

На правах рукописи



Рахматулин Ильдар Рафикович

**РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ
СОЛНЕЧНОЙ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С СИСТЕМОЙ
СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ**

Специальность 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Челябинск – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет) на кафедре электротехники и возобновляемых источников энергии.

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор **Кирпичникова Ирина Михайловна**

Официальные оппоненты:

Яруллин Ринат Бариевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Машины, аппараты, приборы и технологии сервиса» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Уфимский государственный университет экономики и сервиса», г. Уфа.

Бастрон Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электроснабжение сельского хозяйства» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Красноярский государственный аграрный университет», г. Красноярск.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург.

Защита состоится 24 апреля 2015 г. в 12:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.298.05 при ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет) по адресу: г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ауд. 1001.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет) и на интернет-портале ЮУрГУ по адресу:

<http://www.susu.ac.ru/ru/dissertation/d-21229805/rahmatulin-ildar-rafikovich>.

Автореферат разослан «__» _____ 2015 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, гл. корпус, Ученый совет ЮУрГУ, тел./факс: +7 (351) 267-91-23.

E-mail: grigorevma@susu.ac.ru.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.298.05
д-р техн. наук, доцент.

Григорьев
Максим Анатольевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Актуальность работы. В соответствии с Государственной программой Российской Федерации «Энергоэффективность и развитие энергетики» на 2013–2020 гг. (распоряжение от 3 апреля 2013 г., № 512-р) в России все большее внимание уделяется использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Солнечная энергия как наиболее доступный, неисчерпаемый и перспективный источник энергии находит свое применение в различных процессах и установках, решая при этом вопросы снижения потребления электроэнергии в них.

Актуальность данной темы обусловлена существующим на сегодняшний день сокращением объемов пресной воды для энергодефицитных районов Урала и Зауралья. Применение опреснителей для данных территорий с использованием солнечной энергии может решить эту проблему. При этом высокую производительность солнечных опреснителей можно обеспечить за счет автоматизации технологического процесса опреснения и использования устройства слежения за солнцем.

Вследствие отсутствия зависимости производительности солнечной опреснительной установки от ее географического расположения невозможно рассчитать необходимую площадь солнечного коллектора и влияние устройства слежения на производительность и стоимость установки.

Исходя из этого, актуальным является проведение теоретических исследований, на основании которых будет создана математическая модель, позволяющая рассчитать производительность установки при различных режимах работы.

При разработке солнечных опреснителей необходимо исследовать тепловые режимы, конструкции опреснителя, возможность использования устройства слежения за солнцем и автоматизации установки. Разработка электрической схемы управления процессом позволит создать автономную солнечную опреснительную установку, предназначенную не только для бытового, но и для промышленного использования.

Степень научной разработанности проблемы. В основу данной работы легли труды В.И. Виссарионова, Д.С. Стребкова, Э.В. Тверьяновича, П.П. Безруких, О.С. Попеля, В.В. Елистратова, Л.А. Саплина, Ю.А. Амирханова, В.Н. Слесаренко, В.Ф. Коваленко, Г.Я. Лукина и других ученых, которые внесли неоценимый вклад в развитие использования солнечной энергии в ряде технологических процессов.

Объект исследования – комплексная солнечная опреснительная установка, включающая устройство опреснения, солнечные вакуумные коллекторы и электропривод системы слежения за солнцем.

Предмет исследования – процессы управления солнечной опреснительной установкой по критериям энергоэффективности.

Целью работы является создание комплексной энергоэффективной солнечной опреснительной установки (СОУ) с разработкой системы управления.

Идея работы. Повышение энергоэффективности солнечной опреснительной установки за счет разработки эффективного алгоритма управления и использования устройства слежения за солнцем.

В соответствии с указанной целью были поставлены **следующие задачи**:

1. Провести анализ конструкций и электрических схем управления установками очистки воды.

2. Провести обследование в потребности регионов в солнечных опреснительных установках.

3. Разработать математическую модель и комплексную опреснительную установку.

4. Разработать методы управления и электрический привод для регулирования положения плоскости солнечных коллекторов.

5. Рассчитать технико-экономическую эффективность использования разработанной установки в условиях Урала и Зауралья.

Методы исследований. В работе использовались методы теоретического и экспериментального исследований.

Теоретические методы исследования: теория электропривода, методы математического моделирования, методика расчетов основных узлов модернизируемых опреснительных установок, методика определения оптимальных экономических характеристик опреснителей, методика расчета среднечасового прихода солнечного излучения на произвольно-ориентированную приемную площадку.

Методы экспериментального исследования: предварительные, лабораторные и производственные испытания разработанных образцов.

Достоверность полученных результатов определяется корректностью поставленных задач и целей, сравнением результатов, полученных в ходе математических расчетов и экспериментальных исследований.

Научные положения, выносимые на защиту, и их научная новизна

1. Теоретически обоснована потребность в использовании солнечных опреснительных установок с системой слежения за солнцем на территориях от 55 до 60° северной широты с поступлением солнечной радиации в пределах 1000–1300 кВт·ч/м² в год.

2. На основе математической модели, позволяющей в зависимости от климатических условий указать наиболее выгодное соотношение распределения солнечной энергии, разработана комплексная опреснительная установка, которая учитывает режимы работы при кратковременной облачности и в условиях длительного затенения.

3. Предложена новая схема автоматизации работы СОУ с применением солнечных коллекторов и системы слежения за солнцем, обеспечивающая

высокую производительность при низких эксплуатационных затратах и позволяющая получить максимальный положительный баланс между вырабатываемой тепловой энергией и потреблением электрической энергии.

Практическая значимость работы заключается в том, что:

– разработанная математическая модель СОУ может быть использована автономными потребителями и промышленными предприятиями для расчета производительности солнечной опреснительной установки при использовании ее в различных регионах и при различных климатических условиях;

– разработанная комплексная солнечная опреснительная установка может использоваться для опреснения воды как в бытовых, так и в промышленных масштабах;

– разработанное устройство слежения за солнцем отличается низкой стоимостью, простотой сборки и удобством эксплуатации.

Внедрение результатов в работу. Все работы, связанные с внедрением, проводились при непосредственном участии автора.

Результаты диссертационной работы внедрены и используются в производственной деятельности экспертным монтажно-наладочным предприятием ООО «УМНЭКС» в проекте «Электроснабжение частного жилого дома с использованием солнечных батарей» в г. Учалы Республики Башкортостан и компанией ООО «Новые технологии теплоснабжения» при создании производственного образца солнечной опреснительной установки.

Результаты работы внедрены в учебный процесс кафедры «Электротехника и возобновляемые источники энергии» энергетического факультета как раздел «Исследование влияния различных режимов работы солнечных коллекторов на производительность солнечной опреснительной установки и теплового котла» дисциплины «Энергетическое использование гелиоресурсов» для бакалавров, обучающихся по направлению 140400.62 – Электроэнергетика и электротехника.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались в полном объеме на Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Энерго– и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» (г. Екатеринбург, УрФУ, 2011 г.); на ежегодных IV и V научных конференциях аспирантов и докторантов (ЮУрГУ, г. Челябинск, 2012 г., 2013 г.); на LXIV и LXV научных конференциях ЮУрГУ. Секция электроэнергетики и возобновляемых источников энергии (ЮУрГУ, г. Челябинск, 2012 г., 2013 г.); на XXI Международной научно-практической конференции «Модернизация научных исследований» (Украина, г. Горловка, 2012 г.); на XII Международной научно-практической конференции МНИЦ (г. Пенза, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, 2012 г.); на VIII Международном симпозиуме по фундаментальным и прикладным проблемам науки (с. Непряхино, Челябинская обл., 2013 г.), на Международной

конференции в Канаде – QUEST 2013 Conference – Integrated Energy Solutions for Every Community and other train in activities organized by IAEMM (Ottawa, ON). November, 2013; на Международной научно-технической конференции «Современные проблемы электроэнергетики. Алтай, 2013» (г. Барнаул, Алтайский Государственный Технический Университет, 2013 г.)

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 научных работ, в том числе 5 статей в журналах, входящих в **перечень, рекомендуемый ВАК**, 5 статей в журналах, включенных в Российский индекс цитирования (РИНЦ), тезисы 2-х докладов на Всероссийских конференциях, тезисы 2-х докладов на Международных конференциях. Имеется 4 патента РФ на полезную модель.

Личный вклад автора состоит в постановке задач исследования, разработке методов исследования, в формулировании и доказательстве научных положений: в работах [1 – 3] автору принадлежит ведущая роль в постановках задач и в проведении экспериментальных исследований, в публикации [4] автору принадлежит разработка математической модели и результаты моделирования, в работе [5] – разработка системы контроля заряда, в работах [6 – 17] – постановка задач и проведение теоретических исследований.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 132 страницах основного текста, включает 57 рисунков, 14 таблиц и список используемой литературы из 201 наименования.

Соответствие научной специальности: исследование, проводимое в рамках диссертационной работы, полностью соответствует формуле и пп. 1 – 4 области исследования, приведенным в паспорте специальности 05.09.03.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследования, научные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе приведены результаты анализа различных методов очистки воды, на основании которых составлена их классификация, в которой особое внимание уделяется установкам, работающим на электрической энергии. Рассмотрена проблема дефицита пресной воды в мире, России, Урале и Зауралье. Проведен анализ возможности использования возобновляемых источников энергии для очистки воды, рассмотрены и проанализированы различные конструкции и электрические схемы установок очистки воды.

Установлено, что для территории Урала и Зауралья, в частности Курганской области, для повышения эффективности работы СОУ требуется разработка электропривода системы слежения за солнцем.

Выполненный обзор литературных источников позволил обосновать тему исследования, сформулировать цели и задачи исследований.

Во второй главе проведены теоретические исследования возможности использования энергии солнца для работы опреснительной установки в районах с умеренным климатом. Проведен анализ и осуществлены расчеты различных типов солнечных коллекторов. Разработан алгоритм работы электрической схемы установки (рис.1), в котором управление осуществляется за счет релейной логики, где датчики через электромагнитные реле управляют электромагнитными клапанами с нормально-закрытыми контактами, что позволяет экономить электрическую энергию в ночное время.

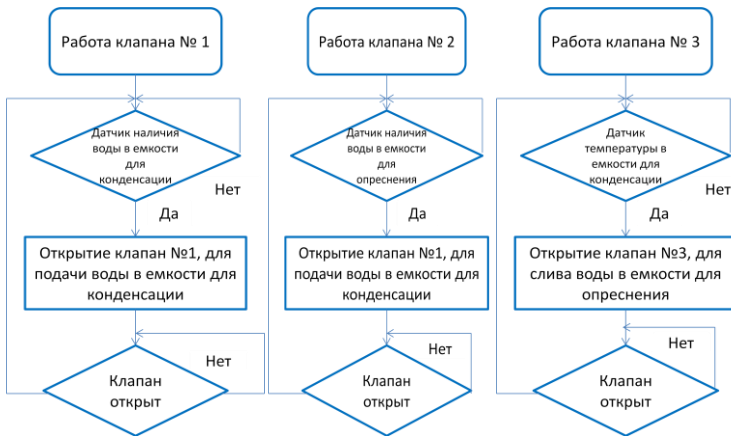


Рис.1. Алгоритм работы электромагнитных клапанов

Производительность солнечного коллектора определялась по формуле:

$$Q_{yd.i} = F_R \cdot (\alpha \cdot \delta) \cdot H_i \left[1 - \frac{U_L \cdot (T_{vh} - T_0)}{(\alpha \cdot \delta) \cdot H_i} \right] \cdot A, \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2,$$

где F_R – коэффициент переноса тепла от коллектора к жидкости, δ – коэффициент проникновения солнечной радиации; α – коэффициент поглощения солнечной радиации; U_L – коэффициент тепловых потерь, $\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$; T_0 – среднемесячная температура окружающего воздуха, К; T_{vh} – температура на входе в коллектор, К; A – площадь солнечного элемента, м^2 ; H_i – интенсивность излучения, падающего на горизонтальную поверхность, которая рассчитывается по формуле:

$$H_i = H \cdot \cos \varphi, \text{ кВт} / \text{м}^2,$$

где H – эталонное значение солнечной радиации ($1,36 \text{ кВт} / \text{м}^2$), φ – угол наклона луча к нормали этой поверхности, который определяется:

$$\cos \varphi = \cos(f - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin(f - \beta) \cdot \sin \delta,$$

где δ – угол склонения Солнца к горизонту, град., f – ширина местности, град., β – угол наклона рассматриваемой поверхности к плоскости, град., ω – часовой угол Солнца, град.

Угол склонения рассчитан по формуле:

$$\delta = 23,45^{\circ} \cdot \sin\left[360^{\circ} \cdot \frac{284+n}{365}\right], \text{ град.},$$

где n – порядковый номер дня года, отсчитываемый с 1 января.

Уравнение, характеризующее зависимость потребления тепловой энергии от объема очищенной воды опреснительной установки имеет вид:

$$N_{nomp.} = G_o \cdot \left[\frac{1}{a} \cdot (C_p \cdot (t_{c1} + \Delta t_n) - C_c \cdot t_{c1}) + (C_o - C_p) \cdot (t_{c1} + \Delta t_n) \right], \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где G_o – производительность установки, л/ч; a – доля обессоленной воды; C_p – теплоемкость рассола, кДж/кг·К; C_c – теплоемкость соленой воды, кДж/кг·К; C_o – теплоемкость дистиллята, кДж/кг·К; t_{c1} – температура приточной воды, К; Δt_n – разность температуры воды на входе в опреснитель и на выходе, К.

Уравнение производительности опреснителя:

$$G_o = \frac{k_t \cdot N_{nomp}}{\left[\frac{1}{a} \cdot (C_p \cdot (t_{c1} + \Delta t_n) - C_c \cdot t_{c1}) + (C_o - C_p) \cdot (t_{c1} + \Delta t_n) \right]} \text{ л/ч.}$$

Полученные данные являются исходными для расчета производительности установки с помощью разработанной математической модели (рис. 2), которая позволяет рассчитать производительность установки для любого региона и при различных начальных условиях.

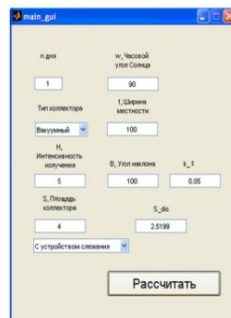


Рис. 2. Панель для ввода данных в Matlab

Для работы солнечного опреснителя в ночное время или при слабой солнечной активности были рассмотрены схемы включения в работу установок, работающих по принципу обратного осмоса (рис. 3).

В качестве управляющего устройства для включения в работу традиционных установок очистки воды могут использоваться расходомер и датчик освещенности Rf, связанные через аналоговый вход с микроконтроллером, который, исходя из анализа полученных данных, подает сигнал на включение вспомогательных установок PM1, через электромагнитное реле KM1.

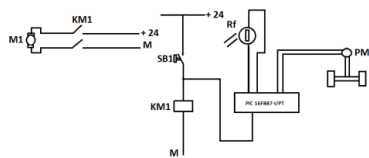


Рис. 3. Схема включения в работу установки работающей по принципу обратного осмоса: M1 – установка, работающая по принципу обратного осмоса; SB1 – ручной режим включения; PM1 – расходомер; Rf – датчик освещенности; KM1 – электромагнитное реле

Для питания электрической энергией механизмов солнечной опреснительной установки предусмотрена возможность использования солнечных батарей размером 425 x 300 мм,

мощностью 40 Вт, которые устанавливаются на переднюю плоскость опреснителя. Электрическая энергия, вырабатываемая солнечными батареями, может использоваться для электрического нагревателя, для этого рассчитаны необходимые уставки в программе микроконтроллера DW01-P, которые, получая данные от электрического аккумулятора, управляют энергией от солнечных батарей, направляя их на электрический аккумулятор или на электрический нагреватель.

В третьей главе описаны результаты испытаний разработанной солнечной опреснительной установки.

Для проведения экспериментальных исследований подтверждения результатов математического моделирования была сконструирована солнечная опреснительная установка (рис.4). Установка состоит из основания, на которое через шарнирные механизмы устройства слежения за солнцем установлена плоскость с солнечными коллекторами, тепловые трубки которых входят в опреснитель, состоящий из трех секций: конденсации, испарения и очищенной воды. Передача воды между секциями осуществляется через электромагнитные клапаны. Вода нагревается в секции для опреснения и конденсируется на нижней поверхности секции для конденсации, после чего очищенная вода подается потребителю.

Испытания установки проводились с июля по август 2013 года с 9.00 по 19.00 ч в координатах 54°19' с.ш. 59°23' в.д.

Результаты испытаний (рис. 5) показали, что производительность солнечной опреснительной установки при работе с вакуумными стеклянными полыми трубками составляет в среднем 0,5 л в сутки, что указывает на экономическую нецелесообразность использования данных типов коллекторов для очистки воды.

Испытания с использованием вакуумных коллекторов с тепловой трубкой проводились в тот же период при тех же условиях.



Рис. 4. Общий вид установки: 1 – шкаф управления; 2 – электромагнитные клапаны; 3 – трубки солнечного коллектора; 4 – опреснитель; 5 – электрический привод

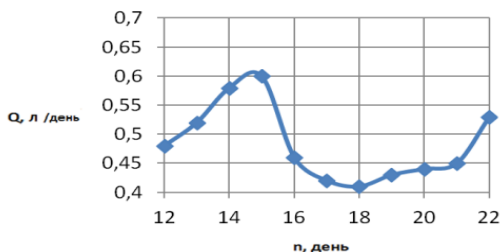


Рис. 5. Зависимость производительности солнечной опреснительной установки от времени при работе с вакуумными стеклянными полыми трубками в июле

Производительность установки при использовании вакуумного коллектора с тепловой трубкой в несколько раз превышает производительность установки при использовании вакуумной полой трубки и в среднем составляет 2,5 л в день (рис. 6).

Было установлено, что производительность установки во многом зависит от наличия облачности. При кратковременной облачности в среднем 10 мин с интервалом безоблачности в 30 мин энергии двух трубок вакуумного коллектора не достаточно для того, чтобы довести воду объемом 1,2 л до температуры кипения.

При отсутствии устройства слежения за солнцем важными факторами, влияющими на производительность установки, являются угол наклона солнечного коллектора к горизонту и его расположение по азимуту.

Увеличение количества вакуумных трубок на 4 единицы в среднем повысит производительность установки до 8 л в сутки в условиях Урала.

Производительность установки максимальна в часы, когда солнце находится в зените, и плоскость солнечных коллекторов расположена перпендикулярно падению солнечных лучей. В других случаях необходимо использовать устройство слежения за солнцем, которое позволит удерживать плоскость с солнечными коллекторами под прямым углом к солнцу в течение всего дня, что заметно повысит производительность установки.

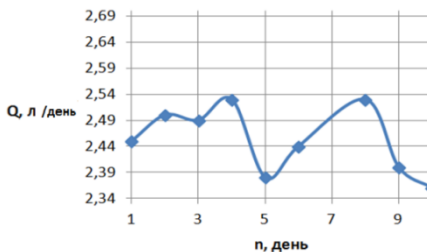


Рис. 6. Зависимость производительности установки от времени при использовании вакуумного коллектора с тепловыми трубками в июле

В четвертой главе описано устройство слежения за солнцем, рассмотрены различные схемы преобразования измерительного сигнала фотозадающих элементов в необходимый диапазон напряжения или тока. Схемы, используемые при испытании, показаны на рис. 7.

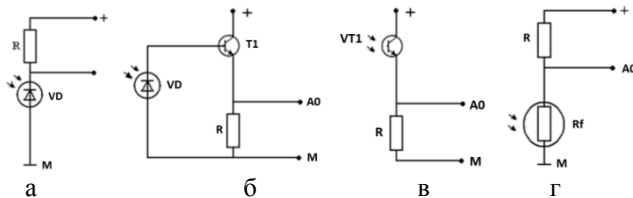


Рис. 7. Схемы включения в цепь платы управления фотодиода – а, б, фототранзистора – в, фоторезистора – г: А0 – аналоговый вход микроконтроллера по напряжению; VD – фотодиод; T1 – транзистор; VT1 – фототранзистор; Rf – фоторезистор

Была рассчитана величина добавочного сопротивления для схемы с использованием фоторезистора с учетом того, что напряжение на входе микроконтроллера А0 должно лежать в диапазоне от 0 до 5 В, по следующей формуле:

$$R = \frac{U_{mk} \cdot R_{\Phi}}{U - U_{mk}} \text{ Ом},$$

где R – добавочное сопротивление, Ом; R_{Φ} – сопротивление фоторезистора, Ом; U_{mk} – напряжение на входе микроконтроллера, В; U – приложенное напряжение, В.

При использовании установки в регионах, в которых возможен резкий перепад температуры, способный повлечь за собой изменение темнового сопротивления фоторезистора более чем на 5 %, в целях термокомпенсации вместо добавочного сопротивления необходимо использовать фоторезистор такой же марки, как и в датчике слежения.

Необходимость использования определяется формулой:

$$T_k = \frac{I_{c\phi 2} - I_{c\phi 1}}{I_{c\phi 1} (t_2 - t_1)} \cdot 100\%, \text{ } ^\circ\text{C},$$

где $I_{c\phi 1}$ – световой ток в цепи при температуре t_1 , $I_{c\phi 2}$ – световой ток в цепи при температуре t_2 .

Были проведены экспериментальные исследования различных фотоэлементов: фоторезисторов типа СФ2-1, ФР-764, ФР-765, СФ2-16, СФ3-1, ФР1-3 и др., фотодиодов типа ВРW41N, ВРW34, ФД256, ФД263-01 и др. Испытания проводились на исследовательском стенде (рис.8).

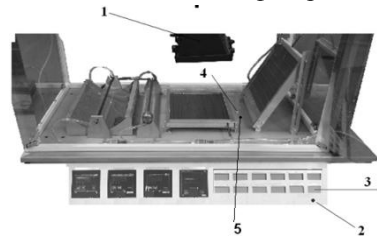


Рис. 8. Экспериментальный стенд: 1 – лампа накаливания; 2 – регулировка интенсивности излучения лампы накаливания; 3 – показания интенсивности излучения лампы накаливания; 4 – фотодатчик; 5 – датчик интенсивности

На стенде моделировался процесс движения Солнца в течение дня для различных времен года, и снимались показания с фотоэлементов (рис.9).

Плавная характеристика зависимости напряжения на входе микроконтроллера от интенсивности солнечного излучения на фотоэлементе является главным показателем для устройства слежения за солнцем, работающего на показаниях одного фотодатчика. При работе фоторезистора необходимо сделать только одну уставку по напряжению фотоэлемента, срабатывание которой запускает

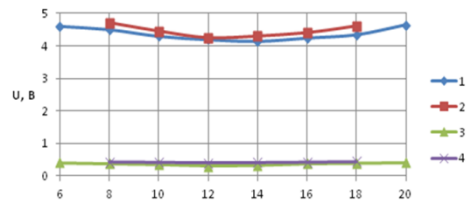


Рис. 9. Падения напряжения на фоторезисторе в январе (1) и в июне (2) в течение дня и падения напряжения на фотодиоде в январе(3) и в июне (4) в течение дня

подпрограмму “поиска солнца”, что обеспечивает плавность регулирования в течение всего дня. Из рис. 9 видно, что использование фотодиода без вспомогательных устройств по усилению сигнала не представляется возможным, т.к. на выходе получается небольшой диапазон изменения напряжения, что существенно понижает чувствительность датчика, делая устройство слежения за солнцем неэффективным.

Была составлена электрическая схема платы управления (рис.10), и произведены расчеты элементов платы.

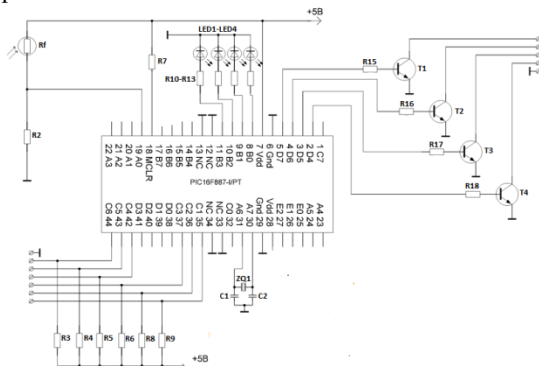


Рис. 10. Электрическая схема платы управления: Rf – фотодатчик; LED1, LED2, LED3, LED4 – светодиоды для индикации работы устройства слежения за солнцем; T1, T2, T3, T4 – транзисторы для управления электрическими приводами

В устройстве слежения за солнцем, работающем по показанию одного фотодатчика, в качестве основы рекомендуется использовать фоторезистор ФР1-3 с приложенным напряжением 5 В, добавочным сопротивлением 51 кОм и уставкой по напряжению 0,15 В.

С платы управления (рис. 11) управляющий сигнал через транзисторы T1 – T4 подается на электрические приводы, регулирующие положение плоскости



Рис. 11. Общий вид платы управления

трубок коллектора по высоте и по азимуту (рис.12). Был проведен анализ известных электрических приводов для работы в составе устройства слежения за солнцем, был разработан электрический привод на основе мотор-редуктора ЭПС-4 для работы в солнечной опреснительной установке, соответствующий по

следующим параметрам: потреблению постоянного тока, габаритам, нагрузочному моменту.

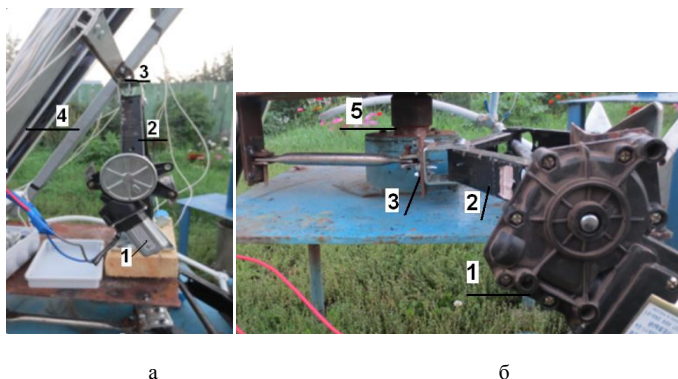


Рис. 12. Приводы управления положением вакуумных трубок по высоте (а) и по азимуту (б): 1 – мотор-редуктор; 2 – механический домкрат; 3 – шарнирный механизм; 4 – трубки вакуумного коллектора; 5 – подшипник

Данную конструкцию отличает низкая стоимость, простота сборки, монтажа и эксплуатации.

В пятой главе описан процесс влияния устройства слежения за солнцем на производительность солнечной опреснительной установки. Эксперименты проводились в летний период с 9.00 по 19.00 в координатах 54° 19' с.ш. и 59° 23' в.д.

Производительность солнечной опреснительной установки с устройством слежения за солнцем возрастает за счет увеличения производительности установки в послеобеденные часы (рис. 13). Это связано с тем, что в утренние часы интенсивность солнечного излучения не доходит до своего пика и получаемая от солнца энергия идет не на испарение соленой воды, а на нагрев воды до температуры кипения. В послеобеденные часы интенсивность испарения воды достигает пика и держится на этом уровне до вечера.

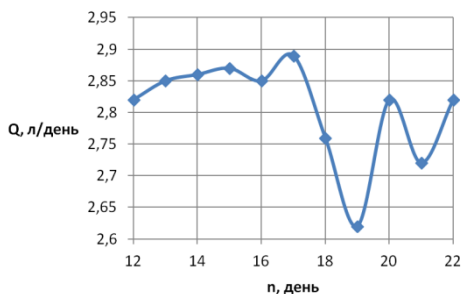


Рис. 13. Зависимость производительности лабораторной опреснительной установки от времени с устройством слежения за Солнцем в августе

При отсутствии солнца продолжительное время в течение дня, устройство слежения повышает производительность установки с двумя вакуумными коллекторами на 0,155 л. В солнечную погоду производительность возрастает на 0,92 л.

Использование устройства слежения приводит к увеличению потребления электрической энергии, величина которой зависит от времени года и рассчитывается по формуле:

$$P_{pr} = P_{az} + P_{zen} + P_{MK}, \text{ Вт.}$$

Сравнение расчетных и экспериментальных данных производительности установки с устройством слежения и без него (рис. 14) показали, что минимальное расхождение между ними было при максимальной солнечной активности в течение всего дня.

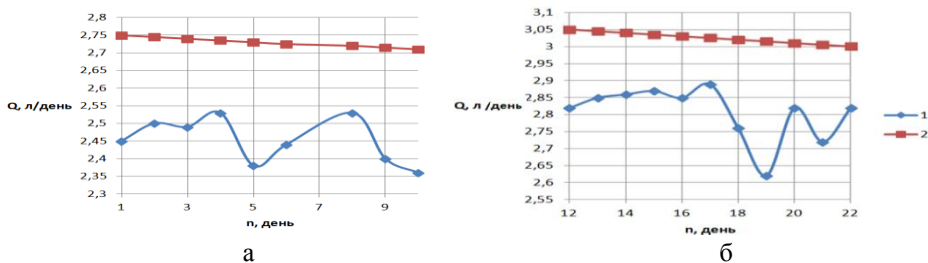


Рис. 14. Расчетная (1) и экспериментальная (2) производительности установки без устройства слежения (а) и с устройством слежения (б)

Разница в показаниях для установки без устройства слежения составляет 0,12 л (4%) с устройством слежения 0,15 л (5%). Таким образом, математическая модель для расчета производительности солнечной опреснительной установки адекватно описывает процесс очистки воды.

Лабораторный анализ воды, полученный на установке, показал ее пригодность для питья.

В заключении приводятся выводы и результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы.

В приложении приведены: электрическая схема солнечной опреснительной установки, алгоритм работы устройства слежения за солнцем, программный код устройства слежения за солнцем, патенты, дипломы, акты внедрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена важная научно-техническая задача, а именно разработана комплексная солнечная опреснительная установка с устройством слежения за солнцем для использования в регионах с умеренным климатом.

В результате выполненных теоретических и экспериментальных исследований были получены следующие выводы:

1. Анализ существующих конструкций опреснительных установок показал, что на сегодняшний день не существует энергоэффективных установок опреснения воды, подходящих для автономного использования в местах с дефицитом электроэнергии. С учетом проведенного анализа разработана электрическая схема солнечной опреснительной установки, позволяющая полностью автоматизировать процесс очистки воды при минимальных затратах и потреблении электрической энергии.

2. Результаты теоретических исследований солнечного потенциала показали возможность использования солнечной энергии для опреснения воды на территориях от 55 до 60° северной широты с поступлением солнечной радиации 1300 – 1000 кВт·ч/м² в год.

3. Разработанная математическая модель позволяет рассчитать производительность установки при использовании ее в различных регионах. Разработанная конструкция солнечной опреснительной установки и проведенные экспериментальные исследования показали целесообразность использования в солнечной опреснительной установке вакуумных коллекторов с тепловыми трубками. Производительность солнечной опреснительной установки при использовании таких трубок в среднем составляла 2,5 л в день при невысокой солнечной активности.

4. Экспериментально установлено, что производительность опреснительной установки с устройством слежения за солнцем возрастает в среднем на 1 л в течение дня при общей площади солнечных коллекторов 0,16 м².

5. Расчет технико-экономической эффективности использования разработанной солнечной опреснительной установки показал, что использование вакуумных солнечных коллекторов площадью 1 м² позволит получить 8 л чистой воды в солнечный день на Урале, использование устройства слежения позволит увеличить производительность до 12 л.

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ В ИЗДАНИЯХ, рекомендованных ВАК

1. **Рахматулин, И.Р.** Экспериментальные исследования влияния устройства слежения на производительность солнечной опреснительной установки / И.Р. Рахматулин // Ползуновский Вестник. – 2013. – №4-2. – С. 168 – 178.
2. Кирпичникова, И.М. Лабораторные исследования устройства слежения за солнцем с использованием фотоэлементов / И.М. Кирпичникова, **И.Р. Рахматулин** // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – №12. – С. 10 – 14.
3. Кирпичникова, И.М. Экспериментальные исследования лабораторного опреснителя воды / И.М. Кирпичникова, **И.Р. Рахматулин** // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – №1.– Т.2 (118) – С. 40 – 43.
4. **Рахматулин, И.Р.** Математическая модель солнечной опреснительной установки с устройством слежения за солнцем / И.Р. Рахматулин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2014. – Том 14. – №1. – С. 110 – 115.
5. Кирпичникова, И.М. Система контроля заряда электрической энергии в солнечной опреснительной установке / **И.Р. Рахматулин** // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2014. – Том 14. – №4. – С. 46 – 51.

ДРУГИЕ НАУЧНЫЕ ИЗДАНИЯ

6. **Рахматулин, И.Р.** Автоматизация технологического процесса работы солнечной опреснительной установки / И.Р. Рахматулин // Фундаментальные и прикладные проблемы науки. Материалы VIII Международного симпозиума. Том № 10. – С. 15 – 17.
7. **Рахматулин, И.Р.** Сравнительный анализ использования солнечного коллектора и солнечного концентратора для опреснения воды / И.Р. Рахматулин // Наука ЮУрГУ: материалы 65 научной конференции. Секции технических наук: в 2 т. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ. – 2013. – Т.2. – С. 190 – 193.
8. **Рахматулин, И.Р.** Экология как основополагающий фактор при проектировании установок по очистке воды / И.Р. Рахматулин // Сборник статей 12 международной научно – практической конференции МНИЦ ПГСХА. – 2012. – С. 107 – 111.

9. **Рахматулин, И.Р.** Система ориентации солнечных коллекторов / И.Р. Рахматулин // Электротехнические системы и комплексы: междунар. сб. науч. трудов. – 2012. – С. 247 – 255.

10. **Рахматулин, И.Р.** Возобновляемые источники энергии в экономике природопользования и охраны окружающей среды / И.Р. Рахматулин // Модернизация научных исследований: материалы 21 Международной научно – практической конференции по философским, филологическим, юридическим, педагогическим, экономическим, психологическим, социологическим и политическим наукам. – 2012. – С. 18 – 21

11. **Rahmatulin, I.R.** Laboratory Research of the Sun Tracking Using Photocells / I.R. Rakhmatulin // Letters in International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology. – 2014. – № 1. – pp. 39.

12. **Rahmatulin, I.R.** Desalination Using Wind and Solar Energy / I.R. Rahmatulin, I.M. Kirpichnikova // Materialy VIII mezinarodnivedecko-prakticka conference «Aktualnivymozenostivedy – 2012». – Dil 21. –Technicke vedy Praha. Publishing House «Education and Science». – 2012.– pp. 27–32

13. **Рахматулин, И.Р.** Сравнительный анализ дистилляционных установок, использующих возобновляемые источники энергии / И.Р. Рахматулин // Отраслевые аспекты технических наук. – 2012. – № 7. – С. 26 – 28.

14. **Рахматулин, И.Р.** Использование возобновляемых источников энергии для очистки воды. / И.Р. Рахматулин // Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых, Екатеринбург, УрФУ, 13-16 декабря. – 2011. – С. 458 – 460.

15. **Rahmatulin, I.R.** International Journal of Engineering Research & Technology. In IJERT, Vol. 2 – Issue 12 (December – 2013). [Электронныйресурс]. – URL: <http://www.ijert.org/view.php?id=7056&title=the-use-of-electromagnetic-pulses-for-pre-softener-in-solar-desalination-plants> (дата обращения 01.03.2014).

16. Кирпичникова, И.М. Лабораторные исследования устройства слежения за солнцем с использованием фотоэлементов. / И.М. Кирпичникова, **И.Р. Рахматулин** // Международный научный журнал «Письма в Альтернативную энергетику и экологию», – 2013, – №1, – НТИЦ «ТАТА», – С. 35–37.

17. **Рахматулин, И.Р.** Экспериментальные исследования влияния различных типов солнечных коллекторов на производительность солнечной опреснительной установки. Problemele energeticii regionale1(24) 2014. [Электронный ресурс]. – URL: <http://journal.ie.asm.md/ru/contents/elektronnyij-zhurnal-p-124-2014> (дата обращения 29.04.2014).

ПАТЕНТЫ

18. Пат. 135779 Российская Федерация, МПК RU 135779 U1. Устройство ориентации солнечного энергомодуля / И.М. Кирпичникова, **И.Р. Рахматулин**, Н.В. Филь, №2013132798; заявл.15.07.13; опубл. 20.12.13

19. Пат. 127063 Российская Федерация, МПК RU 127063 U1. Гелиоопреснительная установка / И.М. Кирпичникова, **И.Р. Рахматулин**, А.А. Козин, Е.В. Соломин, № 2012143904; заявл. 15.10.12; опубл. 20.04.13

20. Пат. 142246 Российская федерация, МПК RU142246 U1. Устройство автономного энергоснабжения измерительного оборудования линий электропередач / И.М. Кирпичникова, Г.И. Волович, Е.В. Соломин, **И.Р. Рахматулин** и др. №201318846; заявл. 19.08.13; опубл. 20.05.14

21. Пат. 144634 Российская федерация, МПК RU 1444634 U1. Гелиоопреснительная установка с устройством слежения / **И.Р. Рахматулин**, №2014115349; заявл. 16.04.14; опубл. 24.07.14

Рахматулин Ильдар Рафикович

**РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ
СОЛНЕЧНОЙ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С СИСТЕМОЙ
СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ**

Специальность 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать _____. Формат 60x84 1/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 1,25. Уч.-изд. л.1,0. Тираж 100 экз. Заказ _____.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.
454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76

