_z [м ² ·10 ⁻³]	$F_{п}$ [м ² ·10 ⁻³]	φ	$\varepsilon_{эф}$	$\alpha_{эф}$	$Q_{изл.}$ [кВт]	$Q_{погл.}$ [кВт]	$Q_{выход.}$ [кВт]	$Q_{р.т.}$ [кВт]	$\eta = \frac{Q_{р.т.}}{Q_{выход.}}$
d=0,20 м										
1,27	192,2	769,06	0,25	0,63	0,786	0,428	8,029	8,806	5,250	0,594
1,7	192,2	961,33	0,20	0,68	0,820	0,481	8,064	9,227	5,615	0,608
2,12	192,2	1153,58	0,17	0,72	0,847	0,51	8,092	9,255	5,911	0,639
2,55	192,2	1345,85	0,14	0,75	0,870	0,532	8,114	9,277	6,333	0,682
2,97	192,2	1538,12	0,13	0,77	0,885	0,545	8,127	9,298	6,732	0,724
3,4	192,2	1730,39	0,11	0,80	0,900	0,566	8,149	9,312	6,998	0,751
4,25	192,2	2114,91	0,09	0,83	0,910	0,588	8,170	9,333	7,213	0,772
d=0,27 м										
1,27	341,8	1366,6	0,25	0,63	0,786	0,796	8,634	9,814	6,202	0,631
1,7	341,8	1709,02	0,20	0,68	0,820	0,856	8,688	9,851	6,452	0,654
2,55	341,8	2392,63	0,14	0,75	0,870	0,943	8,787	9,954	6,852	0,688
2,4	341,8	3076,25	0,11	0,80	0,900	1,008	8,850	10,013	7,141	0,713
4,25	341,8	3416,32	0,09	0,83	0,910	1,045	8,887	10,053	7,352	0,731

Описана конструкция разработанного ТГУ для сжигания газообразного топлива. В разработанной энергетической установке, для случаев, когда используется газообразное топливо, подвод теплоты к рабочему телу осуществляется подачей газообразного топлива от реактора биогазовой установки через редуктор в газовую горелку 1 (рис.9.). Над конфоркой горелки установлена сетчатая насадка 5.

В процессе горения часть компонентов газа, не успевшие войти в реакцию с кислородом, проходя через слоистую сетчатую насадку, теряет первоначальную скорость, и в насадке происходит догорание этих компонентов.

В коллекторе 2 установлен нагреватель 3, изготовленный из трубы и имеющий форму отсеченного конуса. С наружной стороны конусообразного коллектора расположен смеситель газа 4, предназначенный для осуществления горения газа в свободном пространстве между витками нагревателя.

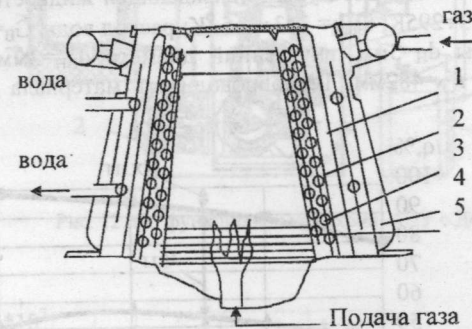


Рис. 9. Схема топочно-горелочного устройства: 1 - горелка; 2 - коллектор нагревателя; 3 - трубки нагревателя; 4 - смеситель газа; 5 - сетчатая насадка.

Отличительной особенностью устройства является возможность обеспечения более полного сгорания газообразного топлива и объемный подвод теплоты к рабочему телу ДС, что позволяет использовать в качестве топлива для ДС газы с низкой теплотворной способностью (например, биогаз).

Исследования разработанных ТГУ и нагревателя показали, что тепловые потери с уходящими газами снижаются на 7-9% (по сравнению с данными, созданного ранее экспериментального стенда АЭУ с ДС мощностью 1 кВт). Установлено, что вследствие снижения тепловых потерь с уходящими газами и оптимального подвода теплоты к нагревателю, эффективность подвода теплоты к рабочему телу ДС повышается на 3-5%.

Для разработанной конструкции ТГУ определены составляющие теплового баланса системы ТГУ - нагреватель. Тепловыми потерями системы являются: тепловые потери с уходящими газами $Q_{п.г.}$; тепловые потери вследствие неполноты горения $Q_{х.н.г.}$; теплота, отдаваемая системе охлаждения $Q_{охл.}$; тепловые потери через изоляцию в окружающую среду $Q_{из.}$. Тогда, тепловой баланс системы ТГУ - нагреватель можно записать в следующем виде:

$$Q_0 = Q_{р.т.} + Q_{п.г.} + Q_{охл.} + Q_{х.н.г.} + Q_{из.}, \quad (22)$$

На рис. 10 и 11 приведена зависимость изменения процентного содержания составляющих тепловых потерь от частоты вращения коленчатого вала ДС и от давления в цикле.

Тепловые потери в системе ТГУ - нагреватель на экспериментальном стенде определены при следующих значениях параметров процесса: теплотворная способность биогаза в пределах 20÷23 МДж/м³; измеренная на экспериментальном стенде температура продуктов горения $t_{п.г.} = 853 \div 873$ °К; жаропродуктивность метана $t_{max} = 2316$ °К; значение поправочного коэффициента C' , по справочным данным, при температуре продуктов горения

свыше 800 °К составляет - 0,9; значения H'i для метана $CH_4 = 25,152 \text{ МДж/м}^3$; состав продуктов горения по данным газового анализа $CO_2 = 5,5+6,3\%$; $CO = 0,87+1,14\%$; $CO_2 = 10,5+11,8\%$; расчетные значения параметров $\beta = 1,58$; $\beta = 32,3+34,6\%$; $D_{ни} = 4,7+5,4\%$; теплоемкость охлаждающей жидкости (воды) $C_{охл} = 4186 \text{ Дж/кг}$; измеренные значения температуры охлаждающей жидкости на экспериментальном стенде $t_{вх} = 293+295\text{К}$; $t_{вых} = 313+315 \text{ К}$; расход воды $O_v = 0,047 \text{ кг/с}$; наружный диаметр трубы $\delta_{н} = 5\text{мм}$, внутренний диаметр $\delta_{вн} = 3\text{мм}$; средняя длина трубы в одном витке $l_{ср} = 482\text{мм}$. Теплопроводность материала - стали 10X18H9T $\lambda = 99,2 \text{ кДж}$.

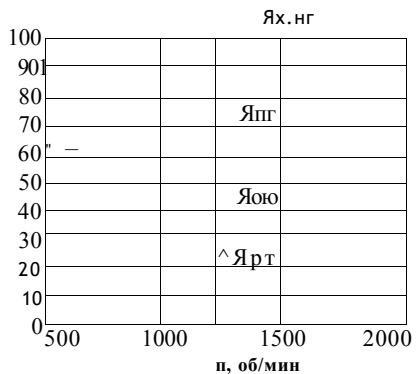


Рис. 10. Изменение процентного содержания составляющих тепловой баланс в зависимости от частоты вращения коленчатого вала.

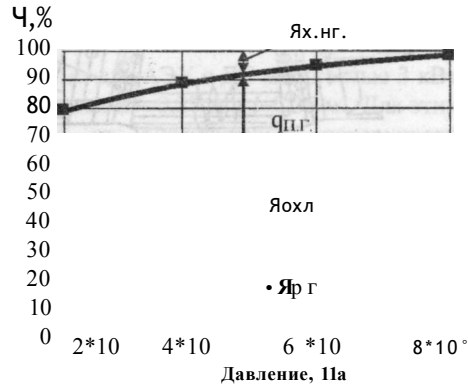


Рис. 11 Изменение процентного содержания составляющих тепловой баланс в зависимости от давления в цикле.

В четвертой главе (Экспериментальное исследование энергетической установки с двигателем Стирлинга а - модификации мощностью 3 кВт) описаны конструктивные особенности разработанного экспериментального стенда с ДС, изложены методы проведения экспериментов, полученные результаты и сравнительный анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Экспериментальный стенд (рис. 12.) включает в себя двш-атель Стирлинга а - модификации 1, электрогенератор 2, бак для аккумуляирования горячей воды 3, водяной радиатор 4, воздушный радиатор (калорифер) 5, водяной насос системы охлаждения 6, воздушный теплообменник для подогрева воздуха и стабилизации температуры в системе питания газовой горелки 7, баллон со сжиженным газом 8, газовый редуктор 9, термостат системы водяного охлаждения энергоблока 10, термостат стабилизации питания газовой горелки 11, термостат подключения системы воздушного охлаждения энергоблока 12, предохранительный клапан 13, вентиль 14, раздача горячей воды потребителю 15.

Стенд также включает систему охлаждения, систему закачки воздуха, систему запуска двигателя, контрольно-измерительную и регистрирующую аппаратуру.

Перед проведением основных экспериментов двигатель подвергался холодной обкатке с целью притирки уплотнительных колец к стенкам цилиндра.

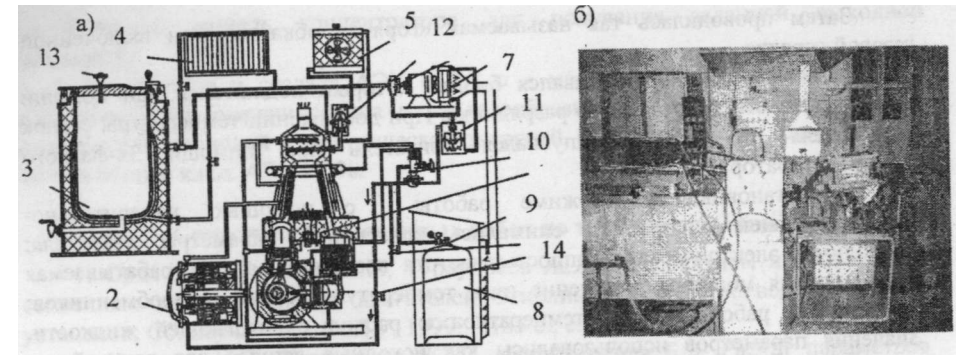


Рис. 12. а), функциональная схема АЭУ с ДС б), экспериментальный стенд АЭУ с ДС.

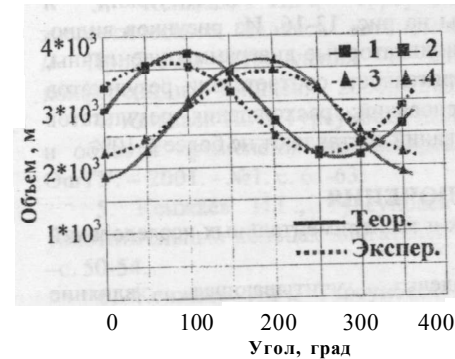


Рис. 13 Изменения объемов по углу поворота коленчатого вала: 1,2 - в горячем; 3,4 - в холодном цилиндрах

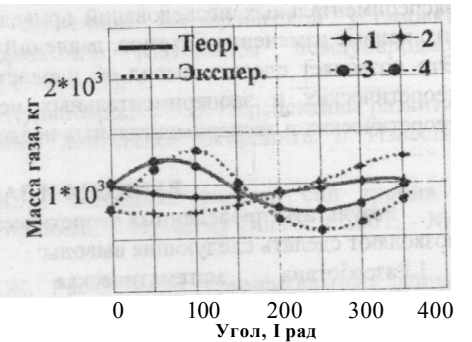


Рис. 14. Изменения массы газа по углу поворота коленчатого вала: 1,2 - в горячем; 3,4 - в холодном цилиндрах.

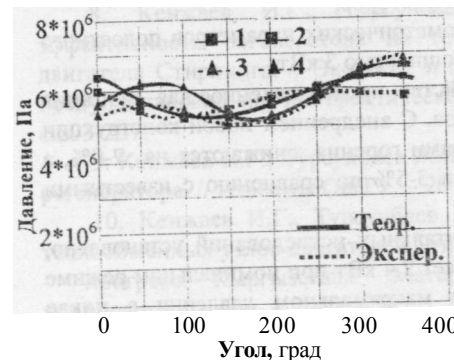


Рис. 15. Изменения давления газа: 1,2 - в горячем; 3,4 - в холодном цилиндрах за цикл.

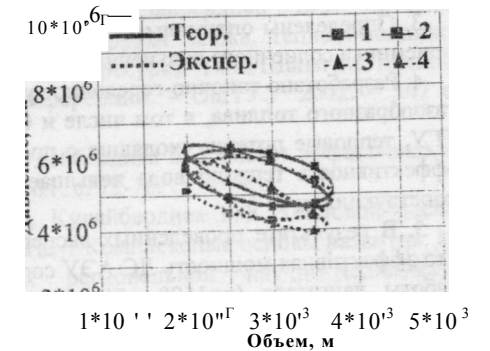


Рис. 16. Индикаторные диаграммы. 1,2 - в горячем; 3,4 - в холодном цилиндрах.

Затем проводилась так называемая «горячая обкатка» при включенной газовой горелке.

К конфоркам ТГУ подавался биогаз, который поджигался при помощи высоковольтного тиротронного разрядника. При достижении температуры стенок нагревателя $823-853$ °К запускался двигатель при помощи 3х-фазного электрогенератора.

В установленном режиме работы с помощью измерительно-регистрирующей аппаратуры снимались следующие параметры двигателя: подводимая электрическая мощность; частота вращения вала; вырабатываемая электрическая мощность; давление газа; температура стенок теплообменников; температура рабочего тела; температура и расход охлаждающей жидкости. Значения параметров использовались, как исходные данные для дальнейших расчетных обработок и получены экспериментальные зависимости параметров стэнда от различных факторов (рис. 13-16).

Результаты сравнительного анализа данных теоретических и экспериментальных исследований приведены на рис. 13-16. Из рисунков видно, что кривые изменения объемов, давлений и индикаторные диаграммы идентичны. Это позволяет сделать вывод об удовлетворительном соответствии результатов теоретических и экспериментальных исследований: расхождения результатов теоретических и экспериментальных исследований составляют не более 6-10%.

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Разработана математическая модель, учитывающая влияние газодинамических сопротивлений в тракте теплообменников и утечки рабочего тела, что позволит более точно определить значения выходных параметров ДС АЭУ;

2. Разработан пакет прикладных программ для реализации математической модели при расчете внутреннего контура ДС АЭУ и получена зависимость выходных параметров ДС АЭУ от различных факторов;

3. Определены оптимальные значения геометрических параметров полостного приемника солнечного излучения ДС АЭУ мощностью 3 кВт;

4. Разработано топочно-горелочное устройство, предназначенное для сжигания газообразного топлива, в том числе и биогаза. С внедрением новой конструкции ТГУ, тепловые потери, уходящие с продуктами горения, снижаются на 7-9%, а эффективность теплоподвода повышается на 3-5% по сравнению с известными конструкциями ТГУ;

5. В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что эффективная мощность ДС АЭУ составляет 2,4 кВт при номинальном режиме работы двигателя ($n=1500$ об/мин) и при максимальном давлении в цикле ($P_{\max}=6,9$ МПа);

6. Разработана математическая модель, позволяющая определить выходную мощность АЭУ в зависимости от плотности прямой солнечной радиации и

необходимую модель концентратора для получения заданной выходной мощности;

7. Разработана и создана АЭУ с ДС а - модификации мощностью 3 кВт, работающая на энергии солнца и на газообразном топливе, для обеспечения потребителя тепловой и электрической энергией, с эффективным к.п.д. двигателя 20%, а общим к.п.д. АЭУ -72%.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Орда Е.П., Кенжаев И.Г., Турсунбаев Ж.Ж. Перспективы использования солнечных гидропоршневых двигателей Стирлинга в качестве водоподъемных установок: Сб. научн. тр. - ОшТУ, 1999. - 185 е., с. 47-51.

2. Кенжаев И.Г., Турсунбаев Ж.Ж., Кудайбердиев Б.Э. Расчет параметров рабочего тела двигателей Стирлинга // Проблемы управления и информатики: Материалы международной конференции. - Бишкек. - 2000. - 505 е., с. 458-464.

3. Кенжаев И.Г., Турсунбаев Ж.Ж., Кудайбердиев Б.Э. Анализ энергетического баланса автономной солнечной энергетической установки. // Проблемы управления и информатики: Материалы международной конференции. - Бишкек. - 2000. - 505 е., с. 454-458.

4. Кенжаев И.Г., Турсунбаев Ж.Ж., Кудайбердиев Б.Э. Перспективы развития и области применения комбинированных двигателей Стирлинга. // Известия ОшТУ. - 2001. - №1. с. 61-63.

5. Кенжаев И.Г., Турсунбаев Ж.Ж. Методика расчета сил трения в уплотнительных кольцах двигателей Стирлинга. // Известия ОшТУ. - 2001. - №1. -с. 50-54.

6. Кенжаев И.Г., Турсунбаев Ж.Ж. Расчетно-экспериментальные данные величин механических потерь узлов трения цилиндропоршневой группы двигателей Стирлинга. // Известия ОшТУ. - 2001. - №2. с.31-35.

7. Турсунбаев Ж.Ж., Кудайбердиев Б.Э. Влияние гидравлических потерь на величину давления в цилиндрах комбинированного двигателя Стирлинга. // Известия ОшТУ. - 2001. - №2. с. 56-59.

8. Кенжаев И.Г., Турсунбаев Ж.Ж., Кудайбердиев Б.Э. Влияние эффективности регенератора на тепловые нагрузки блока теплообменников двигателя Стирлинга. // Экология и природные ресурсы Тянь-Шаня: Материалы Республиканской научно-практической конференции. - ОшТУ., 2002. - 307 е., с.203-207.

9. Кенжаев И.Г., Турсунбаев Ж.Ж., Кудайбердиев Б.Э. Расчет эффективности регенератора. // Известия ОшТУ. - 2003. - №1. с. 72-76.

10. Кенжаев И.Г., Турсунбаев Ж.Ж., Кудайбердиев Б.Э. Тепловой расчет теплообменных узлов двигателей Стирлинга. // Комплексные основы развития КР - прогресс Кыргызстана: Материалы региональной научно-технической конференции. - Ош. - 2002. - 387 е., с. 215-217.

11. Осмонов О.М., Кенжаев И.Г., Турсунбаев Ж.Ж., Кудайбердиев Б.Э. Использование параболического гелиоколлектора в системе

теплоснабжения биогазового реактора. // Научные труды ЮО НАН КР. – 2003. – №3. – 296 с., с. 102-116.

12. Кенжаев И.Г., Турсунбаев Ж.Ж., Кудайбердиев Б.Э. Учет гидравлических потерь при расчете внутреннего контура двигателей Стирлинга α -модификации. // Вестник ОшГУ. – 2003. – №2. с.33-35.

13. Турсунбаев Ж.Ж. Определение утечек рабочего тела через уплотнительные кольца в двигателях Стирлинга. // Известия ВУЗов. – 2004. – №5. с. 9-11.

14. I.G. Kenjaev, A.I. Ismanjanov, J.J. Tursunbaev. Analyze of combustion process of gas fuel in furnace and burning unit of energetic unit with Stirling engine. // Energy considerations in central Asia and Europe: Proceeding of the international conference. - Tashkent. 5-6 November, 2004. – p.181, p.159-163.

РЕЗЮМЕ

Турсунбаев Жанболот Жанышович

Разработка и исследование энергетической установки с двигателем Стирлинга на возобновляемых видах энергии
05.14.08 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии

Ключевые слова: двигатель Стирлинга, автономная солнечная энергетическая установка, солнечная энергия, топочно-горелочное устройство, биогаз.

Диссертационная работа посвящена исследованию, разработке и созданию автономных энергетических установок с двигателем Стирлинга.

Разработаны методики инженерных расчетов по определению степени влияния различных факторов на выходные характеристики энергетической установки.

Разработан и создан экспериментальный образец АЭУ с ДС на возобновляемых видах энергии, для которой разработаны оптимальные конструкции приемника солнечного излучения и ТГУ. Использование в энергетической установке утилизатора теплоты позволило дополнительно выработать тепловую энергию, вследствие чего было достигнуто повышение эффективности установки.

Результаты исследований одобрены программой НАТО «Наука во имя мира».

РЕЗЮМЕ

Турсунбаев Жанболот Жанышович

Кайрадан калыптануучу энергиянын түрлөрү менен иштөөчү Стирлинг кыймылдаткычынын негизинде куралган энергиянын курамын иштеп чыгуу жана аны изилдөө.
05.14.08 Кайрадан калыптануучу энергиянын түрлөрүнүн негизинде куралган энергетикалык курамдар

Негизги сөздөр. Стирлинг кыймылдаткычы, автономдук күн энергиясы менен иштөөчү курамдар, күн энергиясы, от жагуучу курам, биологиялык газ.

Диссертациялык жумуш, Стирлинг кыймылдаткычынын негизинде жасалган автономдук энергетикалык курамды изилдөөгө, иштеп чыгууга жана аны жаратууга арналган.

Энергетикалык курамдардын көрсөткүч мүнөздөмөлөрүнө таасирин тийгизүүчү ар түрдүү факторлордун даражасын аныктоонун инженердик эсеп усулдары иштеп чыгылды.

Теоретикалык изилдөөлөрдүн негизинде, Стирлинг кыймылдаткычы менен биргеликте жасалган энергетикалык курамдын эксперименталдык үлгүсү иштеп чыгылды жана жасалды. Ал жерде от жагуучу курамдын жана ысытуучунун өзгөчө түзүлүштөрү колдонулган.

Энергетикалык курамда, биринчи жолу күйүүчү газдардын жылуулугун кайрадан пайдалануучу от жагуучу курам колдонулган жана анын жардамы менен курамдын эффективдүүлүгүн жогорулатууга жетишилген.

Изилдөөлөрдүн натыйжалары НАТОнун «Илим тынчтык үчүн» аттуу программасы тарабынан макул табылган.

SUMMARY

Tursunbaev Janbolot Janishovich

Development and research of energetic unit with Stirling engine in renewed kinds of energy
05.14.08 – Power devices on the base of renewed kinds of energy

Keywords: Stirling engine, autonomous solar power devices, solar energy, furnace and burning installation, biogas.

The dissertation is devoted to research, development and laying of autonomous power device with Stirling engine.

The methods of engineering calculation on determining of influence of different factors on obtained results of power devices were developed.

On the base of theoretical research, experimental model of power device with Stirling engine in which new constructions of furnace and burning installation and heater was developed and laid.

For the first time utilization of heat of combustion product in power device by the help of which the increase of device efficiency was achieved.

The results of research have been approved by the NATO program titled "Science for peace".



Маразм-Өзмб/
 Өзмб ОшГУ