

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Интенсивное потребление традиционных энергоресурсов приводит к резкому сокращению традиционных запасов, топлива: как уголь, газ, нефть и т.д. С другой стороны потребление углеводородного топлива приводит к серьезным экологическим проблемам. В этой связи поиск новых экологически чистых нетрадиционных технологий использования энергии представляется весьма актуальной и перспективной задачей.

В последние годы все большее внимание привлекают задачи использования солнечной энергии для самых различных нужд, в том числе и в технологических процессах, где требуются температуры с постоянством обеспечения её во времени, в частности для гелиотермообработки бетона, сушки фруктов, древесины и др. материалов, получения гремучего газа, тепло-водоснабжения и т.п.

Как правило, концентраторы применяются в системах, где требуются высокие температуры - в солнечных печах, солнечных электростанциях и т.д. Обеспечение стабильной температуры в фокальной плоскости концентратора при переменных значениях уровня солнечной радиации является весьма сложной технической задачей.

В связи с этим исследования, направленные на разработку солнечной установки с подвижным приемником солнечного излучения и создание системы ее автоматического управления являются весьма актуальными.

Указанное определяет актуальность темы работы, направленной на разработку и исследование гелиоустановок с подвижным приемником.

Связь темы с научными программами. Работа выполнена в рамках НИР на тему: «Исследование технологии и разработка устройства для получения электричества, тепловой энергии, водорода и кислорода с помощью солнечной энергии». Финансировалась Госагенством по науке и интеллектуальной собственности при Правительстве КР.

Целью работы является разработка и создание гелиоустановки с программной АСУ концентратора солнечного излучения (КСИ) и подвижным приемником солнечного излучения (ПСИ), обеспечивающий заданную температуру.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие *основные задачи*:

- Анализ существующих конструкций концентраторов и особенности применения АСУ;
- Разработка конструкции солнечного концентратора в виде параболоида вращения и программы расчета рациональных параметров механизмов ориентации и приемника;
- На основе разработанной программы создание автоматической системы управления концентратором и приемником для обеспечения в нем заданной температуры;
- Исследование устойчивости работы системы слежения и АСУ.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- получена математическая модель устойчивости процессов, связывающих угол, температуру и расстояние от фокуса до нуля с фиксацией перехода из одного устойчивого состояния в другое;
- разработана специальная компьютерная программа «PAPAN» для управления и контроля следящей системы (СС) гелиоустановки;
- разработан подвижный ПСИ КСИ, дающий возможность получать заданную температуру по требованию;
- разработан КСИ для адаптации и обеспечения наперед заданными параметрами температуры;
- разработано электронное устройство сопряжения управляющего компьютера со СС гелиоустановки (ГУ);
- разработано электронное устройство системы слежения ГУ.

Новизна полученных результатов в том числе подтверждена:

- Свидетельством Кыргызской республики об авторстве № 164 на разработанную специальную компьютерную программу «PAPAN» для управления СС КСИ; патентом Кыргызской Республики на изобретение: «Система управления солнечного концентратора» № 1205.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

- разработанная математическая модель позволяет более подробно исследовать устойчивость поддержания температуры в ПСИ;
- разработанный подвижный ПСИ в фокальной оси КСИ гелиоустановки, позволяет поддерживать заданную температуру;
- разработанный КСИ позволяет адаптировать и обеспечить наперед заданный параметр температуры;
- концентратор позволяет поддерживать требуемую плотность солнечного излучения;
- разработанная компьютерная программа «PAPAN» может быть использована для расчета основных конструктивных параметров механизмов ориентации ГУ и ПСИ, а также для их управления;
- предложенные системы управления КСИ и ПСИ могут быть применимы для фотоэлектрических станций (в том числе по патенту №1205);
- разработанные электронные устройства управления являются универсальными и применимы для всех видов ГУ с КСИ.

Основные положения, выносимые на защиту:

- специальная компьютерная программа «PAPAN» для управления и контроля СС гелиоустановки;
- математическая модель устойчивости получения постоянной заданной температуры в ПСИ;
- ПСИ для получения заданной температуры;
- устройство компьютерного управления подвижным ПСИ КСИ;
- механизмы ориентации СС ГУ;
- результаты экспериментального исследования на опытных образцах ГУ с КСИ.

Внедрение. Результаты исследований внедрены: на заводе «Дастан» для использования при производстве концентраторов; в качестве лабораторных работ

на кафедрах «Электроэнергетика», «Общая физика» и «Автоматизированные системы управления» Жалал-Абадского государственного университета.

Личное участие автора в получении научных результатов. Автор является непосредственным исполнителем разработки компьютерной программы «PARAN», проведения экспериментальных исследований и обработки их результатов, создания экспериментальных моделей и принципиальных электрических и электронных систем управления КСИ. Принимал также непосредственное участие в разработке расчетных моделей процесса слежения.

Апробация результатов исследований. Основные положения диссертации доложены на Международных конференциях: «Современное состояние и актуальные проблемы развития энергетики» (г. Ош, 2008); «Региональный семинар по наращиванию потенциала в области финансирования инновационных предприятий, коммерциализации интеллектуальной собственности и развития государственно-частного партнерства» (г. Бишкек, 2009); к 50-летию Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева (г. Красноярск, 2009). Работа доложена на расширенном заседании кафедры «Сети связи и системы коммуникации» Жалал-Абадского государственного университета (г. Жалал-Абад, 2007 г.), на НТС Кыргызского отделения Международной академии энергетики им. А. Эйнштейна (г. Бишкек, 2007), на расширенном и объединенном семинаре кафедры «Энергетика» Ошского государственного университета (г. Ош, 2011), на НТС энергетического факультета Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова (г. Бишкек, 2011).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 16 печатных работах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, содержит 122 страницы машинописного текста, включая 88 рисунков, 10 таблиц, библиографию из 123 наименований и 30 страниц приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулирована тема диссертации, обоснована ее актуальность, обозначены цели работы и направление исследований, а также научная и практическая значимость полученных результатов и описана структура диссертации.

В первой главе рассмотрены основные типы КСИ ГУ, классифицированы существующие типы КСИ по форме и по их опорно-поворотным устройствам. Анализированы конструкции ПСИ гелиоустановок, функциональные и принципиальные схемы системы управления КСИ и структурные схемы АСУ с механизмами ориентации КСИ ГУ, а также, установлены существующие схемы управления механизмами ориентации, режимов работы АСУ КСИ и основные его параметры. Проведенный обзор показал, что в Кыргызской республике не нашли широкого применения ГУ с КСИ и тем более с программным компьютерным управлением СС. Системы слежения гелиоустановок, являются либо дорогостоящими и энергоемкими, требующими при эксплуатации подвода

электрической энергии, либо имеют невысокое быстродействие и точность при использовании энергии солнечного излучения (СИ) и являются достаточно сложными.

В заключении главы сформулированы цели и задачи работы.

Во второй главе, на основе анализа конструкций КСИ и систем управления ГУ, разработана функциональная схема системы управления КСИ (рис.1).

Данная функциональная схема (рис.1) показывает управление ГУ в двух режимах: автономного управления и управления с помощью компьютера. В автономном режиме ГУ управляется устройством слежения, который по сигналам датчиков ориентации и ПСИ формирует команду для исполнительного устройства. Исполнительное устройство по команде задействует электроприводы азимутального, зенитального вращения и приемника ГУ.

В режиме управления ГУ компьютер, получая данные через устройство сопряжения, управляет СС ГУ и механизмом подвижного ПСИ. Устройство сопряжения компьютера функционально связано с устройством слежения и исполнительным устройством.

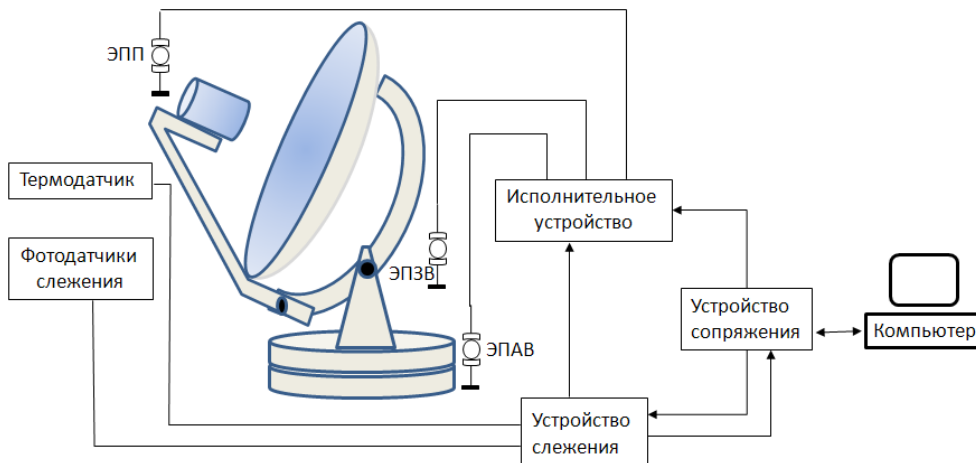


Рис.1. Функциональная схема системы управления ГУ

Положение ПСИ в фокусе изменяется с помощью механизма электропривода подвижного приемника, при движении которого меняется температурное значение ПСИ. Компьютер постоянно получает поток данных от устройства слежения. С помощью компьютера команду управления можно передавать через устройство сопряжения КСИ (входное устройство). Построена замкнутая система устройства управления ГУ с обратной связью и представлено в структурной форме (рис.2), где используются следующие обозначения сигналов:

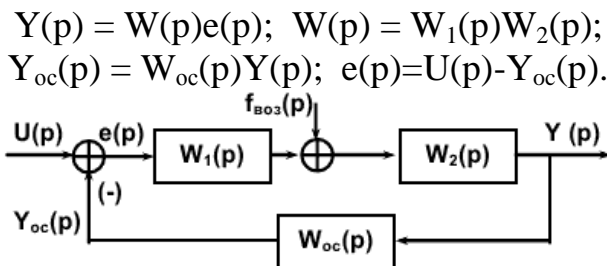


Рис. 2. Замкнутая система устройства управления ГУ с обратной связью

Выражение выходного сигнала состояния системы через входной сигнал управления:

$$Y(p) = W(p)(U(p) - W_{oc}(p)Y(p));$$

$$Y(p)(1 \pm W(p)W_{oc}(p)) = W(p)U(p).$$

Математическая модель системы электроприводов ГУ основывается на дифференциальных уравнениях двигателя постоянного тока с независимым возбуждением и с общеизвестными принятыми допущениями:

$$\beta T_M \frac{d\Delta\varpi_{\partial\delta}}{dt} = \Delta M - \Delta M_v; \quad (1)$$

$$T_r \frac{d\Delta M}{dt} = k_r \beta \Delta U_{\pi} - \frac{k_r \beta}{k_c} \Delta\varpi - \Delta M.$$

Допуская, что управляемый преобразователь напряжения и регулятор скорости безинерционны и представляют собой пропорциональные звенья, уравнения управляющих воздействий для управляемого преобразователя напряжения и регулятора скорости в приращениях запишутся следующим образом:

$$\Delta U_{v\Pi} = k_{\Pi} \Delta U_{PC};$$

$$\Delta U_{PC} = \Delta U_{PII} - k_{oc} \Delta\varpi_{\partial\delta}.$$

где k_{Π} – коэффициент передачи управляемого преобразователя; k_{oc} – коэффициент обратной связи. Тогда дифференциальное уравнение, описывающее регулятор положения, можно представить в виде:

$$T_0 \frac{d\Delta U_{PII}}{dt} = (k_{k1} + 1) \Delta U_B = k_B (k_{k1} + 1) \Delta\Theta_{\partial\partial} - \Delta\Theta_{HB}, \quad (2)$$

где Θ – угол поворота вала двигателя, а соответственно $\frac{d\Theta_{HB}}{dt} = \Delta\varpi_{HB}$, то уравнение (1) запишется в виде

$$T_0 \frac{d\Delta U_{PII}}{dt} = -k_B T_{k1} \Delta\varpi_{HB} + k_B \Theta_{\partial\partial} - k_B \Delta\Theta_{HB} \quad (3)$$

С учетом выше представленных выражений, математическую модель следящей системы ГУ можно записать следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Delta\varpi_{\partial\delta}}{dt} &= \frac{1}{\beta T_M} \Delta M - \frac{1}{\beta T_M} \Delta M_v; \\ \frac{d\Delta M}{dt} &= \frac{k_c \beta}{T_r} \Delta U_{v\Pi} - \frac{\beta}{T_r} \Delta\varpi_{\partial\delta} - \frac{1}{T_r} \Delta M; \\ \Delta U_{v\Pi} &= k_{\Pi} (\Delta U_{PII} - k_{oc} \Delta\varpi_{\partial\delta}); \\ T_0 \frac{d\Delta U_{PII}}{dt} &= k_B \Theta_{\partial\partial} - k_B T_{k1} \Delta\varpi_{HB} - k_B \Delta\Theta_{HB}; \\ \frac{d\Delta\Theta_{HB}}{dt} &= \Delta\varpi_{HB}; \\ \frac{d\Delta\varpi_{HB}}{dt} &= \frac{1}{T_{HB}} (\Delta M_v + \Delta M_B) - \frac{\beta_{TPB}}{T_{HB}} \Delta\varpi_{HB}; \\ \frac{d\Delta M_v}{dt} &= C_{KI} q(a) \Delta M_B; \\ \frac{d\Delta U_0}{dt} &= \frac{T_0}{\beta T_M} \Delta M - \left(\frac{T_0}{\beta T_M} + \frac{T_0}{T_{HB}} \right) \Delta M_v - \frac{T_0}{T_{HB}} \Delta M_B - \left(\frac{T_0 \beta_{TPB}}{T_{HB}} + 1 \right) \Delta\varpi_{HB} + \Delta\varpi_{\partial\delta}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Основным показателем устойчивости работы системы является стабильная заданная температура. Если этот показатель будет устойчив, то это означает, что вся система ГУ работает в заданном режиме. Поэтому появляется необходимость проверки устойчивости получения заданной температуры в ПСИ КСИ. Для проверки применили классический метод устойчивости А. М. Ляпунова, по которому рассчитали зависимость температуры от угла раскрытия КСИ гелиоустановки, расстояния от фокуса до нулевой точки. Методикой определения устойчивости является алгоритм, при котором основной двумерный массив экспериментальных данных исследуется движущимся двумерным калибровочным массивом (динамическая модель), фиксирующим динамику переходного процесса такого, как изменение угла раскрытия КСИ в зависимости от заданного значения температуры. Для определения коэффициентов уравнений динамической системы, учитывая зависимость по времени связи полученных экспериментальных данных, произведем разложение аппроксимированных сплайном функций в ряд Макларена при нулевых значениях. Первая функция указанных параметров исследуемого физического процесса будет выглядеть следующим образом:

$$F(u, v) = \sqrt{u^2 + v^2}, \quad (5)$$

где u, v - соответственно температура и расстояние от фокуса до нулевой точки, зарегистрированные измерительной аппаратурой.

Ее производные по направлениям:

$$\frac{d}{du} F(u, v) \rightarrow \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}}; \quad \frac{d}{dv} F(u, v) \rightarrow \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2}}. \quad (6)$$

Вторая функция горизонтальных и указанных параметров примет вид:

$$\Phi(u, v) = a \tan\left(\frac{v}{u}\right) \quad (7)$$

или то же, что $\text{tg}(v/u)$

$$\frac{d}{du} \Phi(u, v) \rightarrow -\frac{v}{u^2 \cdot \left(\frac{v^2}{u^2} + 1\right)} \quad \frac{d}{dv} \Phi(u, v) \rightarrow -\frac{v}{u \cdot \left(\frac{v^2}{u^2} + 1\right)}$$

Тогда матрица коэффициентов характеристического уравнения запишется в виде:

$$\begin{pmatrix} \frac{d}{du} F(u, v) & \frac{d}{dv} F(u, v) \\ \frac{d}{du} \Phi(u, v) & \frac{d}{dv} \Phi(u, v) \end{pmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} & \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2}} \\ -\frac{v}{u^2 \cdot \left(\frac{v^2}{u^2} + 1\right)} & -\frac{1}{u \cdot \left(\frac{v^2}{u^2} + 1\right)} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Детерминант выглядит следующим образом:

$$L(x1, x2) = \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} \cdot \frac{1}{u \cdot \left(\frac{v^2}{u^2} + 1\right)} - \left[-\frac{v}{u^2 \cdot \left(\frac{v^2}{u^2} + 1\right)} \right] \cdot \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (9)$$

$$L(x1, x2) = \frac{u^2 + v^2}{2} \quad (10)$$

Для проверки стабильности поддерживаемого значения температуры после получения экспериментальных данных необходимо исследовать устойчивость процесса по вышеприведенной методике.

Разработанные принципиальные электрические схемы устройств сопряжения и ориентации приведены на рис.3,4.

Для исследования схемы системы ориентации были использованы высокочувствительные фотодиоды типа FG2 (AAR602). Для поисковых датчиков зенитального направления значения углов захвата вполне достаточны для восстановления процесса точного наведения КСИ на Солнце в случаях потери реальных координат Солнца.

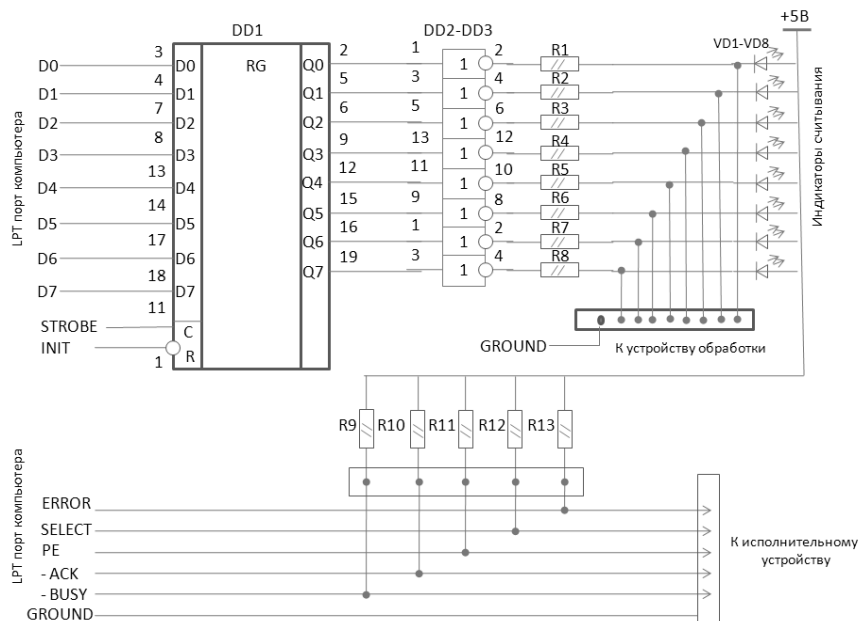


Рис.3. Принципиальная электрическая схема устройства сопряжения компьютера

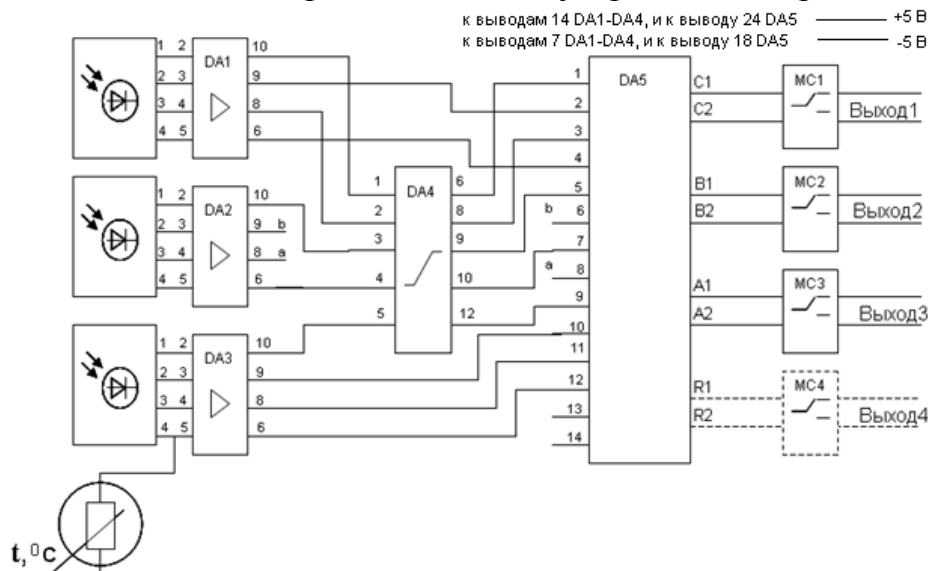


Рис.4. Общая принципиальная электрическая схема системы для ориентации КСИ на Солнце

В третьей главе разработаны методика расчета конструкции КСИ для адаптации и обеспечения наперед заданными параметрами температуры и ее конструкция; методика расчета и конструкция механизма движения ПСИ АСУ; принципиальные электрические схемы устройства АСУ КСИ и устройства

слежения; устройства сопряжения и системы управления ГУ с КСИ; специальная компьютерная программа «PAPAN», которая содержит 5 независимых блоков; конструкция механизма перемещения ПСИ и механизмы азимутального и зенитального вращения.

Для упрощения изготовления КСИ поверхность параболоида вращения заменили на составные его элементы (рис. 5). В расчетах использовали проекцию поверхности на плоскость, перпендикулярную оси параболы. Там отражающая площадь СИ уменьшается за счет соединения элементарных площадок 1 2 3...,N. Обозначим ширину неэффективной части площадок Δ , мм.

Площадь по меридиану: $S_{m1} = \Delta(y_A - y_B)$

Если деление по меридиану m , то

$$S_m = m\Delta(y_A - y_B) \quad (11)$$

Площадь по кольцам

$$S_{k1} = (\Delta\varphi y_1) \Delta + (\Delta\varphi y_2) \Delta + \dots + (\Delta\varphi y_k) \Delta,$$

где $\Delta\varphi$ - угол деления в ряд; k - число окружных делений; $y_1, y_2, y_3, \dots, y_k$ - координаты окружных делений $S_{k1} = \Delta\varphi \cdot \Delta(y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_k)$, (12)

Эффективная площадь КСИ определится как

$$S_{эф} = S - S_m - S_k = \pi(y_A^2 - y_B^2) - m \cdot \Delta(y_A - y_B) - k \cdot \Delta\varphi \cdot \Delta(y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_k). \quad (13)$$

Разделив отражающие панели КСИ на основные части, можно показать углы отражения потока лучей. В нашем случае мы разделили КСИ на два участка - правый и левый, и, в связи с симметричностью обоих участков, взяли для расчетов правую часть. Ко всем углам потока отражающих от зеркальной поверхности правой панели лучей применима формула

$$\alpha_n = \int_{s=1}^{m_n} \Delta\alpha_s. \quad (14)$$

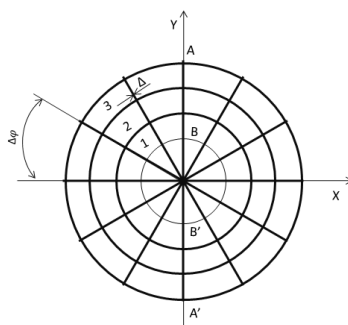


Рис. 5. Разделение отражающей площади на сектора

Опираясь на вышесказанное, можно определить фокусное расстояние концентратора. Рассчитаем максимальный вылет F подвижного ПСИ в фокусе (рис.6). Из $\triangle OAB$ определим: $OB = F$. Отсюда $A/F = \cos\alpha$, следовательно, $F = A/\cos\alpha$. Согласно выше сказанному, произведем расчет параметров КСИ.

Так, мы приняли $R = 800$ мм. В $\triangle AFC$ углы $\beta = \alpha = 27^\circ$ и $\gamma = \alpha = 27^\circ$, т.е.

$$\beta = \gamma; F = R \frac{1 - \tan^2 \alpha}{2}$$

Подставив соответствующие значения в данную формулу вычислили $F = 696$ мм. Рассчитаем максимальный вылет подвижного ПСИ в фокусе F . Из $\triangle OAB$ определим: $OB = F$. Отсюда $A/F = \cos\alpha$, следовательно, $F = A/\cos 70^\circ = 25/0,342 =$

700 мм. Так, как расчет по обеим методикам дает приблизительно одинаковые результаты, примем фокусное расстояние 700 мм. Геометрические размеры КСИ задаются размером раскрытия зеркал концентратора D и углом раскрытия θ_m или фокусным расстоянием F , а также углом раскрытия θ_m (или F и D). Между этими величинами для зеркал параболического профиля существует следующая связь (рис.7).

$$F = D \frac{1 + \cos \theta_m}{4 \sin \theta_m}. \quad (15)$$

где D -размер раскрыва концентратора, мм; θ_m - угол полураскрыва параболического зеркала.

Размер сечения фокальной области, где концентрируется основная часть солнечной энергии, определяется как $d_a = 2F \tan \alpha / 2$, где $\alpha = 32'$ - видимый угловой диаметр Солнца. Распределение плотности концентрированного потока E_A на ПСИ произвольной формы можно определить из уравнения (15),

$$E_A = \vec{q}_A \cdot \vec{n}_A \quad (16)$$

где \vec{q}_A - распределение лучистого вектора по поверхности ПСИ:

$$\vec{q}_A = \int_{\omega} f d\vec{\omega}, \quad (17)$$

где f —распределение яркости в отраженном от зеркала пучке; $d\vec{\omega}$ — элементарный вектор телесного угла. Для идеального концентратора оно совпадает с распределением яркости по Жозе:

$$f = 1,23 \frac{G_0}{\pi \alpha^2} \cdot \frac{1 + 1,5641 \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \varphi}{\sin^2 (\alpha/2)}}}{2,5641},$$

где G_0 — плотность солнечного потока; φ - угол между осью отраженного пучка и вектором РА.

В уравнении (16) \vec{n}_A - единичный вектор нормали к поверхности ПСИ в рассматриваемой точке. Для плоского ПСИ:

$$\vec{n}_A \{0, 1, 1\}, \quad (18)$$

для цилиндрического ПСИ:

$$\vec{n}_A \{\sin \beta, 0, \cos \beta\}, \quad (19)$$

$$x = r \sin \beta + a, \quad y, \quad z = r \cos \beta + b, \quad (20)$$

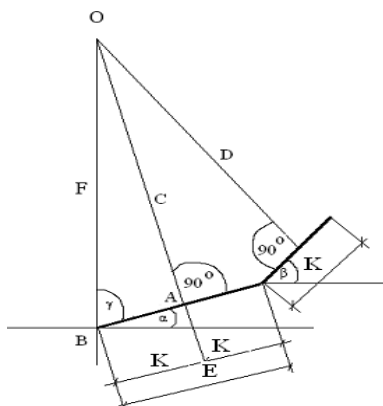


Рис.6. Расчетная схема КСИ для адаптации и обеспечения наперед заданными параметрами температуры; F — фокусное расстояние, α -максимальный угол

разворота внутренней зеркальной панели, β - максимальный угол разворота внешней зеркальной панели

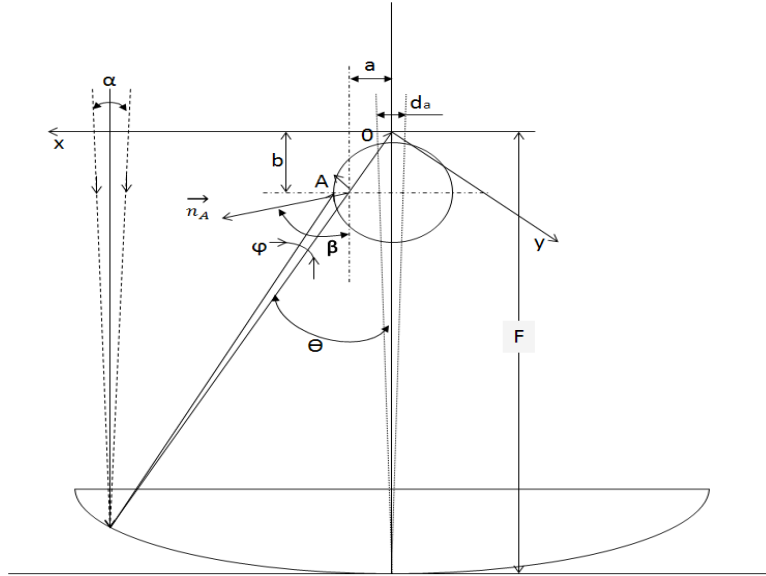


Рис. 7. Схема отражения лучей КСИ.

Эффективность КСИ выражается через КПД, который определяется как отношение производимой полезной энергии и полной солнечной энергии, принятой концентратором:

$$\eta = \frac{Q_U}{G_0 S_a}, \quad (22)$$

где Q_u — полезная энергия; G_0 - плотность потока прямой солнечной радиации; S_a — площадь незатененной апертуры КСИ. Как видно из рис.8, величина $\Delta\theta$ зависит как от угла раскрытия зеркала, так и от радиуса ПСИ.

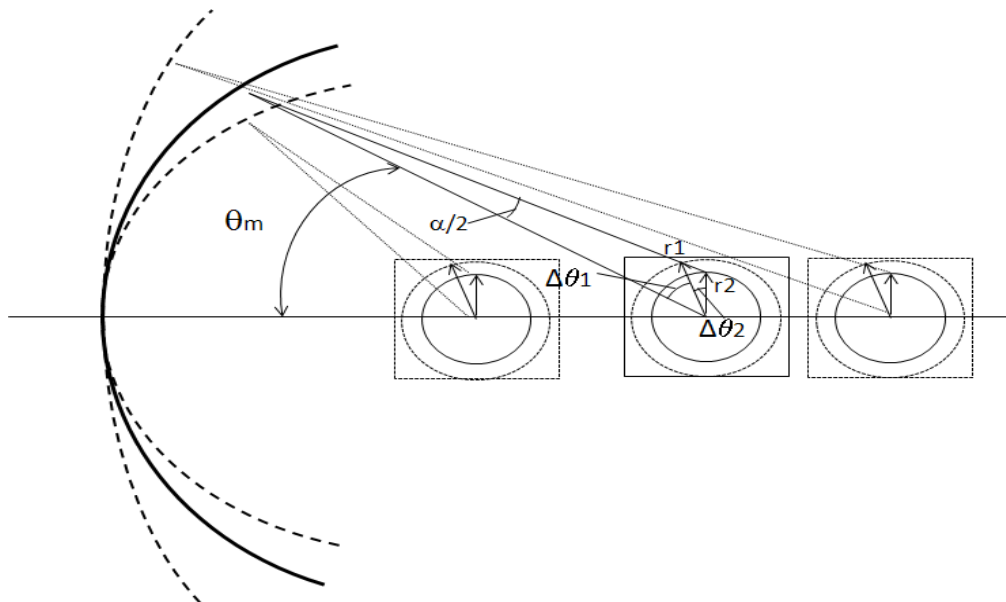


Рис. 8. К формулам 19 и 22

Разработанная компьютерная программа «PAPAN» написана в среде объектно-ориентированных языков программирования и основывается на уравнениях (6)–(17). Здесь приводится краткое описание 2-х основных разделов программы из 5. В первом для определения значений оптических параметров КСИ, задаются: размеры

раскрыва КСИ, угол раскрыва, оптический коэффициент рефлектора, геометрические размеры теплоприемника и плотность потока солнечной радиации, падающего нормально к плоскости раскрывания. Во втором рассчитываются значения энергетических характеристик приемника, расположенного вдоль линии фокуса КСИ. В расчете участвуют данные, значения которых получены в первом блоке: коэффициент концентрации, диаметр фокального пятна, плотность потока солнечной радиации в фокусе и в целом оптический КПД КСИ.

В случае автономной ориентации и самоконтроля ГУ с КСИ, а также при необходимости автоматизированного точного установления позиции ПСИ на фокальной оси КСИ необходимо устройство автоматизированного управления и контроля механизма движения ПСИ (рис.9-10). С помощью устройства сопряжения механизм движения приемника можно подключить к СС КСИ, полностью контролируемого компьютером.

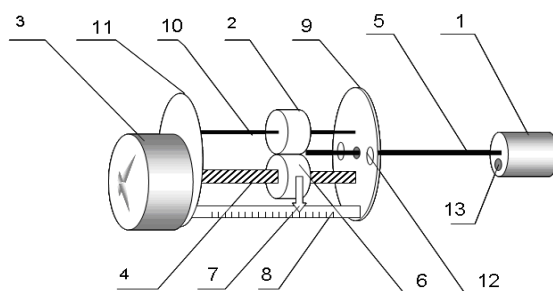


Рис. 9. Механизм движения приемника КСИ: 1- ПСИ; 2-опорная втулка; 3- электродвигатель; 4- шаговая штанга; 5-штанга приемника; 6-несущая втулка; 7-указатель шкалы; 8-шкала позиции ПСИ; 9 - крепежный диск; 10-штанга опорной втулки; 11- крепежный элемент двигателя; 12- отверстие для крепления фокусных штанг; 13-отверстие для подключения потребителя.

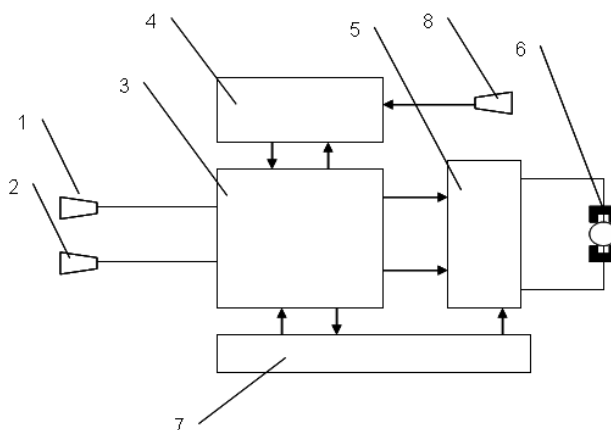


Рис. 10. Схема устройства автоматизированного управления и контроля механизма движения приемника: 1- датчики реагирования на температуру; 2-датчики реагирования на интенсивность света; 3- устройство управления и контроля; 4- устройство сравнения и установки позиции; 5- исполнительное устройство; 6- двигатель с редуктором механизма движения приемника; 7- устройство сопряжения с компьютером; 8- датчик позиции приемника.

На основе теоретических расчетов установлены: допустимые углы отклонения оптической оси системы КСИ-ПСИ $\beta_d \approx 8-9^\circ$ (для обычных $\beta_d \approx 2^\circ$) и $\Delta\alpha = 4,5^\circ$, что

вполне может соответствовать условиям ориентации КСИ в нашем случае; при точном выборе величины $d_{\text{ПСИ}}$, площадь КСИ затеняется ПСИ незначительно. При этом коэффициент использования площади КСИ достигает своего максимального ($\mu=0,9392$), а коэффициент затенения - минимального ($v_{\text{мин}}=0,0305$) значений. В результате этого потеря мощности ГУ из-за затенения сводится к минимуму. В случае неприменения следящего устройства, от изменения угла падения солнечных лучей μ и v меняются в весьма широких пределах ($\mu=0,14-0,9392$; $v=0,0305-0,88$), что может привести к потере мощности ГУ.

Четвертая глава посвящена лабораторным и натурным исследованиям.

Для проведения натурного исследования и отработки управления, а также для отладки компьютерной программы были изготовлены лабораторный образец ГУ с КСИ в форме параболоида (рис.11) и на его основе опытный образец ГУ для адаптации и обеспечения наперед заданными параметрами температуры (рис. 12)



Рис. 11. Лабораторная модель КСИ ГУ с СС



Рис.12. Концентратор солнечного излучения для адаптации и обеспечения наперед заданными параметрами температуры

На основе структурной схемы лабораторной ГУ с КСИ (рис.13) отработывалась разработанная система управления и отладка компьютерной программы, а также

получение заданной температуры с целью оптимизации их параметров. Для этого был изготовлен подвижный ПСИ, изменяющий свое положение вдоль фокальной оси КСИ (рис. 14).

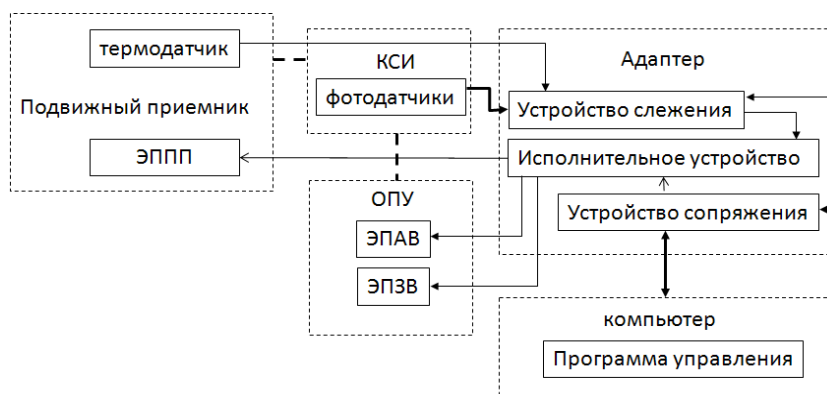


Рис.13. Структурная схема ГУ с программным управлением

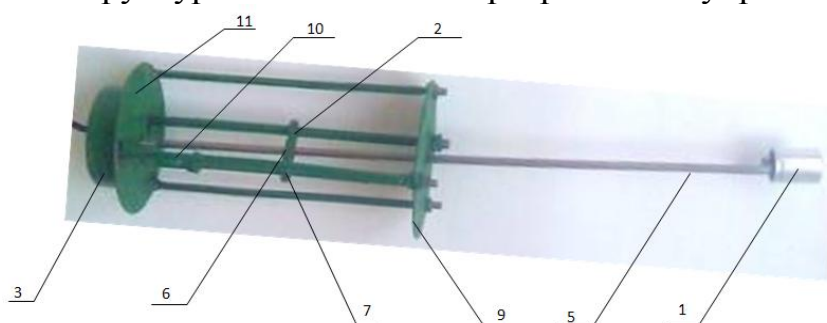


Рис. 14. Общий вид механизма ПСИ КСИ.

Эксперименты по замеру температур на лабораторном образце проводились в 2007 г. ежедневно. Результаты измерений максимальной температуры в фокусе КСИ и подвижном приемнике в течение 9 месяцев приведены на рис. 15.

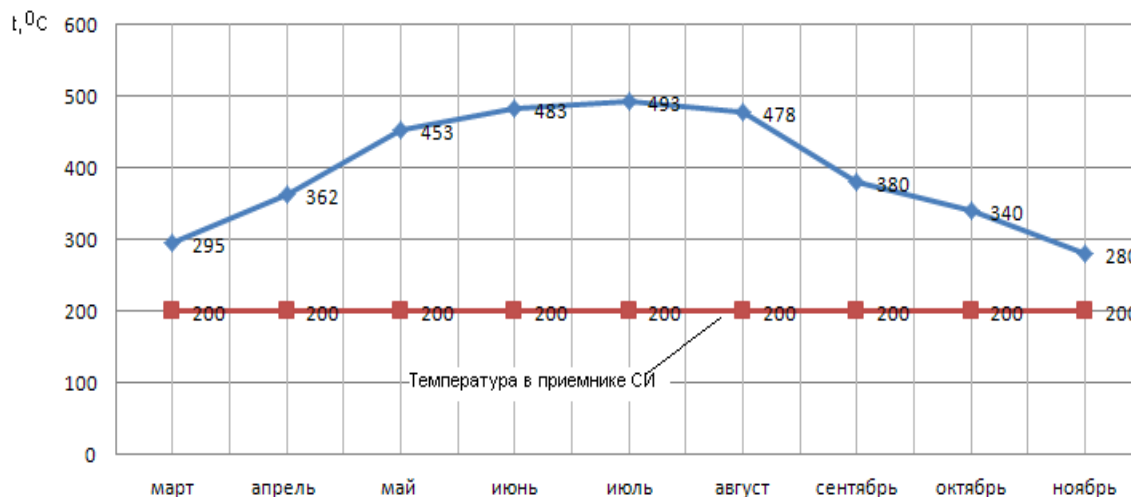


Рис. 15. График изменения максимальной температуры в фокусе КСИ и подвижном теплоприемнике в течение 9 месяцев года.

Анализ графика показал, что максимальная температура в фокусе КСИ составила 493°C в середине июля, а требуемое заданное значение температуры в подвижном приемнике составляло $\sim 200^{\circ}\text{C}$. Но с увеличением значения требуемой заданной температуры время ее поддержания несколько уменьшается. Показано, что в течение 9 месяцев в условиях юга республики подвижный приемник может

уверенно поддерживать заданную температуру в диапазоне 20... 250 °С, начиная с марта и по декабрь месяцы. Например, заданную температуру в 200 °С можно поддерживать с апреля по июль на протяжении 11-13 часов в течение солнечного дня, то есть больше нормированного рабочего времени на производстве (8 часов).

Конструкция КСИ для адаптации и обеспечения наперед заданными параметрами температуры (рис.12) увеличивает степень концентрации солнечного излучения, изменяя форму концентрирующей части, что эффективней обычного концентратора. Как и в предыдущем случае, он снабжен подвижным ПСИ. Механизм СС был изготовлен аналогично лабораторной модели КСИ. Были проведены эксперименты по установлению температурных параметров КСИ. Эксперименты проводились ежедневно в течение всего 2008 г. Графики изменения температуры приведены ниже. На графике рис. 16 показаны результаты измерений максимальных температур в фокусе и подвижном приемнике КСИ за 9 месяцев. Из анализа графика видно, что максимальная температура в фокусе КСИ составляла в среднем 514 °С и приходилась на середину июля, а заданное значение температуры было почти стабильным и составляло 200 °С в подвижном ПСИ, и оно может поддерживаться с марта месяца до начала декабря. На графике (рис. 17) показаны месторасположения ПСИ от начала фокальной оси в зависимости от времени суток.

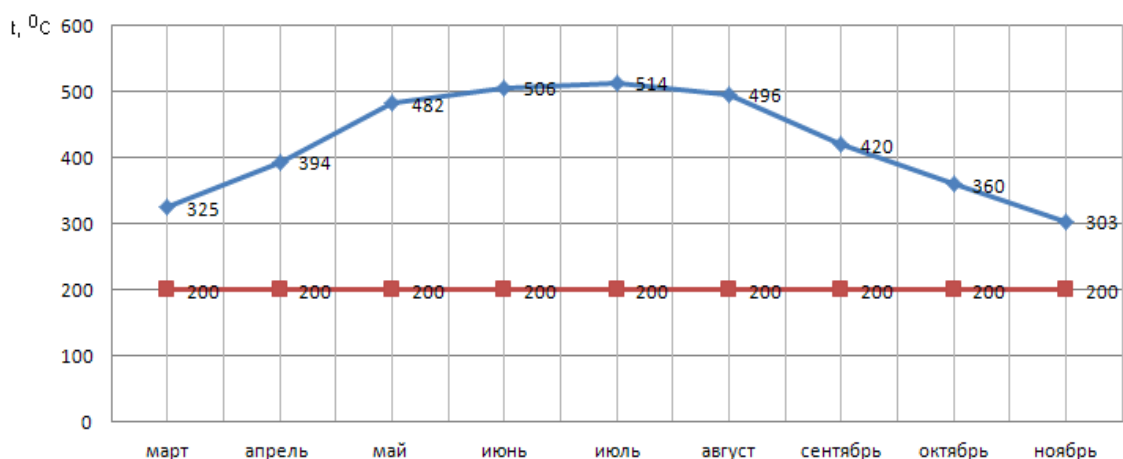


Рис. 16. График изменений максимальных температур в фокусе КСИ и подвижного ПСИ в течение 9 месяцев.

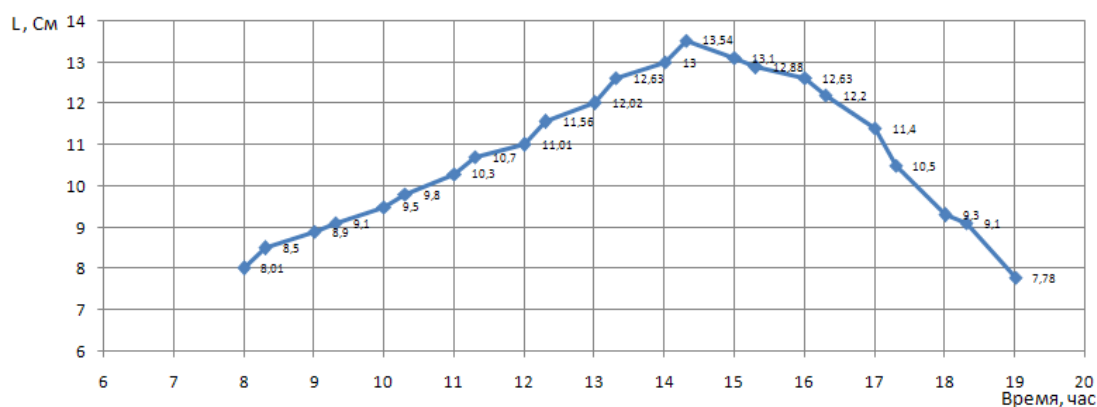


Рис. 17. График месторасположения приемника в фокальной плоскости в зависимости от времени суток для поддержания постоянной температуры 200 °С.

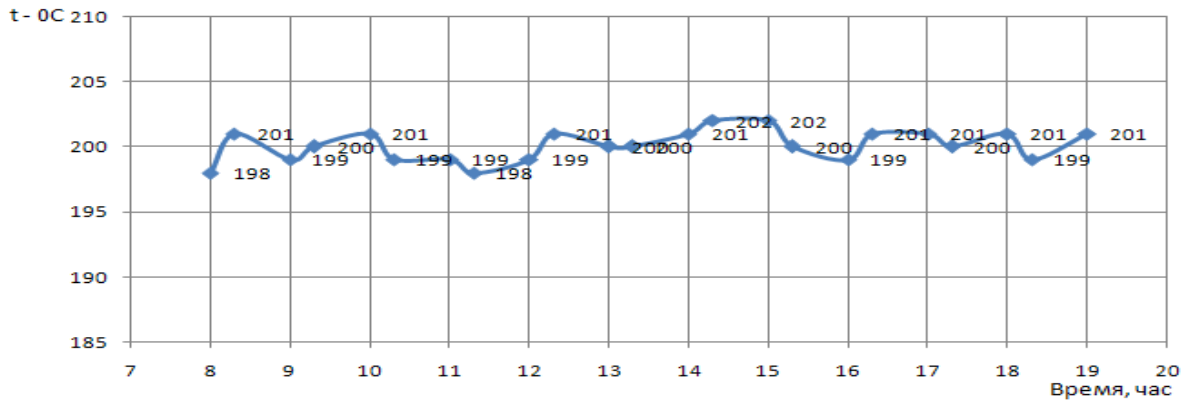


Рис. 18. График колебаний температуры в подвижном приемнике гелиоустановки

На рис.18 приведен график колебаний температуры в приемнике, возникающих под влиянием температуры окружающей среды, и погрешностей механизма движения и устройства слежения. Колебания температур не превышали в среднем $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$, что вполне допустимо для наших целей.



Рис. 19. Устройство управления ГУ. а) - общий вид устройства; б) - устройство слежения и устройства сопряжения; в) - исполнительное устройство СС ГУ с КСИ

Подставляя аппроксимированные функции U, V экспериментальных данных по ортогональным направлениям, получаем значение детерминанта при нулевых значениях функций:

$$L(x_1, x_2) = \frac{\text{fit}1(x_1)}{\sqrt{\text{fit}1(x_1) \cdot \text{fit}1(x_1) + \text{fit}2(x_2) \cdot \text{fit}2(x_2)}} \cdot \frac{1}{\text{fit}1(x_1) \cdot \left(\frac{\text{fit}1(x_2)^2}{\text{fit}1(x_1)^2} + 1 \right)} - \left[- \frac{\text{fit}2(x_2)}{\text{fit}1(x_1)^2 \cdot \left(\frac{\text{fit}2(x_2)^2}{\text{fit}1(x_1)^2} + 1 \right)} \right] \cdot \frac{\text{fit}2(x_2)}{\sqrt{\text{fit}1(x_1) \cdot \text{fit}1(x_1) + \text{fit}2(x_2) \cdot \text{fit}2(x_2)}}$$

$\text{fit}1(x_1), \text{fit}2(x_2)$ – аппроксимированные функции экспериментальных данных по осям координат.

Коэффициенты первого уравнения имеют вид:

$$\mu_{1, x_2} = \frac{\text{fit}1(x_1)}{\sqrt{\text{fit}1(x_1) \cdot \text{fit}1(x_1) + \text{fit}2(x_2) \cdot \text{fit}2(x_2)}} + \frac{\text{fit}2(x_2)}{\sqrt{\text{fit}1(x_1) \cdot \text{fit}1(x_1) + \text{fit}2(x_2) \cdot \text{fit}2(x_2)}},$$

$$\mu_{1, x_2} = \frac{\text{fit}1(x_1) + \text{fit}2(x_2)}{\sqrt{\text{fit}1(x_1)^2 + \text{fit}2(x_2)^2}},$$

где μ и L – коэффициенты характеристического уравнения, расстояние $(x_1, x_2) = 1,051$ – рассчитан на ЭВМ.

Запишем характеристическое уравнение:

$$w^2 - 1,051w + 5,971 \cdot 10^{-3} = 0 \quad (23)$$

Приведенная формула (23) есть качественная модель исследуемого процесса, здесь w - переменная характеристического уравнения, которая определяет функцию особой точки фазового портрета, а следовательно, и уровень устойчивости исследуемого объекта или процесса. Качественный метод решения этой системы позволил определить высокий уровень устойчивости исследуемого процесса, характеризуемого указанными выше параметрами. Особая точка фазового портрета - «устойчивый фокус» говорит об устойчивости протекающего процесса на фиксируемом диапазоне значений угла раскрытия КСИ.

Фиксируемый переход одной особой точки в другую отражается изменением табличных данных решений системы дифференциальных уравнений динамической системы, значениями управляющих параметров и визуально – графически (рис.20).

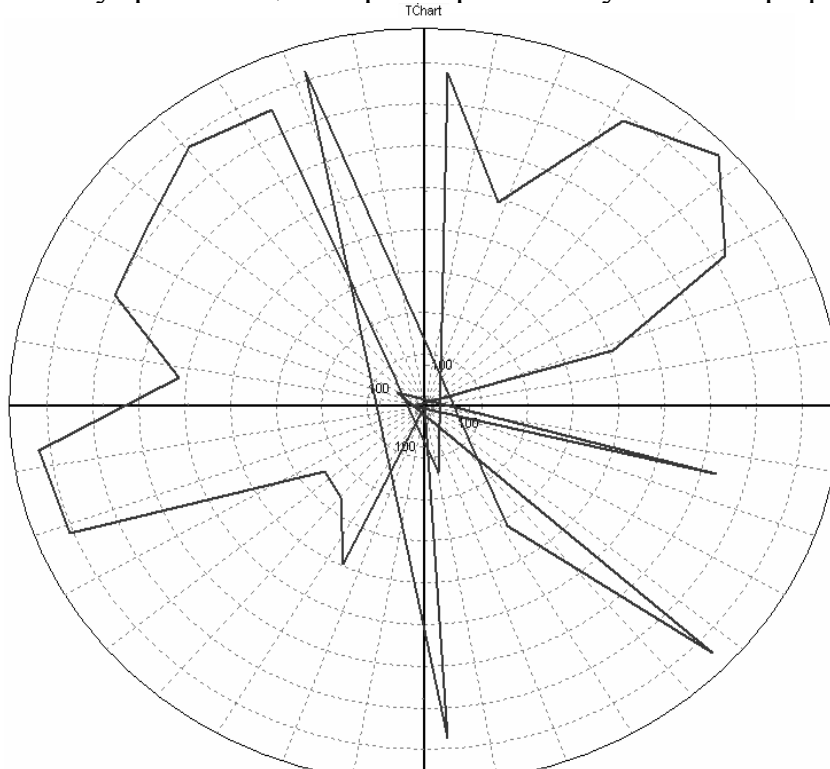


Рис. 20. График «особой» точки, определяющей устойчивость решения динамической системы дифференциальных уравнений в полярных координатах

Взаимозависимость температуры $S(x)=t$ и радиуса $S1(x)=F$ угла раскрытия КСИ приведена на рис.21.

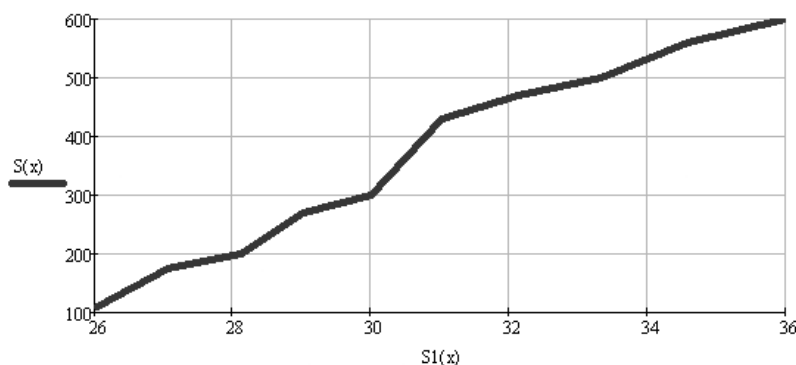


Рис. 21.

Можно констатировать, что, используя подвижный ПСИ, меняющий свое положение на фокальной оси КСИ, можно добиться постоянной температуры в определенных пределах независимо от положения Солнца, т.е. от восхода до заката.

Основные выводы

Основные выводы и заключения, сделанные по результатам диссертационной работы, можно сформулировать следующим образом:

1. Эксперименты и полученная на их основе математическая модель $w^2 - 1,051w + 5,971 \cdot 10^{-3} = 0$ показали устойчивость процессов, связывающих угол, температуру и расстояние от фокуса до нуля с фиксацией перехода из одного устойчивого состояния в другое.

2. Разработанная компьютерная программа «PAPAN» позволяет контролировать точную навигацию с шагом от 4^0 до 6^0 в минуту и параметры получаемой солнечной энергии: температуру в зависимости от положения подвижного фокуса; уровень солнечной радиации; время нагрева ПСИ гелиоустановки. На данную программу получено Свидетельство Кыргызской республики об авторстве № 164.

3. Разработанный КСИ для адаптации и обеспечения наперед заданными параметрами температуры, имеет: по углу раскрытия $\alpha = 27^0$, фокусное расстояние 700 мм; минимальное расстояние ПСИ в фокальной плоскости при получении заданной температуры в 200^0C составляет 71,8 мм в ноябре месяце и максимальное -135,4 мм в июле месяце. Максимальная температура в ПСИ составила в июле месяце 514^0C .

4. Опытный образец гелиоустановки с АСУ и неизменяемым геометрическим параметром КСИ, обеспечивает в течение 9 месяцев с марта по ноябрь температуру на ПСИ в следующих пределах: до 400^0C в течении -4 часов; до 300^0C -6 часов; до 200^0C -11 часов.

5. Опытный образец гелиоустановки с АСУ и с КСИ для адаптации и обеспечения наперед заданными параметрами температуры, обеспечивает в течение 9 месяцев с марта по ноябрь месяцы температуру на ПСИ в следующих пределах: до 400^0C -6 часов; до 300^0C -9 часов; до 200^0C -11 часов.

6. Разработанные КСИ с программным управлением обладают наиболее точной навигацией и, следовательно, большей эффективностью по сравнению с традиционными стационарными КСИ. Получение точного дозированного количества энергии с помощью программного управления КСИ дает возможность использовать их в различных областях производства, где требуется та или иная температура для тех или иных технологических циклов.

7. Низкая стоимость разработанных КСИ позволит в нынешних социально-экономических условиях, в определенной степени, решить проблему энерго- и теплоснабжения.

8. На систему управления солнечного концентратора получен патент Кыргызской Республики на изобретение за № 1205.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации

1. Акматов А.К., Орозов Р.Н., Калдарова Д.К. Устройство коммутации автоматики системы слежения концентратора солнечной энергии // Наука и новые технологии.- № 3-4, 2006. – С. 200-202.
2. Акматов А.К., Орозов Р.Н., Калдарова Д.К. Разработка устройства к LPT порту компьютера для управления концентратором солнечной энергии // Известия вузов.-№ 5-6, 2006. – С. 68-70.
3. Акматов А.К., Орозов Р.Н. Входное коммутирующее устройство автоматики управления следящей системой концентратора солнечной энергии // Наука и новые технологии. -№ 5-6, 2006.- С. 76-79.
4. Акматов А.К., Орозов Р.Н., Калдарова Д.К. Точный фотодатчик концентратора солнечной энергии // Наука и новые технологии. -№ 1-2, 2008. – С. 11-14.
5. Орозов Р.Н. Устройство автоматической ориентации концентратора солнечной энергии // Наука и новые технологии. -№ 1-2, 2008. –С.212-214.
6. Акматов А.К., Орозов Р.Н. Разработка устройства к LPT- порту компьютера для управления концентратором солнечной энергии // Материалы Международной научно-технической конференции «Интерстроймех-2008», Владимирский государственный университет, г. Владимир, 2008.- С.319-323.
7. Акматов А.К., Орозов Р.Н. Повышение эффективности плоских концентраторов солнечной энергии параболической формы программным управлением // Материалы XIII международной научной конференции, посвященной 50-летию Сибирского государственного аэрокосмического университета им. Решетнева, Сибгау, Красноярск, 2009. – С.203 -205 .
8. Акматов А.К., Фролов И.О., Орозов Р.Н. Устройство сопряжения компьютера с устройством слежения концентратора солнечной энергии // Материалы XIII международной научной конференции, посвященной 50-летию Сибирского государственного аэрокосмического университета им. Решетнева, Сибгау, Красноярск, 2009. – С.201 – 203.
9. Акматов А.К., Орозов Р.Н. Фролов И.О., Коган В.И. Система управления солнечного концентратора // Патент на изобретение КР № 1205 от 30.11.09, Бюлл. №12.
10. Акматов А.К., Орозов Р.Н., Зайцева С.В. Один из способов повышения эффективности плоских концентраторов солнечной энергии параболической формы программным управлением // Известия вузов.-№ 5. Бишкек, 2009 – С.16-18
11. Орозов Р.Н. Концентратор солнечной энергии с геометрически изменяемыми параметрами плоской зеркальной панели// Международная научно-техническая конференция «Современное состояние и актуальные проблемы развития энергетики»/ОшКУУ и ОБСЕ. -Ош, 2008. - С.70-73.
12. Орозов Р.Н. Электронное устройство для сопряжения компьютера с концентратором солнечной энергии // Вестник ЖАГУ.-№1, Жалал-Абад, 2008. - С.269-272.
13. Орозов Р.Н. Устройство к параллельному порту компьютера для управления устройством следящей системы КСЭ // Вестник ЖАГУ.-№2 (21).-2008.- С.200-204.

14. Орозов Р.Н. Компьютерная программа «PARAN» для управления следящей системой концентратора солнечной энергии //Известия ВУЗов.-№1.- Бишкек, 2009. – С.28-34.
15. Акматов А.К., Султанов С., Орозов Р.Н. Программное управление движением термоголовки в фокальной оси концентратора солнечной энергии// Проблемы энерго- и ресурсосбережения.-№1-2.-Ташкент, 2009.-С.261-266.
16. Орозов Р.Н. Устройство к LPT порту компьютера для управления следящей системой концентратора солнечной энергии // Проблемы энерго- и ресурсосбережения.-№1-2.-Ташкент.-2009.-С.283-287.

Резюме

Орозов Русланбек Назарбаевич

Разработка и исследование гелиоустановки с подвижным приемником и программным АСУ

05.14.08. –Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии.

Ключевые слова: Солнечное излучение, концентратор солнечного излучения, приемник солнечного излучения, следящая система, натурные эксперименты, математическая модель, подвижный приемник тепла.

Диссертационная работа посвящена автоматизации управления гелиоустановкой с концентратором солнечного излучения с целью получения требуемой заданной температуры в приемнике солнечного излучения.

Разработана компьютерная программа «PARAN», позволяющая контролировать концентратор в плане его точной навигации и параметры получаемой солнечной энергии: температуру и время нагрева приемника солнечного излучения в зависимости от его положения в фокальной плоскости концентратора, уровень солнечной радиации и т.п. Разработана также математическая модель устойчивости процесса получения энергии от солнечного излучения.

Приведены разработанные устройства следящей системы, устройства сопряжения, исполнительные устройства. Показана возможность управления следящей системой концентратора, с использованием персональных компьютеров, без сложных дополнительных к нему устройств.

Резюме

Орозов Русланбек Назарбаевич

Кыймылдуу кабыл алгычы жана программалык башкаруунун автоматтык системасы бар гелиокуралманы иштеп чыгуу жана изилдөө

05.14.08. –Кайра калыптануучу энергиянын негизиндеги энергокуралмалар

Негизги сөздөр: Күн нурдануусу, күн нурдануусун топтоштургуч, күн нурдануусун кабыл алгыч, ээрчитчүү система, эксперименттер, математикалык модель, кыймылдуу жылуулук кабыл алгычы.

Диссертациялык жумуш талап кылынган температураны алуу максатында кыймылдуу кабыл алгычы, күн нурдануусун топтоштургучу бар гелиокуралманы автоматтык башкарууга арналган.

Күн куралманын күн нурдануусун топтоштургучун күн артынан так ээрчитүүнү контролдоо, кабыл алынган күн энергиясынын жылуулук, күн нурдануусун кабыл алгычтын жылытуу мезгилин фокалдык октогу абалына көз карандуулугун жана күн нурдануусунун деңгээлин аныктоо максатында «PAPAN» аттуу компьютердик программа иштелип чыккан. Ошондой эле күн нурдануусунан алынуучу энергиянын туруктуулук процессин аныктоочу математикалык модель иштелип чыккан.

Ээрчитүүчү системанын иштелип чыккан түзүлүштөрү, жөндөө түзүлүшү жана аткаруучу түзүлүш келтирилген. Гелиокуралманын күн нурдануусун топтогучунун ээрчүчү системасын татаал түзүлүштөрсүз жеке компьютер аркылуу башкаруу көрсөтүлгөн.

Resume

of the research dissertation of Ruslanbek Nazarbaevich Orozov

Development and study of a solar power plant with the mobile receiver and program automatic control system.

05.14.08.-Energo-installation based on renewable energy sources.

Keywords: solar radiation, hubs of solar radiation, solar radiation receiver, tracker, natural experiments, mathematical model, mobile heat receiver of heat.

Research is devoted to automation of control of the concentrator of solar radiation with the purpose of getting of the demanded set temperature in the receiver of solar radiation .

The computer program «PAPAN» is developed allowing to control the concentrator by its accurate navigation and parameters of a received solar energy - temperature and time of heating of the receiver of a solar radiation depending on its position in a focal plane of the concentrator, a level of solar radiation etc. The mathematical model of stability of process of getting of energy from a solar radiation developed also.

The developed devices of tracker, the device of interface, executive devices are resulted. The opportunity of control by tracker of the concentrator, with use of personal computers without difficult additional devices to it is shown.