

На правах рукописи

**Судаев Евгений Михайлович**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ  
СОЛНЕЧНОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ  
СЕЛЬСКИХ БЫТОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ  
В УСЛОВИЯХ СИБИРИ**

Специальность 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование  
в сельском хозяйстве

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Красноярск 2012

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет».

Научный руководитель

кандидат технических наук, доцент  
**Бастрон Андрей Владимирович**

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор  
**Куликова Лидия Васильевна**  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный  
технический университет им. И.И. Пол-  
зунова», кафедра «Электрификация  
производства и быта», профессор

кандидат технических наук, профессор  
**Попов Юрий Петрович**  
ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный  
университет», политехнический институт,  
кафедра «Электротехнические комплексы и  
системы», профессор

Ведущая организация

**ФГБОУ ВПО «Алтайский  
государственный аграрный университет»**

Защита состоится 29 мая 2012 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании объединенного диссертационного совета ДМ 220.037.01 при ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет» по адресу: 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90.

Тел/факс: 8(391) 227-36-09, e-mail: dissovet@kgau.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет».

Автореферат разослан 28 апреля 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Бастрон А.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Развитие сельского хозяйства зависит от многих факторов, и к числу главных следует отнести создание благоприятных, комфортных условий быта на селе. При этом важным является решение проблемы обеспечения сельских жителей горячей водой для удовлетворения гигиенических и бытовых нужд, хозяйственных нужд личных приусадебных хозяйств (ЛПХ) и фермерских (крестьянских) хозяйств.

Из почти миллиона сельских жителей, проживающих в Красноярском крае, республиках Хакасия и Тыва, только небольшой процент, в основном живущих в районных центрах, имеет возможность круглогодично обеспечивать себя горячей водой в требуемом объеме.

Существующие на селе системы теплоснабжения, включающие и горячее водоснабжение, основаны на теплогенераторах, работающих в основном на органическом топливе. Постоянный рост цен на органическое топливо (уголь, дрова, газ, дизельное топливо, мазут) и электрическую энергию, а также перегруженность существующих сельских электрических сетей 0,38–10 кВ сдерживает внедрение систем горячего водоснабжения (СГВ) на селе.

Современный мировой опыт показывает, что одним из путей решения проблемы эффективного горячего водоснабжения коммунально-бытовых потребителей является использование солнечной энергии (СЭ). Для широкого внедрения и эффективного использования систем солнечного горячего водоснабжения (ССГВ) в сельских жилых домах, расположенных на территории Красноярского края, республик Хакасия и Тыва, необходимо решить комплекс научных задач, связанных с изучением режимов поступления солнечной радиации на указанную территорию, обоснованием и выбором рациональных параметров и режимов работы ССГВ с учетом мест их установки.

Работа выполнена в соответствии с планом НИР «Горячее водоснабжение сельских жилых домов от гелиоустановок в условиях Красноярского края, республик Хакасия и Тыва».

**Целью работы** является повышение эффективности систем солнечного горячего водоснабжения сельских бытовых потребителей совершенствованием конструкций ССГВ и учетом режима поступления солнечной радиации в условиях Красноярского края, республик Хакасия и Тыва.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- провести анализ современного состояния вопроса использования солнечной энергии в жилых домах;
- разработать математическую модель и методику исследований поступления солнечной радиации в зависимости от географических координат установки ССГВ на территории Красноярского края, республик Хакасия и Тыва;
- разработать ССГВ и обосновать их параметры и режимы работы для энергоэффективного горячего водоснабжения сельских бытовых потребителей;
- определить энергетические характеристики разработанных ССГВ в производственных условиях;
- обосновать экономическую эффективность использования СЭ в ССГВ.

**Объект исследования** – системы солнечного горячего водоснабжения сельских бытовых потребителей.

**Предмет исследования** – взаимосвязь параметров и режимов работы различных конструкций ССГВ от динамики распределения солнечной радиации по географическим координатам природно-климатической зоны Красноярского края, республик Хакасия и Тыва.

**Методы исследования.** Используются методы математического моделирования, аппараты алгебры и линейного программирования, система компьютерной математики Maple.

**Научную новизну составляют:**

- разработанный комплекс математических моделей, выполненных в среде Maple, необходимых для моделирования режимов работы ССГВ на территории Красноярского края, республик Хакасия и Тыва, включающий:

- квазипериодическую модель поступления прямой, диффузной и суммарной солнечной радиации, с учетом географических координат  $\varphi_A, \psi_A$  интересующей точки  $A$  на поверхности Земли;

- модель среднемесячной температуры окружающего воздуха с учетом географических координат  $\varphi_A, \psi_A$  интересующей точки  $A$  на поверхности Земли;

- модель режимов работы ССГВ с различными конструкциями солнечных коллекторов, в том числе трех оригинальных ССГВ, в климатических условиях Красноярского края, республик Хакасия и Тыва;

- экспериментальные зависимости, устанавливающие влияние параметров различных конструкций ССГВ и режимов поступления солнечной радиации на энергетические характеристики и режимы работы ССГВ.

**Практическую значимость работы** представляют:

- оценка солнечной радиации на территории Красноярского края, республик Хакасия и Тыва;

- предложенные оригинальные конструкции ССГВ сельских бытовых потребителей;

- энергетическая оценка использования ССГВ сельских бытовых потребителей в климатических условиях Красноярского края, республик Хакасия и Тыва.

**Реализация результатов:**

- комплекс компьютерных программ по расчету гелиоресурсов места установки ССГВ, энергетических характеристик и технико-экономических показателей ССГВ, а также предложения по совершенствованию конструкций солнечных водонагревательных установок приняты к внедрению ООО «СВС-Красноярск»;

- усовершенствованная конструкция ССГВ внедрена в СНТ «НИВА» Емельяновского района Красноярского края;

- результаты исследований внедрены в учебный процесс при изучении магистрантами дисциплины «Энергообеспечение сельскохозяйственных потребителей с использованием возобновляемых источников энергии» по направлению 110300.68 «Агроинженерия».

**На защиту выносятся:**

- методики и результаты моделирования поля суммарной солнечной радиации на территории Красноярского края, республик Хакасия и Тыва;
- комплекс математических моделей для моделирования режимов работы ССГВ на территории Красноярского края, республик Хакасия и Тыва;
- результаты моделирования режимов работы ССГВ в климатических условиях Красноярского края, республик Хакасия и Тыва;
- конструктивные решения и результаты производственных испытаний оригинальных конструкций ССГВ сельских бытовых потребителей.

**Апробация работы.**

Основные положения работы обсуждались и одобрены:

- на научно-практических конференциях ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет» в период с 2004 по 2011 г.;
- всероссийской научно-практической конференции «Энергоэффективность систем жизнеобеспечения города» (г. Красноярск, 2005 г.);
- международной научно-практической конференции «Машино-технологическое, энергетическое и сервисное обслуживание сельхозтоваропроизводителей Сибири» (г. Новосибирск, 2008 г.);
- международной научно-практической конференции «Энергетика в сельском хозяйстве» (Республика Алтай, Чемальский район, база НГТУ Эрлагол, 2009 г.);
- международном научно-техническом конгрессе «Энергетика в глобальном мире» (г. Красноярск, 2010 г.);
- всероссийской научно-практической конференции «Энергоэффективность систем жизнеобеспечения города» (г. Красноярск, 2010 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 18 печатных работ, в том числе три в изданиях, рекомендованных ВАК для публикации материалов кандидатских диссертаций, получено два свидетельства Роспатента об официальной регистрации программ для ЭВМ и баз данных.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Изложена на 165 страницах машинописного текста, включая приложения. Содержит 34 рисунка и 42 таблицы. Список литературы содержит 134 наименования. Четыре приложения представлены на 16 страницах.

**Личный вклад.** Результаты экспериментальных исследований, представленные в диссертации, получены автором лично. Вклад автора в работы, выполненные в соавторстве, заключается в обсуждениях и постановке задач на этапах научной работы, в получении, анализе и оформлении полученных результатов.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность проблемы, определена цель исследований, показаны научная новизна и практическая ценность работы, отражены вопросы реализации и апробации научных результатов, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** приводится обзор состояния вопроса использования СЭ для энергообеспечения жилых домов, анализируются методы расчета поступления солнечной радиации (СР) на исследуемую территорию. Рассмотрены проблемы использования солнечной энергии для горячего водоснабжения жилых домов.

Вопросам анализа поступления солнечной радиации на исследуемую территорию для разных регионов России и мира в целом, а также эффективного использования солнечной энергии для горячего водоснабжения коммунально-бытовых потребителей посвящены научные исследования Р.Р. Аvezова, Р.А. Амерханова, П.П. Безруких, У. Бекмана, Т.Г. Берлянд, А.А. Бурмистрова, В.А. Бутузова, М.И. Валова, В.И. Виссарионова, Дж. Даффи, Г.В. Дерюгиной, Б.И. Казанджана, С. Клейна, Ю.Г. Коломиец, С.В. Кривенковой, Л.В. Куликовой, Б.В. Лукутина, Д. Мак-Вейга, В.А. Никифорова, З.И. Пивоваровой, О.С. Поппель, М.Д. Рабиновича, Р.Б. Салиевой, Л.А. Саплина, В.В. Стадник, Д.С. Стребкова, В.Т. Тайсаевой, Б.В. Тарнижевского, С.Н. Удалова, В.М. Усаковского, А.Д. Ушаковой, В.Я. Федянина, А.Р. Ферта, Н.В. Харченко, С.К. Шерьязова, Н.В. Цугленка и других.

Исследованиями вышеуказанных авторов доказано, что приход солнечной радиации к земной поверхности зависит от многих факторов, таких как широта местности, время года и суток, прозрачность атмосферы, облачность, характер подстилающей поверхности, высота места над уровнем моря, закрытость горизонта. Ими установлено, что пространственно-временное изменение солнечного излучения на Земле может быть квалифицировано как детерминировано-стохастический процесс.

Анализ результатов существующих исследований показывает, что для территории России годовой приход солнечной энергии на один квадратный метр горизонтальной приемной площадки находится в пределах от 800 до 1400 кВт·ч/м<sup>2</sup> (минимум – на полуострове Таймыр (около 70° с.ш.), максимум – в районе г. Владивостока).

Предшествующими исследованиями выявлено, что при доверительной вероятности 0,9 для 35–40-летних рядов суточных измерений солнечного излучения погрешность составляет 1–3 %, а для 10-летних рядов погрешность не превышает 10 %.

Наибольшее распространение в мире и России получило преобразование солнечной энергии в низкопотенциальную тепловую энергию, достаточную для горячего водоснабжения и отопления. ССГВ обычно включают в себя солнечный коллектор (СК), в котором нагревается теплоноситель, и бак-аккумулятор с теплообменником.

В настоящее время суммарная площадь установленных в мире СК превысила 150 млн м<sup>2</sup>. Ведущие позиции занимают: США – 18 млн м<sup>2</sup>, Китай – 17,5 млн м<sup>2</sup>, Япония – 11 млн м<sup>2</sup>, Израиль – 4,35 млн м<sup>2</sup>. Общая площадь СК установленных в странах ЕС к концу 2008 года достигла почти 14 млн м<sup>2</sup>. Ежегодный прирост площади СК в Европе в среднем составляет 12 %, а в отдельных странах достигает уровня 20–30 % и более. По количеству СК на

тысячу жителей населения мировым лидером является Кипр, где 90 % домов оборудованы ССГВ (на тысячу жителей здесь приходится  $615,7 \text{ м}^2$  СК), за ним следуют Израиль, Греция и Австрия. Абсолютным лидером по площади установленных коллекторов в Европе является Германия – 47 %, далее следуют Греция – 14, Австрия – 12, Испания – 6, Италия – 4, Франция – 3 %. Европейские страны являются бесспорными лидерами в разработке новых технологий систем солнечного теплоснабжения, однако сильно уступают Китаю в объемах ввода в эксплуатацию новых ССГВ. По экспертной оценке Европейской Федерации промышленности солнечных тепловых установок технико-экономический потенциал по использованию СК в системах теплоснабжения только в странах ЕС составляет 1,4 млрд  $\text{м}^2$ . Они способны производить ежегодно более 680 ТВт·ч тепловой энергии. В России масштабы применения ССГВ незначительны – действуют системы солнечного теплоснабжения с площадью коллекторов чуть более 0,1 млн  $\text{м}^2$ . Объем производства СК в нашей стране составляет порядка 10 – 20 тыс.  $\text{м}^2$  в год.

Наиболее перспективными следует считать трубчатые вакуумированные СК, которые имеют самый высокий КПД и могут использоваться круглогодично. Имеющийся опыт эксплуатации СК в климатических условиях России показывает, что их наиболее целесообразно применять в СГВ. При этом удельная теплопроизводительность СК достаточно высока и составляет 500–750 кВт·ч/ $\text{м}^2$ .

По результатам анализа состояния изучаемой проблемы были сформулированы цель и основные задачи научных исследований.

**Во второй главе («Исследование ресурсов солнечной энергии на территории Красноярского края, республик Хакасия и Тыва»)** показано, что в настоящее время разработаны и широко используются математические модели по оценке ресурса солнечной радиации на поверхности Земли (например, система Surfer), которые используют в основном среднемесячные (реже – среднесуточные) данные о солнечной радиации. Однако для более детальной оценки технического и экономического потенциала солнечной энергетики на территории Красноярского края, республик Хакасия и Тыва целесообразна разработка оригинальных математических моделей, и как следствие – новых программных продуктов.

Для разработки всего пакета программ, содержащего математические модели поступления СР на территорию Красноярского края, республик Хакасия и Тыва, других факторов, влияющих на режимы работы ССГВ, а также модели по расчету энергетических и технико-экономических показателей ССГВ, предлагается использовать один программный продукт – Maple.

Предложенная структура моделирования влияния природно-техногенных факторов на режимы работы, энергетическую и экономическую эффективность ССГВ приведена на рисунке 1.

Для оценки потенциала солнечной радиации, поступающей на территорию Красноярского края, республик Хакасия и Тыва разработана программа «Квазипериодическая модель суммарной солнечной радиации» [4].



*Рисунок 1 – Структура моделирования влияния природно-техногенных факторов на режимы работы, энергетическую и экономическую эффективность ССГВ*



Для районирования территории Красноярского края, республик Хакасия и Тыва по удельной суммарной солнечной радиации  $R_{\Sigma}$ , МДж/м<sup>2</sup>, поступающей за месяц на горизонтальную поверхность, использованы многолетние данные (с 1980 по 2005 г.) Среднесибирского УГМС ГУ «Красноярский ЦГМС-Р» Гидрометеорологического центра (г. Красноярск) 11 актинометрических станций, расположенных на указанной территории.

Ежемесячные значения прямой  $R_{пр}$ , МДж/м<sup>2</sup>, диффузной (рассеянной)  $R_{д}$ , МДж/м<sup>2</sup>, и суммарной солнечной радиации  $R_{\Sigma}$ , МДж/м<sup>2</sup>, по каждой актинометрической станции являются исходными массивами информации для программы расчета параметров уравнений, описывающих поступление суммарной солнечной радиации с учетом географических координат  $\varphi_A, \psi_A$  интересующей точки  $A$  на поверхности Земли.

Для каждой актинометрической станции применима частная модель. Суммарная солнечная радиация  $R_{\Sigma}$ , МДж/м<sup>2</sup>, в момент времени  $t$  в точке  $A$  с географическими координатами  $(\varphi_A, \psi_A)$  описывается рядом Фурье, имеющим общую структуру в виде квазипериодической регрессии, применимой в случае невозможности замены системы факторов одним обобщающим фактором для периодов  $T_1, T_2$  и т. д.

$$R_{\Sigma(\varphi_A; \psi_A)}(t) = c + \left[ \sum_{k=1}^{n_1} \left( a_{1k} \cos\left(\frac{2\pi kt}{T_1}\right) + b_{1k} \sin\left(\frac{2\pi kt}{T_1}\right) \right) \right] + \\ + \left[ \sum_{k=1}^{n_2} \left( a_{2k} \cos\left(\frac{2\pi kt}{T_2}\right) + b_{2k} \sin\left(\frac{2\pi kt}{T_2}\right) \right) \right] + \left[ \sum_{k=1}^{n_3} \left( a_{3k} \cos\left(\frac{2\pi kt}{T_3}\right) + b_{3k} \sin\left(\frac{2\pi kt}{T_3}\right) \right) \right] + \\ + \left[ \sum_{k=1}^{n_4} \left( a_{4k} \cos\left(\frac{2\pi kt}{T_4}\right) + b_{4k} \sin\left(\frac{2\pi kt}{T_4}\right) \right) \right] + \left[ \sum_{k=1}^{n_5} \left( a_{5k} \cos\left(\frac{2\pi kt}{T_5}\right) + b_{5k} \sin\left(\frac{2\pi kt}{T_5}\right) \right) \right] , \quad (1)$$

где  $R_{\Sigma(\varphi_A; \psi_A)}(t)$  - функция суммарной солнечной радиации актинометрической станции;

$c$  - постоянная составляющая суммарной солнечной радиации для данной местности, МДж/м<sup>2</sup>;

$a_{1k} \dots a_{5k}, b_{1k} \dots b_{5k}, k$  - коэффициенты разложения квазипериодической функции;

$T_1 \dots T_5$  - временные пространственные факторные периоды;

$t$  - время.

Коэффициенты для частной модели находят методом наименьших квадратов, минимизирующим невязки, т. е. отклонение теоретических значений от расчетных.

Постоянная составляющая суммарной солнечной радиации

$$c = \lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \left[ \frac{\int_0^{\Delta t} R_{\Sigma}(t) dt}{\Delta t} \right], \quad (2)$$

где  $\Delta t$  - расчетный период времени.

Коэффициенты разложения квазипериодической функции определяются выражениями

$$a_{sk} = \text{coeff}_{\cos \frac{2\pi k_s \pi}{T_s}} R_{\Sigma}(t), \quad (3)$$

$$b_{sk} = \text{coeff}_{\sin \frac{2\pi k_s \pi}{T_s}} R_{\Sigma}(t). \quad (4)$$

Квазипериодическая модель суммарной солнечной радиации, учитывающая географические координаты местности, описывается выражением

$$\begin{aligned} R_{\Sigma}(t, \phi, \psi) = & c(\phi, \psi) + \left[ \sum_{k=1}^{n_1} (a_{1k}(\phi, \psi) \cos(\frac{2\pi kt}{T_1}) + b_{1k}(\phi, \psi) \sin(\frac{2\pi kt}{T_1})) \right] + \\ & + \left[ \sum_{k=1}^{n_2} (a_{2k}(\phi, \psi) \cos(\frac{2\pi kt}{T_2}) + b_{2k}(\phi, \psi) \sin(\frac{2\pi kt}{T_2})) \right] + \\ & + \left[ \sum_{k=1}^{n_3} (a_{3k}(\phi, \psi) \cos(\frac{2\pi kt}{T_3}) + b_{3k}(\phi, \psi) \sin(\frac{2\pi kt}{T_3})) \right] + \\ & + \left[ \sum_{k=1}^{n_4} (a_{4k}(\phi, \psi) \cos(\frac{2\pi kt}{T_4}) + b_{4k}(\phi, \psi) \sin(\frac{2\pi kt}{T_4})) \right] + \\ & + \left[ \sum_{k=1}^{n_5} (a_{5k}(\phi, \psi) \cos(\frac{2\pi kt}{T_5}) + b_{5k}(\phi, \psi) \sin(\frac{2\pi kt}{T_5})) \right], \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\phi$  – географическая долгота местности;

$\psi$  – географическая широта местности;

$a_{1k}(\phi, \psi) \dots a_{5k}(\phi, \psi), b_{1k}(\phi, \psi) \dots b_{5k}(\phi, \psi)$  – функциональные коэффициенты разложения квазипериодической функции;

$c(\phi, \psi)$  – постоянная составляющая суммарной солнечной радиации для местности с географической долготой  $\phi$  и широтой  $\psi$ , МДж/м<sup>2</sup>;

$T$  – временные пространственные факторные периоды.

Сопоставление полученных в результате расчетов значений квазипериодической функции за исследуемый период с действительными значениями суммарной солнечной радиации  $R_{\Sigma}$ , МДж/м<sup>2</sup> показало, что среднеквадратическое отклонение не превышает 8,3 %.

Разработанные в среде Maple оригинальные математические модели позволяют рассчитать: приход прямой, рассеянной и суммарной СР на горизонтальную приемную площадку в точке  $A(\phi, \psi)$  и для заданной территории  $S$  за месяц в расчетный 25-летний период; удельный валовый (за

календарный год) потенциал солнечного излучения; линии уровня и поля прихода прямой, рассеянной и суммарной СР.

Они также позволяют представлять наглядно ежемесячное поступление суммарной солнечной радиации в виде одной или нескольких (до 300) двух- и трехмерных изображений поверхностей с привязкой к географическим координатам территории Красноярского края, республик Хакасия и Тыва в период с января 1980 года по декабрь 2005 года.

В качестве примера на рисунке 2 приведены результаты моделирования суммарной солнечной радиации, МДж/м<sup>2</sup>, для одного месяца.

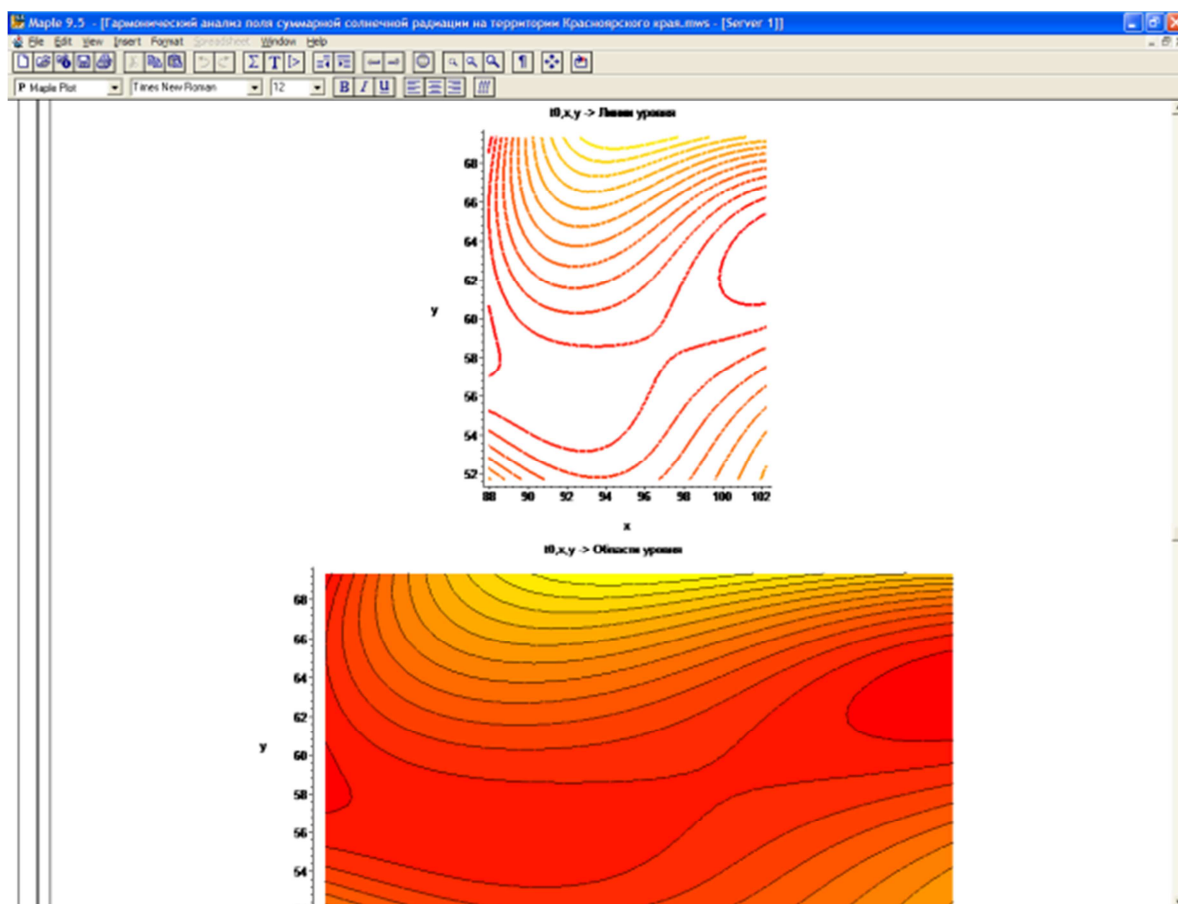
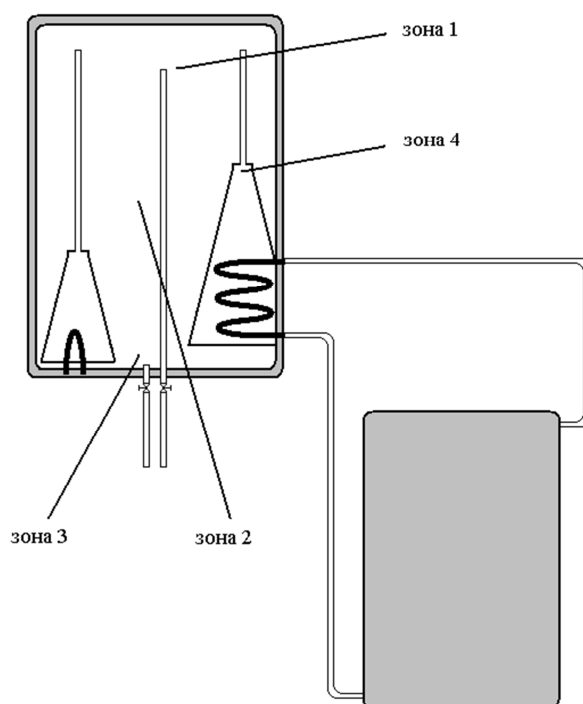


Рисунок 2 – Результаты моделирования суммарной солнечной радиации, МДж/м<sup>2</sup>, для июля 2002 г.

В третьей главе («Разработка конструкций ССГВ сельских бытовых потребителей, обоснование параметров и моделирование их режимов работы») представлены результаты разработки новых технических решений и моделирования режимов работы ССГВ сельских бытовых потребителей.

Целью разработки новых конструкций ССГВ сельских бытовых потребителей [13, 14, 16] является повышение их потребительских свойств, по сравнению с традиционными ССГВ. Приготовление в ССГВ горячей воды с более высокой температурой, особенно в утреннее время, повышает эффективность использования СР.

Предлагаемая оригинальная конструкция ССГВ (патент РФ на изобретение № 2382291 «Водонагревательная установка») реализована на базе солнечного коллектора «Сокол» и бака-аккумулятора Thermex-80 с теплообменником (рис. 3) [14]. ССГВ работает следующим образом. Холодная



*Рисунок 3 – Система солнечного горячего водоснабжения на базе солнечного коллектора «Сокол»*

вода по трубопроводу поступает в бак-аккумулятор (зона 3). Теплоноситель (антифриз, вода и т. п.), нагретый под действием солнечной радиации в СК, за счет термосифонной циркуляции поступает по соединительному трубопроводу в теплообменник и возвращается в СК. Теплообменник нагревает объем воды, ограниченный первой обечайкой (зона 4). Под действием конвекции подогретая вода через полый цилиндр подается в верхнюю часть бака-аккумулятора (зона 1). Поддержание требуемой температуры нагреваемой воды, независимо от интенсивности ее нагрева СК, может осуществляться за счет использования биметаллической пластины, выполняющей роль регулятора температуры жидкости и установленной в верхнем отверстии обечайки. По мере необходимости горячая вода забирается из зоны 1 бака-аккумулятора и подается потребителю. Аналогично происходит нагрев воды во второй обечайке с помощью ТЭНов, подключенных к электрической сети или генератору ветроэлектрической станции.

Для моделирования поступления СР в разрезе суток разработана программа «Модель изменения мощности потока и потока СР за сутки».

Результатом проводимого моделирования являются: зависимость изменения мощности потока СР в течение суток, поток солнечной радиации за данные сутки. Результаты моделирования для среднего дня месяца: января, апреля, июля и октября по станции Солянка (Красноярск) представлены на рисунке 4.

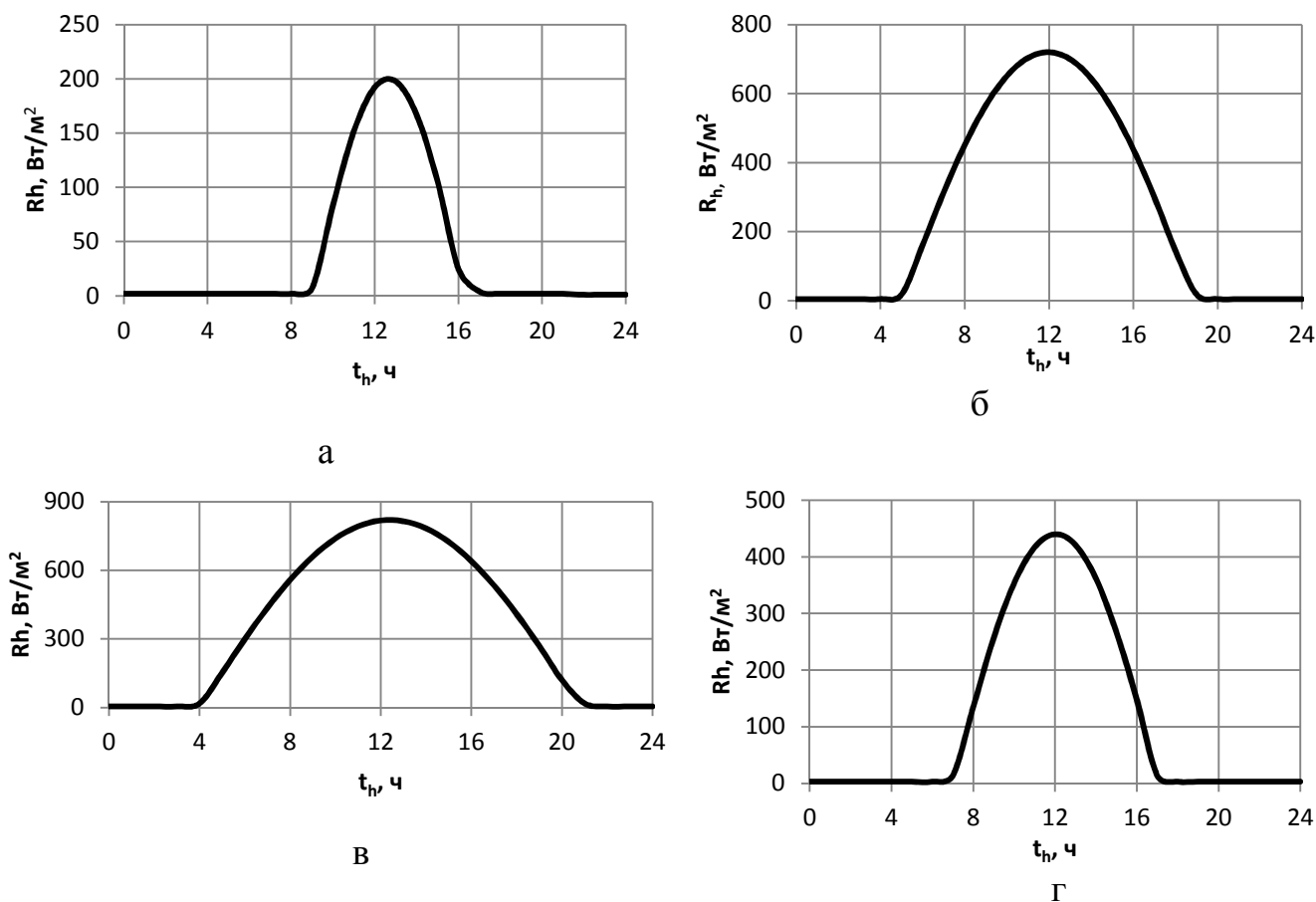


Рисунок 4 – Изменение солнечной радиации в течение суток в январе (а), апреле (б), июле (в) и октябре (г)

Результаты расчета потока солнечной радиации на горизонтальную поверхность за сутки по месяцам года по станции Солянка (Красноярск) (при безоблачном небе) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Поток солнечной радиации за сутки  $\mathcal{E}_h$ , кВт·ч/(м<sup>2</sup>·сут) и МДж/(м<sup>2</sup>·сут)

Показатель	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
кВт·ч/(м <sup>2</sup> ·сут)	0,93	2,24	4,15	6,37	8,68	9,36	8,76	7,10	4,84	2,83	1,26	0,73
МДж/(м <sup>2</sup> ·сут)	3,34	8,04	14,94	22,93	31,25	33,69	31,53	25,56	17,42	10,19	4,54	2,63

Для моделирования режимов работы ССГВ разработана программа «ССГВ». Результатами моделирования являются: суточный график температуры горячей воды в ССГВ  $T_{гв}$ , °С, при изменении угла наклона СК к югу  $\beta$ ; суточная (месячная, годовая и за заданный период) выработка тепловой энергии ССГВ; коэффициент замещения  $k_{зам}$ , о.е.

Нагрев воды в обечайке бака-аккумулятора ССГВ, выполненной согласно патенту РФ на изобретение № 2382291 «Водонагревательная установка» (рис. 3), без учета тепловых потерь, описывается дифференциальным уравнением вида

$$\frac{dT_{06}^{ГВ}}{dt} = \frac{3,6 \cdot [F_R' \cdot A_{СК} \cdot [R^\beta(t) \cdot (\overline{\tau\alpha}) \cdot k_3 - U_L \cdot (T_{06}^{ГВ} - T_0)]]}{c_B \cdot M_{06}}, \quad (6)$$

где  $F_R'$  – коэффициент отвода тепла от теплообменника к воде в обечайке бака-аккумулятора ССГВ;

$A_{СК}$  – площадь солнечного коллектора, м<sup>2</sup>;

$R^\beta(t)$  – суммарная солнечная радиация в плоскости солнечного коллектора, Вт/м<sup>2</sup>;

$(\overline{\tau\alpha})$  – оптический КПД СК, о.е.;

$k_3$  – коэффициент, учитывающий затенение (запыление, загрязнение) СК, о.е.;

$U_L$  – приведенный коэффициент тепловых потерь солнечного коллектора, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

$T_{06}^{ГВ}$  – температура горячей воды в обечайке, °C;

$T_0$  – начальная температура воды в баке, °C;

$c_B$  – удельная теплоемкость воды ( $c_B = 4,19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$ );

$M_{06}$  – масса воды в обечайке бака-аккумулятора, кг;

$t$  – время, ч.

Эффективное использование СР в утренние часы также предусмотрено в предложенной конструкции ССГВ с вакуумированным трубчатый СК (заявка на изобретение «Система солнечного горячего водоснабжения», регистрационный № 20111136485 от 01.09.2011 г.). За основу конструкции могут быть приняты ССГВ НМ-16x18/58 китайского производства, в которых вакуумированные трубки снабжены теплопроводящими стержнями, работающими на эффекте «тепловой трубы» (рис. 5).

Для регулирования объема горячей воды бак-аккумулятор снабжен устройством, выполненном в виде плавающей платформы. Платформа выполнена конусообразно с отверстием посередине, в которое установлено водозаборное устройство. В нижней части водозаборного устройства установлены ТЭНы. Водозаборное устройство соединено через нагнетательный насос с трубопроводом горячей воды. Для эффективной работы системы разработан алгоритм, который может быть реализован с помощью микропроцессорного устройства, встроенного в шкаф управления ССГВ.

Моделирование в подпрограмме «ССГВ» суточного графика температуры горячей воды в баке-аккумуляторе  $T_{26}$ , °C ССГВ с вакуумированным СК (см. рис. 5) при изменении объема воды показало, что предложенная конструкция ССГВ с регулируемым уровнем требуемую температуру горячей воды 60 °C обеспечит за два часа при 20 %-м объеме воды в баке-аккумуляторе (рис. 6), тогда как полный бак воды нагреется всего до 23 °C, а в течение дня до 55 °C.

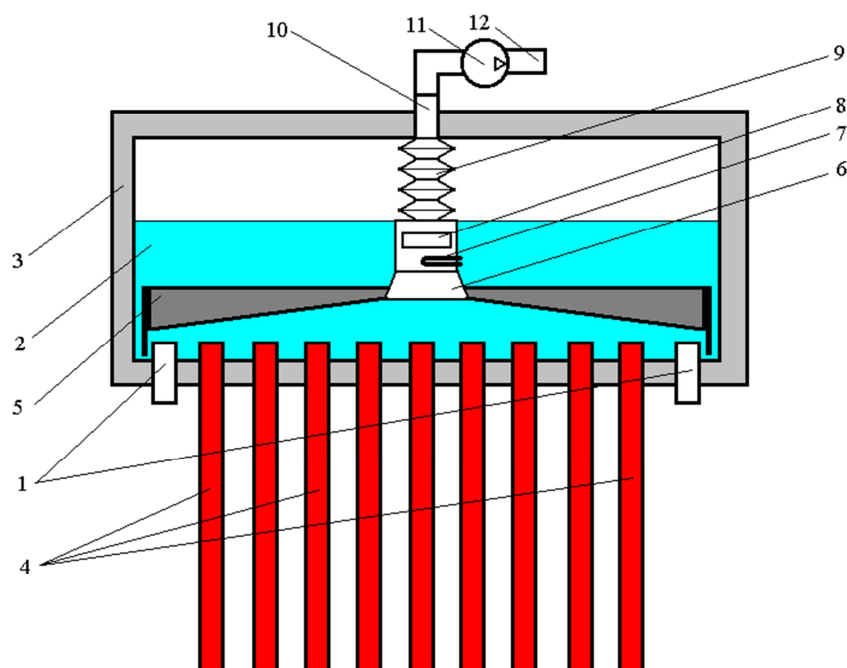


Рисунок 5 – Разрез ССГВ с вакуумированным СК:

1 – патрубок холодной воды; 2 – вода; 3 – термоизоляция; 4 – вакуумированная тепловая трубка; 5 – плавающая платформа; 6 – водозаборное устройство; 7 – ТЭН; 8 – отверстие; 9 – гофрированный шланг; 10 – патрубок горячей воды; 11 – нагнетательный насос; 12 – патрубок горячей воды

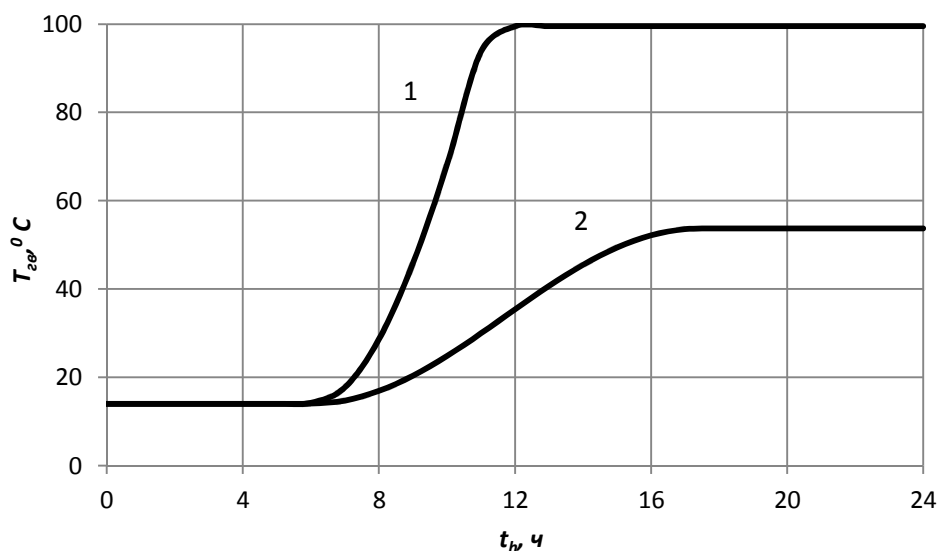


Рисунок 6 – Теоретические кривые температуры нагрева воды в середине марта (ясный день) при полном баке-аккумуляторе ССГВ (угол наклона СК к югу  $\beta = 45$ ): 1 – 25 л (20 % от объема бака); 2 – 127 л (полный бак)

При исследовании важно было установить зависимость регулируемого объема воды от времени суток при заданной температуре теплоносителя. На рисунке 7 приведена зависимость объема горячей воды, нагретой ССГВ до температуры  $60 \text{ °C}$ , от времени суток. Кривая получена при температуре

холодной воды, равной 15 °С, для середины марта (ясный день). Результаты исследования показывают, что в часы наиболее активного поступления СР (с 8 до 16 ч), объем нагреваемой воды растет также интенсивно и за 8 ч масса нагретой воды увеличивается в 10 раз.

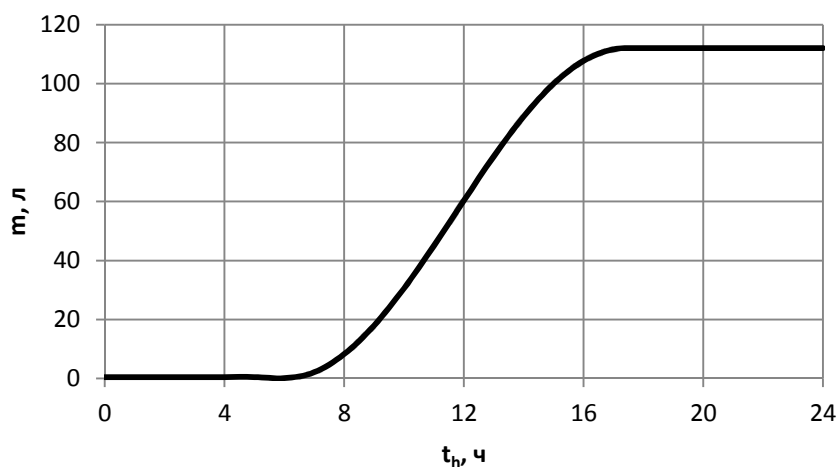


Рисунок 7 – Теоретическая кривая изменения объема горячей воды с температурой 60 °С (температура холодной воды равна 15 °С) в середине марта (ясный день)

В разработанной двухконтурной ССГВ (рис. 8) повышение эффективности использования солнечной энергии, согласно патенту на изобретение № 2319910 [2], достигается за счет сферической формы СК.

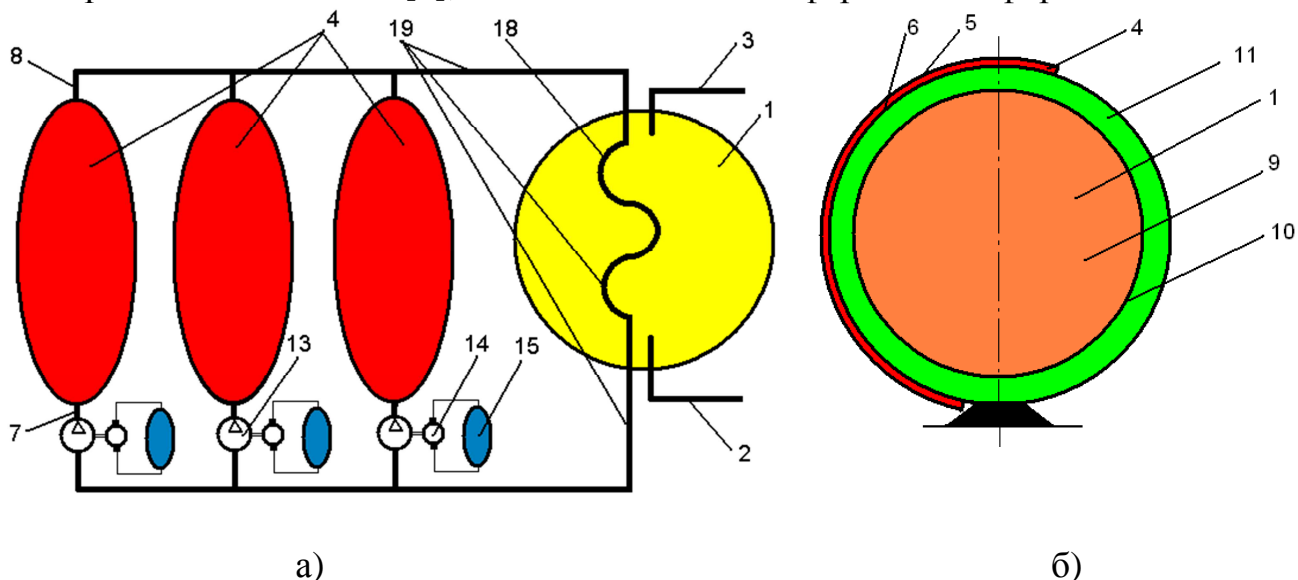


Рисунок 8 – Двухконтурная система солнечного горячего водоснабжения: а – схема; б – разрез; 1, 9 – бак-аккумулятор в форме шара; 2 – патрубок холодной воды; 3 – патрубок горячей воды; 4 – жидкостный солнечный коллектор; 5 – прозрачная изоляция; 6 – поглощающая панель; 7, 8 – патрубки; 10 – сферическая поверхность; 11 – термоизоляция; 12 – сегмент сферы; 13 – насос; 14 – электродвигатель; 15, 17 – солнечная батарея (СБ) сферической формы; 16 – сегмент солнечной батареи; 18 – теплообменник; 19 – замкнутый контур



Под действием солнечной прямой и рассеянной радиации, поступающей сквозь прозрачную изоляцию на поверхность поглощающей панели, происходит нагрев теплоносителя, который циркулирует по замкнутому контуру, отдавая тепловую энергию в бак-аккумулятор.

На поверхность солнечных коллекторов, выполненных в виде сегментов сферы, солнечная радиация поступает неравномерно, в зависимости от положения солнца над горизонтом. Скорость циркуляции жидкости в контуре пропорциональна интенсивности солнечной радиации, а температура на выходе коллекторов примерно одинакова, что обеспечивает наивысший потенциал в контуре и нагрев воды в баке-аккумуляторе на большую температуру.

Выполнение солнечных коллекторов в виде сегментов сферы повышает эффективность использования солнечной энергии, так как солнечные лучи всегда перпендикулярны поверхности сферы и фокусируются за счет сферической прозрачной изоляции на поверхности поглощающей панели.

Для СК предлагаемой сферической формы справедливо выражение

$$(7)$$

где  $Q_i$  – мощность потока суммарной солнечной радиации на поверхности  $i$ -го сегмента сферического коллектора, Вт/м<sup>2</sup>;

$n$  – количество сегментов сферического СК, на которые падает солнечная радиация.

В четвертой главе («Работа систем солнечного горячего водоснабжения в производственных условиях») приведены результаты производственных испытаний исследованных ССГВ.

В июле-августе 2007 года был проведен ряд испытаний гелиоколлектора «СОКОЛ» в составе ССГВ в пригороде Красноярска (рис. 9).

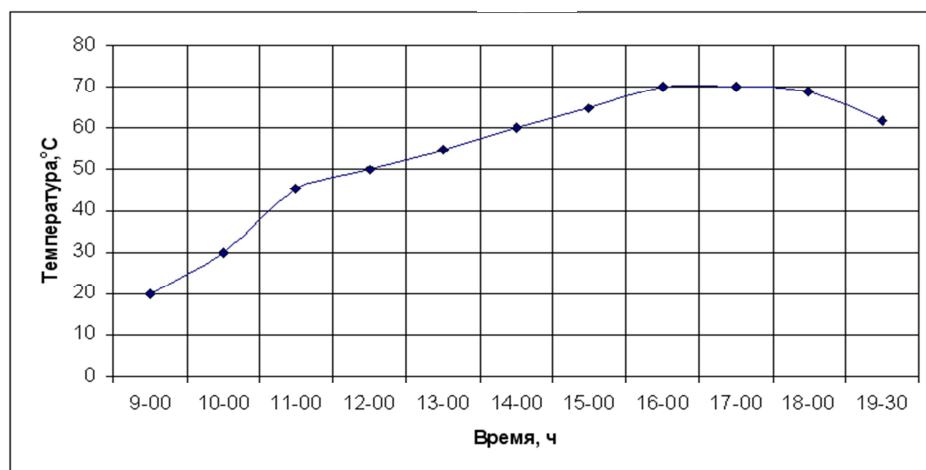


Рисунок 9 – ССГВ на базе гелиоколлектора «Сокол» в СНТ «Нива» Емельяновского района Красноярского края и динамика нагрева теплоносителя в баке аккумулятора

Цель эксперимента заключалась в определении возможности и целесообразности практического использования ССГВ для удовлетворения потребностей в горячей воде жилого дома в климатических условиях

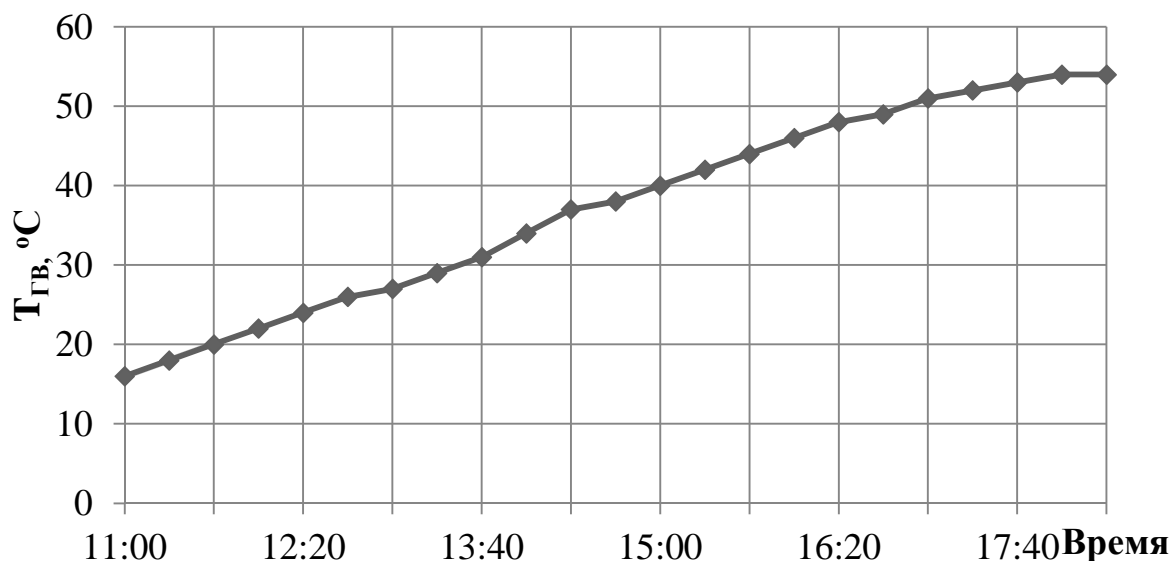
пригорода Красноярска. Установка была смонтирована на плоской поверхности с углом наклона  $43^{\circ}$  по отношению к горизонту и ориентирована в южном направлении. В качестве теплоносителя использовалась вода. В составе установки использовался бак-аккумулятор емкостью 80 л для сохранения тепловой энергии, полученной от СК и передачи ее теплоносителю.

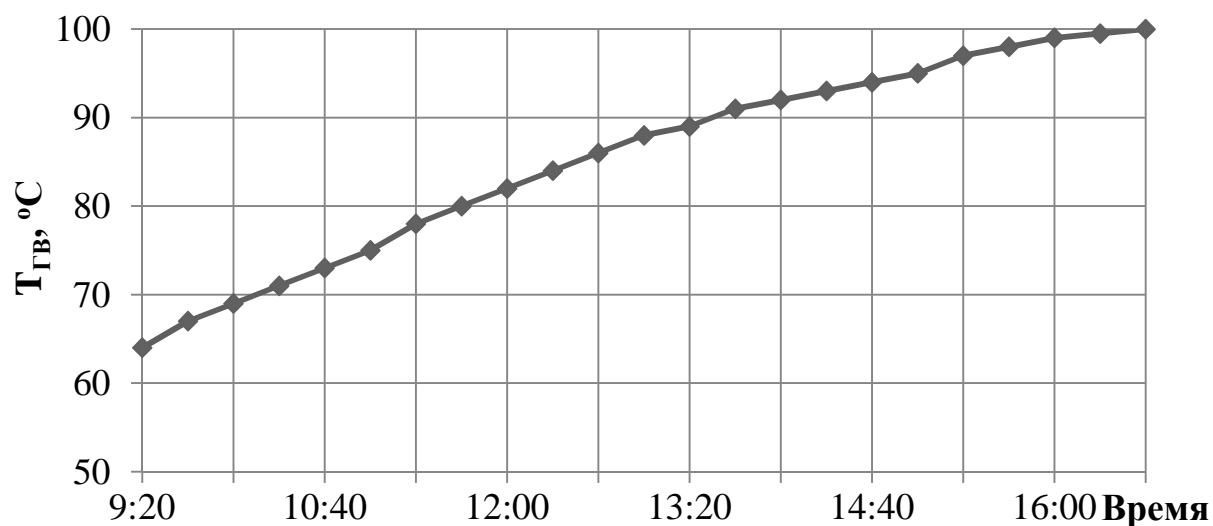
Проведенный эксперимент с ССГВ, разработанной нами и выполненной согласно рис. 3, показал (табл. 2), что накопление воды с более высокой температурой в верхнем слое на  $3,0 - 5,6^{\circ}\text{C}$  выше, чем при традиционной конструкции ССГВ. При этом экономия электрической энергии за счет более полного использования СР в ССГВ составляет около 10 %.

Таблица 2 – Результаты экспериментальных исследований ССГВ согласно патенту РФ на изобретение № 2382291

Время суток, ч	Температура воды в баке-аккумуляторе по зонам, $^{\circ}\text{C}$			
	1	2	3	4
9-00	19,6	19,6	19,6	19,6
10-00	32,9	29,5	22,7	37,0
11-00	46,2	38,2	30,1	52,3
12-00	56,2	42,8	33,3	63,9
13-00	63,6	50,5	37,3	75,8
14-00	71,7	55,4	40,6	82,3
15-00	75,8	61,0	45,5	74,0
16-00	73,3	63,4	47,5	68,2
17-00	70,0	60,7	47,7	62,8
18-00	67,2	58,8	46,7	59,9
19-00	64,1	57,5	45,2	57,8
20-00	62,2	54,8	43,9	53,9
21-00	60,0	52,1	42,0	51,8

Более эффективным все же является использование ССГВ с вакуумированными СК. Так, в марте месяце в условиях Красноярска возможно нагреть холодную воду до  $55^{\circ}\text{C}$  (рис. 10, а), а накануне нагретую в ССГВ воду – довести до кипения (рис. 10, б).





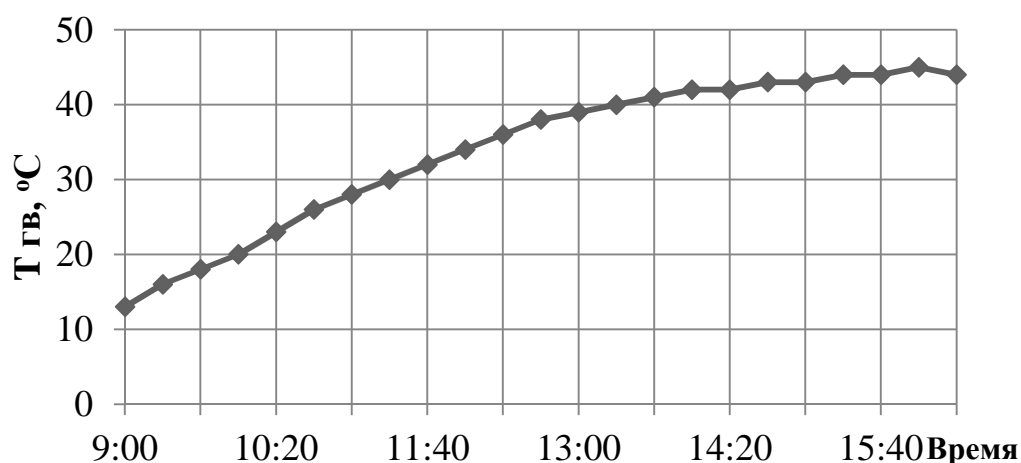
б

*Рисунок 10 – Кривая температуры нагрева воды в баке-аккумуляторе (100 % наполняемость бака водой) ССГВ НМ-16х18/58:*

*а – 04 марта 2011 г., наружная температура во время измерений изменялась от  $-9^{\circ}\text{C}$  до  $-5^{\circ}\text{C}$ , ясно;*

*б – 14 марта 2011 г., наружная температура во время измерений изменялась от  $-4^{\circ}\text{C}$  до  $+4^{\circ}\text{C}$ , ясно*

На рисунке 11 представлена экспериментальная кривая температуры нагрева воды в баке-аккумуляторе (20 % наполняемость бака водой) ССГВ НМ-16х18/58.



*Рисунок 11 – Кривая температуры нагрева воды в баке-аккумуляторе (20 % наполняемость бака водой) ССГВ НМ-16х18/58 (15 марта 2011 г., наружная температура во время измерений изменялась от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $-12^{\circ}\text{C}$ , сплошная облачность)*

Как показало сравнение результатов моделирования режимов работы предлагаемой конструкции ССГВ с вакуумированным СК с экспериментальными данными, расхождение результатов не превышает инженерной точности – 10 %. Экономия электрической энергии ССГВ за счет более полного приближения графика выработки горячей воды к графику ее потребления составляет 11 – 13 %.

**В пятой главе «Технико-экономическое обоснование системы солнечного горячего водоснабжения сельских бытовых потребителей»** приведены методика и результаты моделирования технико-экономических показателей разных конструкций ССГВ.

Результаты моделирования, выполненного для четырех ССГВ с вакуумированными СК, различающимися эффективной площадью СК, объемом бака и соответственно количеством получаемой тепловой энергии, а также различными значениями тарифов на электроэнергию показали:

1. При существующей величине тарифа на электроэнергию для населения, проживающего в сельских населенных пунктах Красноярского края (1,06 руб/кВт·ч (по социальной норме) и 1,86 руб/кВт·ч (сверх социальной нормы)), республики Хакасия (0,923 руб/кВт·ч) и республики Тыва (1,53 руб/кВт·ч) использование ССГВ для горячего водоснабжения сельских бытовых потребителей с централизованным электроснабжением не оправдано.

2. В перспективе, при прогнозируемом росте тарифов на электроэнергию, система комбинированного ГВС дает определенный экономический эффект, значение которого зависит от типа ССГВ. Величина годового экономического эффекта будет зависеть не только от тарифа на электроэнергию от внешнего источника, но и от затрат на эксплуатацию ССГВ, которые в свою очередь зависят от ее стоимости. Учитывая тенденцию снижения стоимости ССГВ и увеличения тарифов, в перспективе комбинированное ГВС сельских жилых домов будет конкурентоспособно по сравнению с электроводонагревателями.

3. Себестоимость производства тепловой энергии ССГВ лежит в пределах 1,5–1,9 руб/кВт·ч, что при использовании автономных систем электроснабжения удаленных от электрических сетей сельских бытовых потребителей обеспечит приемлемые сроки окупаемости затрат на создание системы комбинированного горячего водоснабжения.

## **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

1. На основании системного анализа конструкций ССГВ установлено, что существующие ССГВ нерационально преобразуют солнечную радиацию в тепловую энергию горячей воды. Перспективным направлением решения данной проблемы является повышение потребительских свойств ССГВ за счет нагрева воды в утренние часы до более высокой температуры, а также путем учета пространственно-временного изменения солнечной радиации и других природно-климатических факторов при проектировании и использовании ССГВ на территории Красноярского края, республик Хакасия и Тыва.

2. Разработанная в среде Maple квазипериодическая модель поля суммарной солнечной радиации (по базам данных 11-ти актинометрических станций Красноярского края, республик Хакасия и Тыва за период с января 1980 г. по декабрь 2005 г.) со среднеквадратическим отклонением от действительных значений, не превышающим 8,3 %, позволяет определять количество суммарной солнечной радиации, приходящей на земную поверхность при известных географических координатах местности за интересующий период времени для местностей, лежащих внутри поверхности земли, очерченной географическими координатами актинометрических станций на территории Красноярского края, республик Хакасия и Тыва: Енисейск  $\varphi = 58^{\circ}27'$  с.ш.,  $\psi = 92^{\circ}90'$  в.д.; Кызыл  $\varphi = 51^{\circ}43'$  с.ш.,  $\psi = 94^{\circ}30'$  в.д.; КАТЭК  $\varphi = 55^{\circ}32'$  с.ш.,  $\psi = 89^{\circ}12'$  в.д.

3. Разработанная модель режимов работы ССГВ, базирующаяся на моделях поля солнечной радиации и температуры воздуха позволяет с инженерной точностью, при известных технических характеристиках ССГВ и заданных географических координатах ее места установки, рассчитать суточный график температуры горячей воды при изменении угла наклона СК, суточную (месячную, годовую и за заданный период) выработку тепловой энергии ССГВ, а также коэффициент замещения.

4. Моделирование в подпрограмме «ССГВ» суточного графика температуры горячей воды в баке-аккумуляторе ССГВ с вакуумированным СК при изменении объема воды показало, что предложенная конструкция ССГВ с регулируемым уровнем требуемую температуру горячей воды  $60^{\circ}\text{C}$  обеспечит за два часа в марте месяце при 20 %-м объеме воды в баке аккумулятора, тогда как полный бак воды нагреется всего до  $23^{\circ}\text{C}$ , а в течение дня до  $55^{\circ}\text{C}$ .

5. Предложенные конструкции ССГВ позволяют повысить эффективность использования солнечной энергии: в первой оригинальной конструкции – за счет использования обечайки вокруг теплообменника для концентрации горячей воды в баке-аккумуляторе ССГВ; во второй – за счет того, что в ССГВ с вакуумированным СК, бак-аккумулятор снабжен устройством для сбора горячей воды, выполненным в виде плавающей платформы, при этом нижняя поверхность платформы выполнена конусообразно, с отверстием посередине, в которое установлено водозаборное устройство; в третьей конструкции – за счет оригинальной, состоящей в виде сегментов сферы сферической конструкции СК; что позволяет повысить эффективность нагрева воды. Разработанные конструкции ССГВ сочетают в себе функции проточного и аккумуляционного водонагревателя и позволяют использовать в качестве источника СР, ветровую энергию и электрическую энергию (доводчик-дублер), при этом при небольшом расходе воды потребителю поступает горячая вода, независимо от интенсивности и продолжительности солнечного сияния.

6. Проведенные в июле-августе 2007 г. испытания гелиоколлектора «СОКОЛ» в составе ССГВ, смонтированном под углом наклона  $43^{\circ}$  по отношению к горизонту и ориентированном в южном направлении в пригороде Красноярска с отклонением менее 5% подтвердили расчетные значения

равновесной температуры гелиоколлектора и выработки тепловой энергии. В ходе экспериментальных исследований установлено, что градиент температуры воды в баке-аккумуляторе водонагревательной установки, в котором водонагревательная установка снабжена обечайкой, выполненной в виде усеченного конуса, с установленным в нем теплообменником, соединенным с гелиоколлектором, возрастает, что способствует накоплению воды с более высокой температурой в верхнем слое (на 3,0–5,6 °С выше, чем при традиционной конструкции ССГВ). Как показало сравнение результатов моделирования режимов работы предлагаемой конструкции ССГВ с вакуумированным СК с экспериментальными данными, расхождение результатов не превышает инженерной точности – 10 %. Экономия электрической энергии СГВ за счет более полного приближения графика выработки горячей воды к графику ее потребления составляет 11–13 %.

7. Установлено, что при существующей величине тарифов на электроэнергию для сельских жителей в Красноярском крае, республиках Хакасия и Тыва использование систем солнечного горячего водоснабжения сельских бытовых потребителей при централизованном электроснабжении экономически не оправдано. Себестоимость производства тепловой энергии ССГВ лежит в пределах 1,5–1,9 руб./кВт·ч, что при использовании автономных систем электроснабжения удаленных от электрических сетей сельских бытовых потребителей обеспечит приемлемые сроки окупаемости затрат на создание системы комбинированного горячего водоснабжения. Установлено, что наиболее перспективным является использование ССГВ для горячего водоснабжения сельских бытовых потребителей республики Тыва, где тариф на электрическую энергию сельскому населению сравнялся с себестоимостью производства тепловой энергии ССГВ.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ**

*В изданиях, рекомендованных ВАК:*

1. **Судаев, Е.М.** Теоретические модели поля солнечной радиации и результаты исследований солнечного водонагревателя в климатических условиях Красноярского края / **А.В. Бастрон, А.А. Беляков, Е.М. Судаев** // Вестник КрасГАУ. – 2008. – № 4. – С. 245–254.

2. Пат. № 2319910 РФ. Двухконтурная система солнечного горячего водоснабжения / **А.В. Бастрон, Е.М. Судаев, П.П. Лемясов**. Бюл. 2008. № 8.

3. **Судаев, Е.М.** Исследование и производственные испытания в условиях Красноярска солнечных водонагревательных установок с вакуумированными коллекторами / **А.В. Бастрон, Е.М. Судаев** // Ползуновский Вестник. – 2011. – № 2/2. – С. 221–225.

*Свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ*

4. **Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2006611289.** Квазипериодическая модель суммарной солнечной радиации [Текст] / А.А. Беляков, А.В. Бастрон, Е.М. Судаев [и др.]. – Зарегистрирована в Реестре программ для ЭВМ 17.04.2006 г.

5. **Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2009612202.** Квазипериодическая модель поля средней температуры воздуха [Текст] / А.А. Беляков, А.В. Бастрон, Е.М. Судаев [и др.]. – Зарегистрирована в Реестре программ для ЭВМ 29.04.2009 г.

*В других изданиях*

6. **Судаев, Е.М.** Проблемы горячего водоснабжения сельскохозяйственных потребителей с использованием солнечной энергии / Е.М. Судаев, А.В. Корнев // Красноярский край: освоение, развитие, перспективы: тез. докл. регион. студ. науч. конф. Ч. 2 / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2003. – С. 166.

7. **Судаев, Е.М.** Система горячего водоснабжения коттеджа с использованием гелиоколлектора «Сокол» в климатических условиях г. Красноярска / А.В. Бастрон, Е.М. Судаев // Красноярск. Энергоэффективность: достижения и перспективы: мат-лы V Всерос. науч.-практ. конф. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. – С. 67–71.

8. **Судаев, Е.М.** Особенности использования солнечных водонагревательных установок в климатических условиях Красноярского края / А.В. Бастрон, Е.М. Судаев // Энергетика и энергосбережение: прил. к «Вестнику КрасГАУ». – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2005. – С. 205–209.

9. **Судаев, Е.М.** Математическое моделирование потенциала солнечной энергии на территории Красноярского края, республик Хакасия и Тыва / А.В. Бастрон, А.А. Беляков, Е.М. Судаев [и др.] // Энергоэффективность систем жизнеобеспечения города: мат-лы VI Всерос. науч.-практ. конф. / Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. – С. 296–300.

10. **Судаев, Е.М.** Моделирование режимов работы систем солнечного горячего водоснабжения сельских жилых домов / А.В. Бастрон, А.А. Беляков, Е.М. Судаев [и др.] // Аграрная наука на рубеже веков: мат-лы науч. конф. КрасГАУ / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2006. – С. 168–171.

11. **Судаев, Е.М.** Моделирование поля солнечной радиации на территории Красноярского края, республик Хакасия и Тыва / А.В. Бастрон, А.А. Беляков, Е.М. Судаев // Машино-технологическое, энергетическое и сервисное обслуживание сельхозтоваропроизводителей Сибири: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения академика ВАСХНИЛ А.И. Селиванова (9–11 июня 2008 г., Краснообск) / Россельхозакадемия. Сиб. отд-ние. ГНУ СибИМЭ. – Новосибирск, 2008. – С. 258–264.

12. **Судаев, Е.М.** Горячее водоснабжение коммунально-бытовых потребителей на селе с использованием солнечных водонагревательных установок в климатических условиях Красноярского края / А.В. Бастрон, А.А. Беляков, Е.М. Судаев // Электроэнергетика в сельском хозяйстве: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. (26–30 июня 2009 г., Респ. Алтай, Чемал. р-н, база НГТУ Эрлагол / Россельхозакадемия. Сиб. регион. отд-ние. – Новосибирск, 2009. – С. 189–196.

13. **Двухконтурная система солнечного горячего водоснабжения:** информ. листок 24-018-10 / А.В. Бастрон, Е.М. Судаев. – М.: Росинформресурс, 2010. – 4 с.

14. **Водонагревательная установка для комбинированного использования нескольких возобновляемых источников энергии:** информ. листок 24-037-10 / А.В. Бастрон, Е.М. Судаев. – М.: Росинформресурс, 2010. – 4 с.

15. **Судаев, Е.М.** Энергоэффективные системы солнечного горячего водоснабжения / А.В. Бастрон, Е.М. Судаев // Энергетика в глобальном мире: сб. тез. докл. первого междунар. науч.-практ. конгресса. – Красноярск: Версо, 2010. – С. 204–205.

16. **Система солнечного горячего водоснабжения с вакуумированным трубчатым солнечным коллектором:** информационный листок 24-003-11 / А.В. Бастрон, Е.М. Судаев. – М.: Росинформресурс, 2011. – 4 с.

17. **Судаев, Е.М.** Горячее водоснабжение коммунально-бытовых потребителей АПК с использованием солнечной энергии / А.В. Бастрон, Н.Б. Михеева, Е.М. Судаев // Инновации в науке и образовании: опыт, проблемы, перспективы развития: мат-лы Всерос. очно-заоч. науч.-практ. и науч.-метод. конф. с междунар. участием. Ч. 2. Инновации в науч.-практ. деятельности / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2011. – С. 118–121.

18. **Судаев, Е.М.** Экономическая эффективность систем солнечного горячего водоснабжения сельских жилых домов / А.В. Бастрон, Н.Б. Михеева, Е.М. Судаев // Инновации в науке и образовании: опыт, проблемы, перспективы развития: мат-лы Всерос. очно-заоч. науч.-практ. и науч.-метод. конф. с междунар. участием. Ч. 2. Инновации в науч.-практ. деятельности / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2011. – С. 121–124.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 24.49.04.953.П. 000381.09.03 от 25.09.2003 г.

Подписано в печать 25.04.2012. Формат 60x84/16. Бумага тип. № 1.

Печать – ризограф. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 1720

Издательство Красноярского государственного аграрного университета

660017, Красноярск, ул. Ленина, 117