

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ  
КЫРГЫЗКО-УЗБЕКСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ К 05.09.404

На правах рукописи  
УДК 662.997.534.4

МАТИСАКОВ ТУГОЛБАЙ КУБАТБАЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА СОЛНЕЧНО-ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК И  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ  
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Специальность 05.14.08 – Энергоустановки на основе возобновляемых  
видов энергии

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Ош – 2013

**Работа выполнена на кафедре физики Ошского технологического университета.**

**Научный руководитель:** кандидат технических наук,  
доцент **Сатыбалдыев А.Б.**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук,  
профессор  
кандидат технических наук,  
доцент

**Ведущая организация:**

Защита состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2013г. в «\_\_» часов на заседании диссертационного совета К.05.09.404 по присуждению ученой степени кандидата наук при Кыргызко-Узбекском университете по адресу: 723503, город Ош, ул. Исанова, 79, 2 – учебный корпус.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызко-Узбекского университета.

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_2013г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент

**Султанов С.К.**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Необеспеченность Кыргызской Республики энергоресурсами, дороговизна традиционных энергоресурсов в мировом рынке и экологические проблемы при их использовании, вынуждает искать другие альтернативные варианты, или использование нетрадиционных видов источников энергии, в их числе и солнечную.

Наиболее перспективным и всего более быстро развивающимся способом использования энергии солнечного излучения является его преобразование в низкопотенциальное тепло ( $20\div 100^{\circ}\text{C}$ ) с использованием солнечных коллекторов (СК), как основного элемента солнечных водонагревательных установок (СВУ).

Отечественной и мировой гелиотехнической практикой создано значительное количество различных видов СВК для получения горячей воды. Несмотря на многочисленность и разнообразие гелиотехнических установок, предложенных для применения, осуществлено промышленное производство только солнечных водонагревателей. В связи с высокой стоимостью, масштабы их производства ограничены возможностями покупателей в развитых странах. Поэтому поиск и разработка эффективных, дешевых и приемлемых для широкого круга потребителей СВУ является актуальными задачами.

Применение методов математического моделирования для исследования процесса работы СВК и СВУ позволяет выполнять расчеты с высокой точностью за счет минимизации упрощающих задачу предположений и учета максимального числа основных факторов. Оконный пользовательский интерфейс модели дает возможность легко варьировать значений физических характеристик исследуемого объекта, что позволяет в свою очередь, выбирать рациональное проектное решение для рассматриваемых условий.

Таким образом, комплексное решение проблем оптимизации параметров СВК и СВУ очень трудно в современных условиях без использования математических моделей.

**Целью работы** является разработка СВК и СВУ, доступных для широкого круга потребителей с оптимизированными конструкционными параметрами и эксплуатационными показателями путем математического моделирования.

Для достижения основной цели в работе поставлены следующие задачи:

- разработать алгоритм и комплекс программ для расчета суточного прихода суммарной солнечной радиации на произвольно ориентированную поверхность для любой момент времени;
- создание математической модели процесса нагрева воды в СВК и СВУ с учетом теплотехнических характеристик;
- разработка комплекс программ для оптимального выбора тепло – физических, геометрических, оптических параметров СВК и СВУ;

- разработка математической модели для расчета и оптимизации гидравлических параметров СВК и СВУ;
- разработать рациональную конструкцию емкостного СВК и СВУ;
- разработка модели расчета стоимости тепловых энергий, производимых различными солнечными установками.

**Научной новизной работы являются следующие:**

- разработан алгоритм и комплекс программ для расчета суточного прихода суммарной солнечной радиации на произвольно ориентированную поверхность для любой момент времени;
- создана математическая модель процесса нагрева воды в СВК и СВУ с учетом теплотехнических характеристик;
- разработан комплекс программ для оптимального выбора тепло – физических, геометрических, оптических параметров СВК и СВУ;
- разработана математическая модель для расчета и оптимизации гидравлических параметров СВК и СВУ;
- разработана рациональная конструкция емкостного СВК и СВУ;
- разработана модель расчета стоимости тепловых энергий, производимых различными солнечными установками.

**Основные положения диссертационной работы, выносимые на защиту:**

- методика оценки располагаемого количества энергии солнечного излучения, падающего на произвольно ориентированную поверхность;
- математическая модель баланса энергии в системе СВУ с учетом всех основных видов тепловых потерь;
- научно-обоснованные конструкции и технологии изготовления СВК емкостного типа и СВУ.

**Практическая значимость:**

- с помощью разработанного пакета прикладных программ можно рассчитать суточный приход суммарной солнечной радиации на произвольно ориентированную поверхность для любой момент времени, что позволяет определять значения радиации без эксперимента;

- созданная математическая модель процесса работы СВУ позволяет выбирать и проектировать СВУ с оптимальными конструкционными параметрами.

- низкая стоимость разработанных СВУ делают их реализуемыми в нынешних социально-экономических условиях среди широкого слоя населения и позволяют улучшить их бытовые условия, экономить топливно-энергетические ресурсы.

**Достоверность научных результатов и выводов** обеспечивается практическим применением комплекса программ, разработанного на основе математической модели процесса работы СВУ, согласием численных расчетов с экспериментом, достаточным количеством публикаций и обсуждений на международных научных конференциях.

### **Личный вклад соискателя**

Основные результаты диссертационной работы получены автором лично. Выдвинутые на защиту научные положения, выводы диссертации являются результатом самостоятельных исследований автора. Научному руководителю принадлежат общая постановка задачи и обсуждение полученных результатов.

**Апробация результатов работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международной научно – технической конференции «Современное состояние и актуальные проблемы развития энергетики», посвященной 60 – летию профессора А.И. Исманжанова г. Ош, 2008г.; на конференции «Энергетическая эффективность и защита окружающей среды: образование и стабильные технологии», г. Бишкек 2009г.; на международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки, техники и технологии». г. Ош, 2012г.; на заседании научно – технического совета Ошского технологического университета, на заседании научно – технического совета физико – технического факультета Ошского государственного университета, на заседании научно – технического совета Кыргызско – Узбекского университета.

**Публикации по работе.** По материалам диссертации опубликовано 12 печатных работ в научных журналах и сборниках, в том числе: 1 – в международном журнале «Фундаментальные исследования» академии естествознания Российской Федерации, 1 – в журнале «Вестник КГУСТА», 1 – в журнале «Известия вузов», 2 – в журнале «Наука и новые технологии», 1 – в журнале «Наука, Образование, Техника», 1 – в журнале «Вестник ОшГУ», 2 – в журнале «Известия ОшГУ», 1 – в электронном журнале «Фундаментальные исследования» академии естествознания Российской Федерации и 2 свидетельства для программы ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа содержит 137 страниц машинописного текста, 46 рисунков, 5 таблиц, список литературы из 110 наименований.

В приложении прилагаются акты о внедрении результатов диссертационной работы, копии свидетельств для программы ЭВМ и коды файлов.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность работы, сформулированы ее цели и задачи, изложена структура диссертации, ее краткое содержание и основные результаты. Показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Приведены основные положения, выносимые на защиту.

В главе 1 приведен литературный обзор методик расчета прихода солнечной радиации, математических моделей расчета процесса работы СВК и СВУ и разработок их новой конструкции.

В главе 2 созданы математические модели расчета прихода суммарной солнечной радиации на определенную географическую местность и процесса работы СВК, а также СВУ собранной на основе СВК. Для численных расчетов на основе созданных математических моделей разработан комплекс программ.

Программный комплекс позволяет рассчитать значение суточного прихода суммарной солнечной радиации на произвольно ориентированную поверхность.

Вид основного окна программного пакета представлен на рис. 1.

Результаты полученные на программной модели сопоставлены с данными метеорологической станции. На рисунке 2 представлена суммарная солнечная радиация на 14 июня 2011 г.

Как видно из рисунка 2 расчетные значения, полученные с помощью модели хорошо совпадают с метеоданными.

Отклонение численных расчетов значений суммарной солнечной радиации, от значений, полученных автоматической метеорологической станцией не превышает 4,3-7%, что позволяет проводить инженерные расчеты. Такое же удовлетворительное совпадение значений суммарной солнечной радиации, полученных автоматической метеорологической станцией с расчетными её значениями наблюдается для всех случаев.



Рисунок 1. Основной вид окна ввода данных програмного пакета

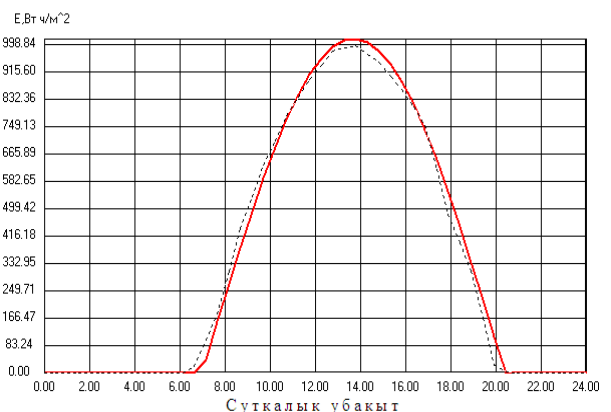


Рисунок 2. Поступление суммарной солнечной радиации (14- июнь, юг, 40 с.ш,  $\beta=45^0$ ).

----- кривая, полученная на основе метеоданных,  
 \_\_\_\_\_ полученная с помощью составленной модели.

КПД солнечно – водонагревательного коллектора представляет собой отношение тепловой производительности коллектора к падающей на его поверхность солнечной радиации.

$$\eta_{\text{тепл}} = 1 - \frac{ES_{\text{пр}}(1 - c_{\text{отн}} \cos \delta) - \left[ KF_{\kappa}(T_{\text{mn}} - T_0) + \frac{1}{3} \pi d_c H \alpha_{c.o}(T_c - T_0) + \varepsilon_{\text{mn}} F_{\text{пр}} \sigma (T_{\text{mn}}^4 - T_0^4) \right]}{ES_{\text{пр}}} \quad (1)$$

где,  $c_{\text{опт}}$  – оптическая постоянная коллектора;  $\delta$  – склонение Солнца;  $S_{\text{np}}$  – площадь теплообменной поверхности,  $\text{м}^2$ ;  $T_{\text{mn}}$ ,  $T_o$  и  $T_c$  – температуры теплоприемника, окружающей среды и стеклянного ограждения,  $K$  – коэффициент теплопередачи стеклянного ограждения коллектора,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $d_c$ ,  $H$  – диаметр и длина стеклянного ограждения коллектора,  $\text{м}$ ;  $\alpha_{c.o}$  – коэффициент теплоотдачи от стеклянной оболочки в окружающую среду,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $\sigma$  – постоянная Стефан – Больцмана,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ .

Все составляющие энергетического баланса в (1), заключенные в скобки, представляют собой тепловые потери теплоприемника за счет собственного излучения, неполного поглощения солнечного излучения, конвекции потерь по элементам конструкции и теплопередачи через стенку коллектора.

Математическое моделирование СВУ собранной из  $n$  коллекторов, основывалось на расчете её теплового баланса.

Суммарный поток тепла, поступающий к приёмным поверхностям коллекторов, определялся балансом (2):

$$ES_{\text{np}}\eta_{\text{опт}}nd\tau = [V_o\rho c + \pi\varphi_{cm}c_{cm}(r_n^2h_n - r_e^2h_e)]dT + \left[ \pi n \left( K(d_cH + R^2) + \frac{1}{3}d_cH\alpha_{c.o} \right) + K_oS_o + K_{mp}\pi d_{mp}l_{mp} \right] (T - T_o) d\tau \quad (2)$$

где,  $S_{\text{np}}$  и  $\eta_{\text{опт}}$  – площадь и оптический КПД коллектора;  $V_o$  – объем теплоносителя в баке,  $\text{м}^3$ ;  $c$ ,  $c_{cm}$  – теплоемкость теплоносителя и стенки бака,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;  $\rho$ ,  $\rho_{cm}$  – плотность теплоносителя и ограждения,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $r_n$ ,  $r_e$ ,  $h_n$ ,  $h_e$  – наружные, внутренние радиусы и высота бака аккумулятора,  $\text{м}$ ;  $T$ ,  $T_o$  – температуры теплоносителя и окружающей среды,  $\text{К}$ ;  $R$  – радиус основания стеклянной банки,  $\text{м}$ ;  $H$  – высота стеклянной банки,  $\text{м}$ ;  $S_o$  – площадь теплообменной поверхности бака аккумулятора,  $\text{м}^2$ ;  $d_{mp}$ ,  $l_{mp}$  – диаметр и длина соединительного трубопровода СВУ,  $\text{м}$ ;  $K$ ,  $K_o$  и  $K_{mp}$ , – коэффициенты теплопередачи коллектора, бака аккумулятора и соединительного трубопровода СВУ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Полученная энергия от солнечного излучения расходуется на нагревание теплоносителя, стенок бака и коллектора, а также потери тепла коллектора и бака аккумулятора в окружающую среду за период времени  $d\tau$ . Уравнение баланса СВУ записано в предположении, что температура, теплоприемника и стенки бака аккумулятора равна средней температуре  $T(\tau)$  теплоносителя.

Представим уравнение (2) в виде

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{ES_{\text{np}}\eta_{\text{опт}}n}{V_o\rho c + \pi\varphi_{cm}c_{cm}(r_n^2h_n - r_e^2h_e)} - \frac{\left[ \pi n \left( K(d_cH + R^2) + \frac{1}{3}d_cH\alpha_{c.o} \right) + K_oS_o + K_{mp}\pi d_{mp}l_{mp} \right] (T - T_o)}{V_o\rho c + \pi\varphi_{cm}c_{cm}(r_n^2h_n - r_e^2h_e)} \quad (3)$$

После преобразования, получим следующее дифференциальное уравнение

$$\frac{dy}{d\tau} + Ay = B. \quad (4)$$

При начальном условии  $T(0) = T_x$ , решение этого уравнения описывает изменение во времени температуры теплоносителя в баке аккумулятора СВУ.

В начальном моменте времени (при  $\tau=0$ ) температура теплоносителя  $T(0)=T_x$ . Нагревание холодного теплоносителя начинается с восходом Солнца и продолжается весь световой день, в течение которого его температура повышается от  $T_x$  до  $T_z$ .

Используя уравнений (3) и (4) определяем температуру теплоносителя в баке после облучения коллектора в течение светового дня продолжительностью  $\tau$

$$T_z = T_o^{cp} + \left( T_x - T_o^{cp} - \frac{ES_{np} \eta_{onn} n}{\pi \left( K(d_c H + R^2) + \frac{1}{3} d_c H \alpha_{c.o} \right) + K_{\delta} S_{\delta} + K_{mp} \pi d_{mp} l_{mp}} \right) \times \exp \left( \frac{\pi \left( K(d_c H + R^2) + \frac{1}{3} d_c H \alpha_{c.o} \right) + K_{\delta} S_{\delta} + K_{mp} \pi d_{mp} l_{mp}}{V_{\delta} \rho c + \pi \varphi_{cm} c_{cm} (r_n^2 h_n - r_e^2 h_e)} \tau \right) + \frac{ES_{np} \eta_{onn} n}{\pi \left( K(d_c H + R^2) + \frac{1}{3} d_c H \alpha_{c.o} \right) + K_{\delta} S_{\delta} + K_{mp} \pi d_{mp} l_{mp}} \quad (5)$$

где  $T_o^{cp}$  - средняя температура окружающей среды.

Продолжительность нагрева теплоносителя в СВУ до заданной температуры  $T_z$

$$\tau_z = \frac{V_{\delta} \rho c + \pi \varphi_{cm} c_{cm} (r_n^2 h_n - r_e^2 h_e)}{\pi \left( K(d_c H + R^2) + \frac{1}{3} d_c H \alpha_{c.o} \right) + K_{\delta} S_{\delta} + K_{mp} \pi d_{mp} l_{mp}} \times \left( \ln \left( T_z - T_o^{cp} - \frac{ES_{np} \eta_{onn} n}{\pi \left( K(d_c H + R^2) + \frac{1}{3} d_c H \alpha_{c.o} \right) + K_{\delta} S_{\delta} + K_{mp} \pi d_{mp} l_{mp}} \right) - \ln \left( T_x - T_o^{cp} - \frac{ES_{np} \eta_{onn} n}{\pi \left( K(d_c H + R^2) + \frac{1}{3} d_c H \alpha_{c.o} \right) + K_{\delta} S_{\delta} + K_{mp} \pi d_{mp} l_{mp}} \right) \right)$$

На рис. 3-6 представлены результаты расчета параметров СВК и СВУ. Как видно из рис. 3 КПД СВК с изменением радиации достигается насыщенного состояния, при значении радиации  $400 \text{ Вт/м}^2$  для всех типов коллекторов его значение почти не меняется. КПД с учетом всех факторов, с изменением скорости ветра в пределах  $v=0 \div 5 \text{ м/с}$  для трубчатого, объемного и плоского типов СВК принимает значение соответственно  $\eta=0.55$ ,  $\eta=0.46$  и  $\eta=0.5$ .

На рис. 4 представлена зависимость теплотери СВК от скорости ветра и температуры теплоприемника. Согласно результату расчета увеличение



теплопотери СВК связана с увеличением солнечной радиации, скорости ветра и температуры теплоприемника.

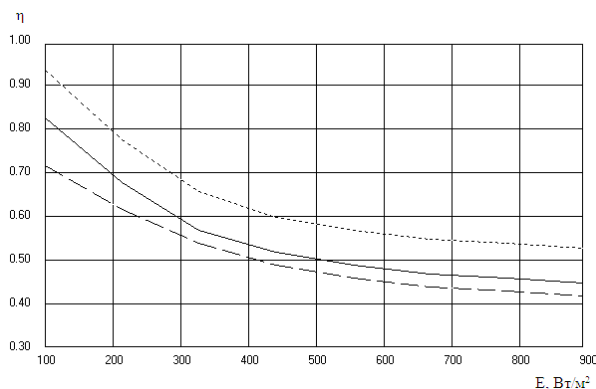


Рисунок 3. Зависимость КПД трубчатого, объемного и плоского типов СВК от суммарной солнечной радиации.

----- трубчатый, ————— плоский  
 - - - - - объемный.

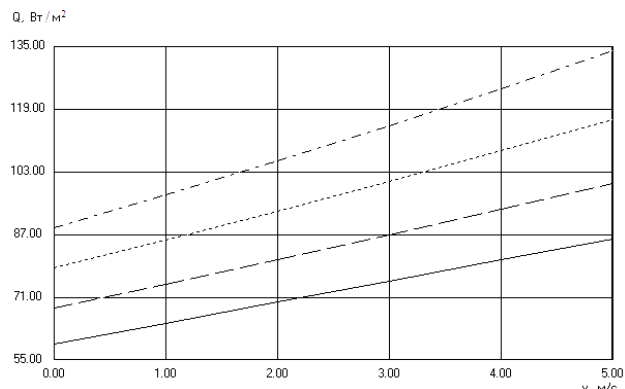


Рисунок 4. Зависимость теплопотери СВК от скорости ветра и температуры теплоприемника.

-----  $T_{нр} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , -----  $T_{нр} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  
 ---  $T_{нр} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , - - - - -  $T_{нр} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

На рис. 5 представлена зависимость температуры бака – аккумулятора  $T$  от времени при различных значениях числа коллекторов  $n$ .

Выполнены расчеты суточной теплопроизводительности СВУ при изменении площади коллектора от 1 до 4 м<sup>2</sup> и его результаты приведены на рис. 6. Результаты расчетов показали, что для нагрева воды в объемах 100, 200 и 300 литров до температуры 70°C в течение 1-1,5 часов, необходимо площади коллекторов соответственно 1,3 м<sup>2</sup>, 1,8 м<sup>2</sup> и 2 м<sup>2</sup>. Таким образом, исходя из назначения установки, увеличение площади солнечного коллектора более 1,3 м<sup>2</sup> оказывается нецелесообразно, так как неоправданно повышает теплопотери, не повышая тем самым эффективность.

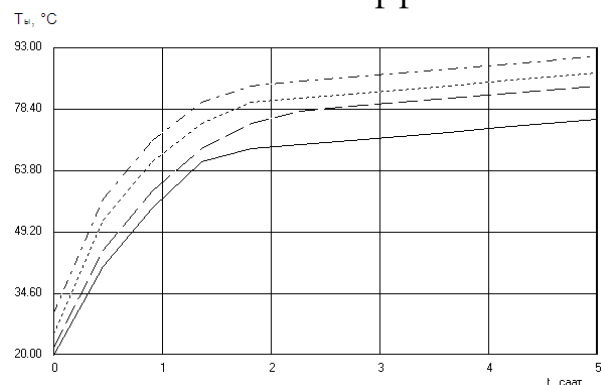


Рисунок 5. Зависимость изменения температуры воды в баке аккумуляторе от времени нагрева при различных значениях количества коллекторов. —————  $n = 6$ , - - - - -  $n = 12$ , -----  $n = 18$ , - - - - -  $n = 24$ .

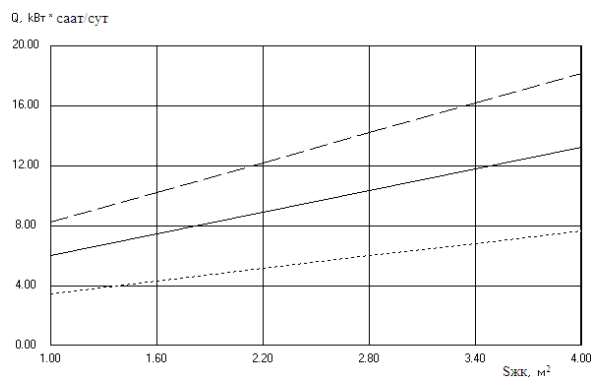


Рисунок 6. Зависимость изменения полезной энергии от площади тепловоспринимающей поверхности коллекторов при разных объемах бака – аккумулятора. ----- 0,1 м<sup>3</sup>, ————— 0,2 м<sup>3</sup>, - - - - - 0,3 м<sup>3</sup>.

В главе 3 разработана математическая модель, характеризующая гидродинамические свойства рабочего процесса СВК и СВУ и на его основе усовершенствованы эффективность системы.

Расход теплоносителя в контуре в зависимости от основных конструктивных, теплофизических и режимных параметров, характеризующих работу солнечного коллектора в режиме естественной циркуляции воды можно выразить следующим образом:

$$G = \frac{gH\beta_i F_k q \eta}{c_p \rho_i} \frac{1}{\left( \xi \frac{g_k^2}{2} + \lambda \frac{L_{Tp}}{d_{Tp}} \frac{g_{Tp}^2}{2} \right)} \quad (7)$$

Где,  $G$  — расход воды;  $H$  — высота бака-аккумулятора над теплоприемником, м;  $\beta_i$ ,  $c_p$  — коэффициент объемного расширения и теплоемкость воды;  $\rho_i$  — плотность воды при средней температуре в солнечного коллектора;  $g_k$  — скорость движения воды в каналах коллектора;  $g_{Tp}$  и  $L_{Tp}$  — скорость воды в соединительных трубопроводах и их длина;  $\xi$ , и  $\lambda$  — коэффициенты сопротивления коллектора и трения трубопроводов;  $d_{Tp}$  — диаметр трубопровода;  $g$  — ускорение свободного падения.

На рис. 7 показано изменение разности естественного располагаемого давления  $\Delta P_{дв}$ , возникающего за счет разности плотностей в зависимости значения диаметра трубопровода. Из графика видно, что минимальное значение диаметра трубопровода равно 0,01 м, при котором можно осуществить естественную циркуляцию потребляемой воды в системе.

На рис.8 представлена зависимость изменения расхода воды от интенсивности падающего на коллектор излучения при различных значениях высоты бака – аккумулятора от теплоприемника. Видно, что расход воды  $G$ , с увеличением интенсивности падающего излучения  $q$  и высоты бака – аккумулятора от теплоприемника линейно растет.

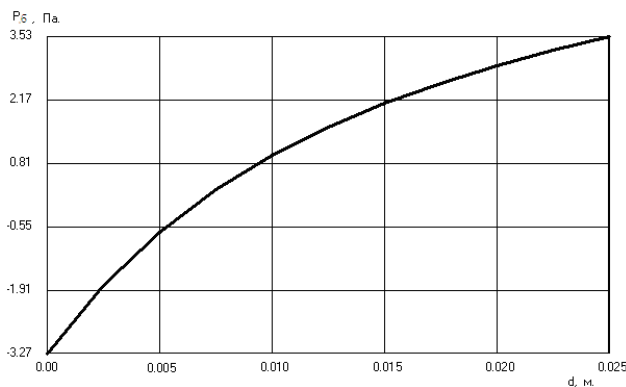


Рисунок 7. Зависимость изменения разности естественного располагаемого давления  $\Delta P_{дв}$  и гидравлического сопротивления циркуляционного контура  $\Delta P_s$  от диаметра трубопровода  $d_{Tp}$ .

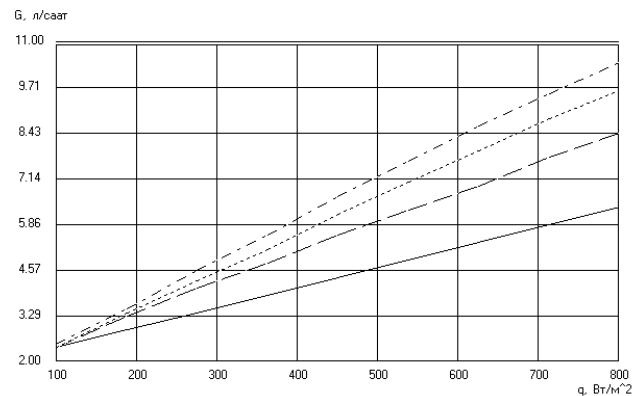
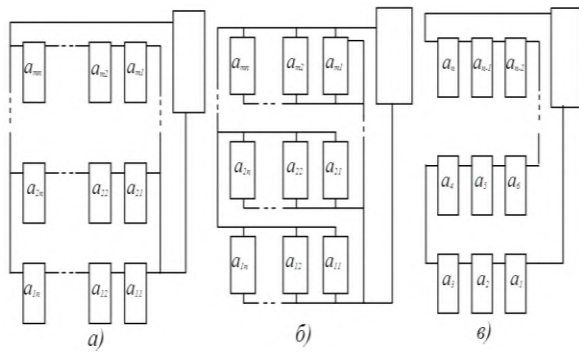


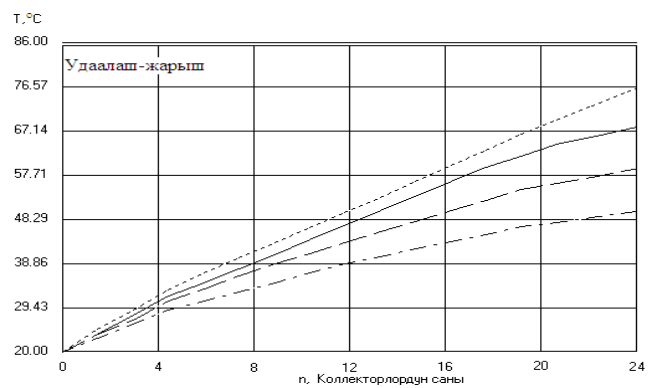
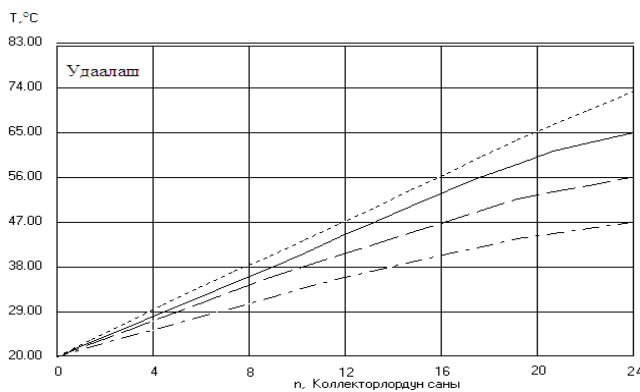
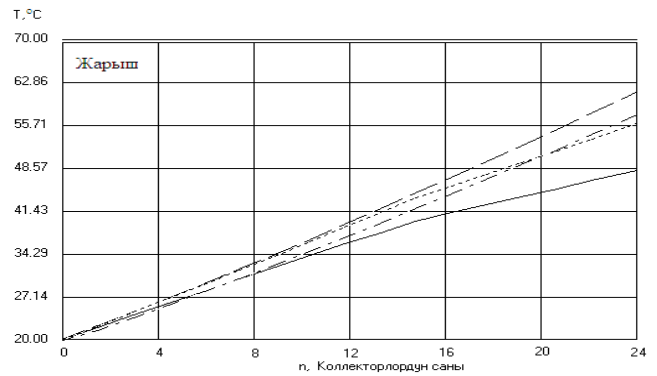
Рисунок 8. Зависимость изменения расхода воды от интенсивности падающего на коллектор.

—  $H=0,3$  м., - - - -  $H=0,4$  м.,  
 - · - · -  $H=0,5$  м., - - - -  $H=0,6$  м.





**Рисунок 9. Расчетная схема СВУ, собранной последовательно, параллельно последовательно-параллельно соединен СВК.**



**Рис. 10. Зависимость температуры воды от количества коллекторов для случаев естественной и вынужденной циркуляций теплоносителя при последовательном – параллельном соединении коллекторов.**

Линиями  $---$  и  $- \cdot - \cdot -$  представлены зависимости для  $U$  и спиралообразного абсорберного СВК при естественной циркуляции теплоносителя.

Линиями  $---$  и  $-----$  представлены зависимости для  $U$  и спиралообразного абсорберного СВК при вынужденной циркуляции теплоносителя.

Результаты расчетных данных показывает, что, при параллельно, последовательно и параллельно- последовательном соединении коллекторов эффективность  $U$  – образных коллекторов выше, чем спиралообразных коллекторов на 7%, 8,2% и 8,8 % соответственно, при вынужденной циркуляции теплоносителя эффективность спиралообразных коллекторов выше, чем  $U$  – образных коллекторов на 7,9%, 10,4 % и 11,9% соответственно.

**В главе 4** изложены результаты исследования эксплуатационных характеристик и технологии изготовления объемного СВК и собранной на его основе СВУ.

Технологии эффективного нагрева воды для бытовых целей солнечным излучением достаточно хорошо отработаны и широко доступны на рынке. Несмотря на такое обилие видов солнечных коллекторов для получения горячей воды до сегодняшнего дня они в рынке остаются дорогими, поэтому основные части пользователей не могут покупать такие коллекторы.

В настоящее время практически во всех коллекторах тепловоспринимающая поверхность изготавливается из стекла, которое обеспечивает полное поступление солнечного излучения на поверхность абсорбера и обуславливает создание парникового эффекта, повышая температуру внутри коллектора.

Разработана СВУ объемного типа, схемы которого приведены на рис. 11 а, б, в и г. Корпусом коллектора служит объемная стеклянная конструкция цилиндрической формы. Наружные размеры корпуса таковы: высота и диаметр стеклянной конструкции соответственно равны 220мм и 140мм. Толщина стенки - 4 мм. Общая площадь коллектора составляет 0,12 м<sup>2</sup>.

Стенка корпуса выполняет одновременно несколько функций: служит в качестве прозрачной изоляции для коллектора и для удержания в корпусе входных и выходных трубок.

СВК состоит из корпуса 1, внутри его находятся спиралообразный трубчатый абсорбер 2 диаметром 15 мм, длиной 500 мм, и тепловоспринимающая панель 3, которая покрыта черным матовым лаком 4 и припаяна к наружной поверхности трубы (Рис.11а). Металлическая спиралообразная трубка 2, по которой протекает теплоноситель, находится внутри стеклянной банки 1. Изолированная крышка 5 прикреплена к банке 1, и металлическая труба удерживается на крышке банки с помощью холодных сварок 6. Стенки корпуса с внутренней стороны до лицевой части выполнены с зеркальным покрытием 7.

СВК представленный на рисунке 11-в состоит из таких же элементов как у спиралообразного трубчатого СВК, но абсорбер имеет U – образную форму.

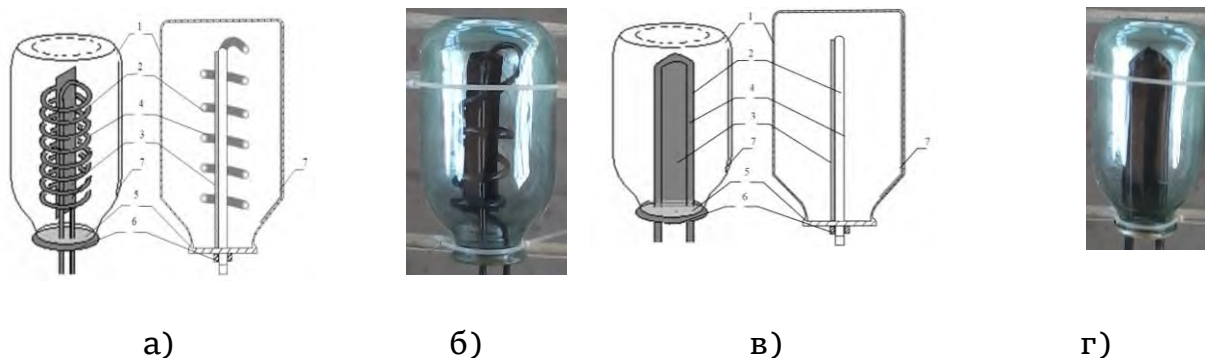
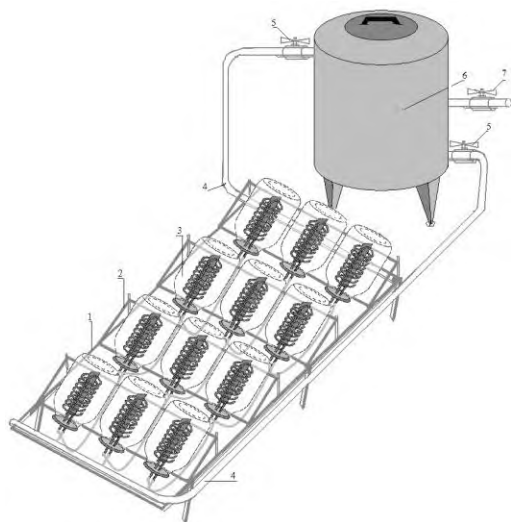


Рис. 11. Схема СВУ объемного типа (а), (в) и общие виды (б), (г).

Коллектор работает следующим образом: солнечные лучи, проходя через стеклянный корпус, поглощаются металлической трубкой и плоским металлом. Отраженные лучи от зеркального покрытия коллектора вторично поглощаются тепловоспринимающей трубкой.

На основе разработанного СВК изготовлена СВУ. Схема и общий вид СВУ приведены на рис. 12 а,б и 13 а,б. Установка состоит из основания установки 1, сделанного из металлического каркаса, коллекторов 3, прикрепленных к

металлическим подставкам 2, углы наклона которых можно регулировать, соединительных пластиковых трубопроводов 4, вентилей 5, бака – аккумулятора 6 и крайника 6 для использования воды.

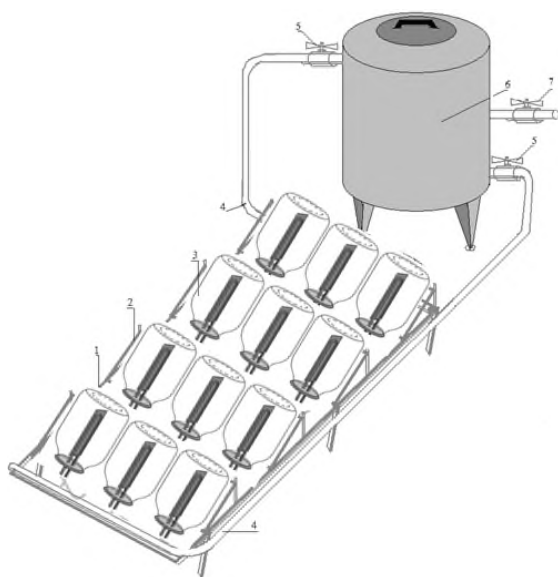


а)



б)

Рисунок 12. Схема и общий вид СВУ, собранной из СВК со спиралеобразным абсорбером.



а)



б)

Рисунок 13. Схема и общий вид СВУ, собранной из СВК с U - образным абсорбером.

СВУ сконструирована из 12 –солнечных коллекторов с общей площадью  $1,4\text{м}^2$ , соединенных последовательно-параллельно.

Для определения эффективности установки проведены экспериментальные исследования.

Эксперимент проведен в городе Ош, высота которого над уровнем моря 992м.

Испытания проводились СВУ, собранными из разработанных нами видов СВК с марта месяца по ноябрь месяца.

Согласно результатам экспериментальных исследований, для всех видов СВУ наибольшая температура наблюдается в июль месяце. На рис.14 приведены результаты эксплуатационных испытаний разработанной СВУ на основе объемного СВК с U и спиралеобразным абсорбером. Нагреваемая вода на входе в бак аккумулятор достигает наибольшей температуры  $80^{\circ}\text{C}$  при солнечной радиации  $912 \text{ Вт/м}^2$  в июль месяце. Температура окружающей среды равнялась  $38^{\circ}\text{C}$ , угол наклона коллектора к горизонту составлял  $45^{\circ}$ .

При изменении угла наклона коллектора к горизонту  $45^{\circ}$  и  $60^{\circ}$  температура воды принимает значений  $72^{\circ}\text{C}$  и  $69^{\circ}\text{C}$  соответственно.

Низкое значение температуры нагреваемой воды на входе в бак аккумулятор наблюдается в ноябрь месяце. Ее максимальная температура составляет  $30^{\circ}\text{C}$  при солнечной радиации  $378 \text{ Вт/м}^2$ . Температура окружающей среды равнялась  $8^{\circ}\text{C}$ , угол наклона коллектора к горизонту составлял  $60^{\circ}$ .

Согласно результатам экспериментальных исследований, осенью и зимой, в СВУ максимальной температуры воды достигает при значениях угла наклона коллектора к горизонту  $50^{\circ}$ - $60^{\circ}$ , а весной и летом при углах  $30^{\circ}$  -  $45^{\circ}$ .

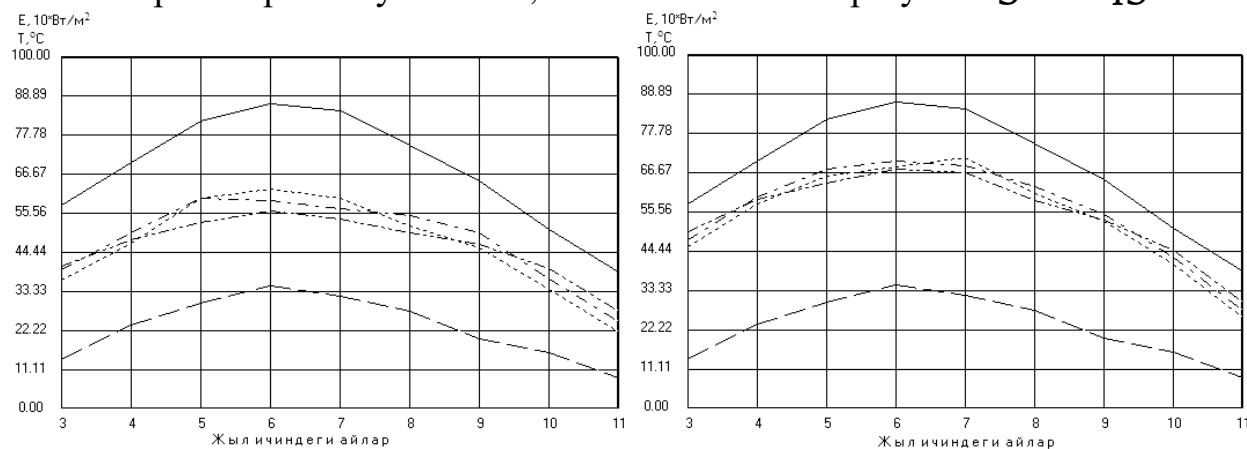


Рисунок 14. Среднемесячные результаты эксплуатационных испытаний разработанной СВУ на основе объемного СВК с U (а) и спиралеобразным (б) абсорбером.

Среднемесячная максимальная температура воды при углах наклона коллектора к горизонту: - - - -  $30^{\circ}$ , - - - -  $45^{\circ}$ , - - - -  $60^{\circ}$  Среднемесячная температура окружающей среды - - - - Среднемесячная суммарная солнечная радиация —

По результатам расчета экономическая эффективность разработанной СВУ на основе объемного СВК с U и спиралеобразным абсорбером составляет 2107,296 и 2735,478 сомов соответственно, а срок окупаемости составляет 1,7 и 1,6 года соответственно.

Таким образом, полученные результаты показывают экономическую выгоду использования СВУ на основе разработанных СВК. Низкая

стоимость разработанных СВУ позволяет в нынешних социально-экономических условиях реализовать их среди широкого слоя населения и в определенной степени решить проблему их снабжения горячей водой.

## **ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ**

1) Разработаны математическая модель для расчета суммарной солнечной радиации на произвольно ориентированную поверхность для каждого момента времени, основываясь на закономерности взаимного движения Земли и Солнца и на ее основе комплекс программ, позволяющий расчетным путем определять значения радиации.

Отклонение компьютерных расчетов значений суммарной солнечной радиации, от значений, полученных автоматической метеорологической станцией не превышает 4,3-7%, что позволяет проводить инженерные расчеты. На программу получено авторское свидетельство Кыргызской Республики за № 214.

2) разработана математическая модель рабочего процесса СВК и СВУ с учетом различных климатических параметров, с помощью модели выбраны оптимальные значения элементов СВУ, определено что для нагрева воды в объемах 100, 200 и 300 литров до температуры 70°C в течение 1-1,5 часов, необходимо площади коллекторов 1,3 м<sup>2</sup>, 1,8 м<sup>2</sup> и 2 м<sup>2</sup> соответственно.

3) разработан алгоритм и комплекс программ для расчета гидравлических параметров СВУ и на основе расчетов определены: минимальное значение диаметра трубопровода равно 0,01 м, при котором можно осуществить естественную циркуляцию потребляемой воды в системе, высота бака – аккумулятора от теплоприемника равна 0,6 м, схема соединения систем коллекторов в разработанной СВУ обеспечивает эффективность большее на 1,8%-4,2%, чем других видов последовательно – параллельного соединения.

На программу получено авторское свидетельство Кыргызской Республики за № 249.

4) разработаны конструкции СВК объемного типа и на его основе СВУ, определена эффективность, КПД коллекторов составляет 44% - 48%.

5) стоимость экономическая эффективность разработанной СВУ, состоящей из систем 12 коллекторов с общей площадью 1,44 м<sup>2</sup> составляет 4382,2 сома, а экономическая эффективность составляет 2735,4 в год.

### **Список опубликованных работ, по теме диссертации:**

1. Матисаков Т.К. Численное исследование суточного прихода суммарной солнечной радиации на произвольно ориентированную поверхность [Текст] / А.И. Исманжанов, А.Б.Сатыбалдиев, Т.К. Матисаков // Международная научно-техническая конференция «Современное состояние и актуальные проблемы



развития энергетики» посвященной 60-летию профессора И.А. Исманжанова, Ош, КУУ НОТ, 10-12 октябрь, 2008. –С. 246-248.

2. Матисаков Т.К. Исследование эксплуатационных характеристик солнечной водонагревательной установки [Текст] / А.И. Исманжанов, А.Б.Сатыбалдиев, Т.К. Матисаков // Международная научно-практическая конференция «Энергетическая эффективность и защита окружающей среды: образование и стабильные технологии», Бишкек, КГУСТА, 9-май, 2009. – С. 50-52.

3. Матисаков Т.К. Определение режима естественной циркуляции воды в СВУ на основе математического моделирования [Текст] / А.Б.Сатыбалдиев, Т.К. Матисаков // Ош. 2009. Известия ОшГУ. Выпуск №1. –С. 160-162.

4. Матисаков Т.К. Разработка и испытание солнечного водонагревательного коллектора трубчатого типа [Текст] / Т.К. Матисаков // Бишкек. 2010. Известия вузов. Выпуск №1. –С. 44-45.

5. Матисаков Т.К. Теоретическое исследование теплофизических характеристик СВК на основе математического моделирования [Текст] / Т.К. Матисаков // Бишкек. 2010. Наука и новые технологии. Выпуск №3. – С. 23-25.

6. Матисаков Т.К. Моделирование и программная реализация расчета теплотехнических характеристик солнечно-водонагревательных коллекторов и установок [Текст] / Т.К. Матисаков // Бишкек. 2010. Наука и новые технологии. Выпуск №3. – С. 44-43.

7. Сатыбалдиев А.Б., Матисаков Т.К. Программа расчета теплотехнических характеристик солнечно-водонагревательных коллекторов и установок: Свидетельство №214 Кыргызпатент; Заявка №20100015.6; Оpubл.19.08.2010.- 2с.

8. Ташполотов Ы., Сатыбалдиев А.Б., Матисаков Т.К. Исследование технико-экономических показателей солнечной водонагревательной установки //http://www.econf.rae.ru/article/6288. 18 okt 2011. 208 Кб.

9. Матисаков Т.К. Исследование теплотехнических характеристик солнечно-водонагревательной установки на основе математического моделирования [Текст] / А.Б.Сатыбалдиев, Т.К. Матисаков // Москва. 2012. Фундаментальные исследования. Выпуск №3 –С. 423-427.

10. Сатыбалдиев А.Б., Матисаков Т.К. Компьютерная программа для расчета гидродинамических характеристик солнечно-водонагревательных коллекторов и установок: Свидетельство №249 Кыргызпатент; Заявка №20120011.6; Оpubл.27.04.2012.- 2с.

11. Матисаков Т.К. Использование гелиоустановок в целях экономии традиционных энергоресурсов [Текст] / А.Б.Сатыбалдиев, Т.К. Матисаков // Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы науки, техники и технологии», Ош, Известия ОшГУ, 8-9-июнь, 2012. Выпуск №2. – С. 26-31.

12. Матисаков Т.К. Суу ысытуучу к\н коллекторлорунун техникалык экономикалык эффективд\л\г\н анализдъ

[Текст] / А.Б.Сатыбалдиев, Т.К. Матисаков // Ош. 2012. ОшМУ Жарчысы. Выпуск №3. – С. 212-215.

## РЕЗЮМЕ

### Резюме

**Матисаков Т\гълбай Кубатбаевич**

**Суу ысытуучу к\н т\з\лмълър\н иштеп чыгуу жана математикалык моделдештир\л\н негизинде эффективд\л\г\н ырк\ндът\л\**

**05.14.08 – Жаёыланып туруучу энергия булактарынын негизиндеги энергот\з\л\штър**

**Негизги сьздър:** к\н энергиясы, математикалык модель, суу ысытуучу к\н коллектор, суу ысытуучу к\н т\з\лмъ.

Диссертациялык жумуш математикалык моделдин негизинде суу ысытуучу к\н коллекторлорун жана суу ысытуучу к\н т\з\лмълър\н\н жаёы конструкцияларын иштеп чыгууга арналган.

Суу ысытуучу к\н коллекторлору жана алардын негизинде суу ысытуучу к\н т\з\лмълър\ иштелип чыккан.

Суу ысытуучу к\н коллекторлорун жана т\з\лмълър\н\н жылуулук техникалык жана гидродинамикалык параметрлерин эсептър \ч\н ЭЭМге программалар иштелип чыккан.

Иштелип чыккан программаларга автордук к\бъл\ктър алынган.

### Резюме

**Матисаков Туголбай Кубатбаевич**

**Разработка солнечных водонагревательных установок и совершенствование их эффективности на основе математического моделирования**

**05.14.08– Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии**

**Ключевые слова:** Солнечная энергия, математическая модель, солнечный водонагревательный коллектор, солнечная водонагревательная установка.

Диссертационная работа посвящена разработке новой конструкции солнечных водонагревательных коллекторов и солнечных водонагревательных установок на основе математического моделирования.

На основе солнечных водонагревательных коллекторов разработаны солнечные водонагревательные установки.

Разработаны программы на ЭВМ для расчета теплотехнических и гидродинамических параметров солнечно водонагревательных коллекторов и установок.

Разработанные программы подтверждены авторскими свидетельствами.

## THE RESUME

**Matisakov Tugolbai Kubatbaevich**

**Development of solar water heating systems and improving their efficiency based on mathematical modeling**

**05.14.08-Power plants based on renewable energy**

Keywords: Solar energy, the mathematical model, the solar water heater collector solar water heater.

The thesis is devoted to the development of a new design of solar water heating collectors and solar water heating systems based on mathematical modeling.

On the basis of the solar water heating collectors and developed rasolnechnye water heater.

Developed a computer program to calculate the thermal and hydrodynamic parameters of the solar collectors and vodonagreatelnyh installations.

Razrabotaanye program are confirmed by copyright certificates.

Подписано в печать \_\_\_\_\_2013

Формат: 60x84 1/16

Заказ: № \_\_\_\_\_

Объем: 1,25 п.л.

Тираж: 100 экз.

---

Отпечатано в типографии \_\_\_\_\_  
723018, г.Ош, ул. \_\_\_\_\_