

в неё фазы. [2] Для точного определения устойчивости системы уже требуется построение АФХ.

Литература:

1. Бесекаерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического управления. — Изд-е 4-е, перераб. и доп. — СПб: Изд-во «Профессия», 2013. — 752 с.: ил.
2. Босс В. Лекции по теории управления [Текст]. Т.1: Автоматическое регулирование / В. Босс. — стереотип. изд. — М.: URSS. ЛИБРОКОМ, 2014. — 216 с.: ил.
3. Воронов А. А. Теория автоматического управления. Ч.1. Теория линейных систем автоматического управления. Под ред. А. А. Воронова. Учеб.пособие для вузов. М.: Высш.шк., 1986. — 367 с., ил.
4. Рожкова, Ю. С. Методы синтеза систем автоматического управления / Ю. С. Рожкова. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2022. — № 51 (446). — С. 57-59. — URL: <https://moluch.ru/archive/446/97967/> (дата обращения: 10.09.2023).
5. А. В. Латышев, В. А. Ромакин, В. М. Хачумов, М. В. Хачумов Методы и модели автоматического синтеза технологических процессов, основанного на знаниях // Программные системы: теория и приложения Электронный научный журнал ИПС им. А.К. Айламазяна РАН - №3 (30) 2016, С.25-43

УДК 631.3:621: 621.1

Омаров Рашид Абдыгаравович, д.т.н., профессор,
научно-производственного центра
сельскохозяйственного машиностроения,
г. Алматы, Республика Казахстан,
Турсунбаев Жанболот Жанышович, к.т.н., доцент,
ректор Ошского технологического университета им.
М.М. Адышева,
Кунелбаев Мурат Меркебекович, маг. физики,
Институт информационных и вычислительных
технологии Комитета науки Министерства науки и
высшего образования Республики Казахстан,
Токтоналиев Бакыт Соотбекович, к.т.н.,
Карасартов Урмат Эркинбекович, к.т.н.,
Кыргызский национальный аграрный университет
им. К.И. Скрябина
E-mail:omarov-rashit@mail.ru,ulpett@mail.ru

РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЛЕРА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В данной работе был разработан контроллер автоматического управления для двухконтурной солнечной системы с термосифонной циркуляцией на базе платформы STM32. Система работает с использованием шести датчиков (датчик температуры, датчик расхода воды, датчик давления, датчик температуры охлаждающей жидкости в баке нагревателя, датчик температуры охлаждающей жидкости в теплообменнике и датчик температуры наружного воздуха). Шесть датчиков управляются с помощью, программируемой логической интегральной схемы (FPGA) STM32, предназначенной для мониторинга всей солнечной системы, а приводы

включают силовые реле. Показания температуры передаются на модуль ESP32. Модуль ESP32 синхронизирован с шестью датчиками, подключенными к ПЛИС STM32, с шестью электрическими проводами, запрограммированными на C++, которые после обработки данных о температуре, дате и времени поступают с часов реального времени. После завершения всего процесса все данные датчика отправляются в модуль ESP32, откуда данные отправляются в базу данных.

Ключевые слова: Солнечная энергия, Плоский солнечный коллектор, платформа STM32, ESP32, Контроллер

Омаров Рашид Абдыгаравович, т.и.д., профессор, агротехника илимий-өндүрүштүк борборунун профессору, Алматы ш., Казакстан Республикасы, Турсунбаев Жанболот Жанышович, т.и.к., доцент, М.М. Адышев атындагы Ош технологиялык университетинин ректору, Кунелбаев Мурат Меркебекович, физика илим. маг., Илим жана жогорку билим берүү министрлигинин илим комитетинин маалымат жана эсептөө технологиялары институту, Токтоналиев Бакыт Соотбекович, т.и.к., Карасартов Урмат Эркинбекович, т.и.к., К.И. Скрыбин атындагы Кыргыз улуттук агрардык университети

КҮН ЭНЕРГИЯСЫ МЕНЕН ЖЫЛЫТУУ СИСТЕМАСЫН БАШКАРУУНУН АВТОМАТТЫК КОНТРОЛЛЕРИН ИШТЕП ЧЫГУУ

Бул иште STM32 платформасынын негизинде термосифондук циркуляциясы бар кош контурлуу күн системасы үчүн автоматтык башкаруу контроллери иштелип чыккан. Система алты сенсорду (температура сенсор, суунун агымынын сенсор, басым сенсор, жылыткычтын резервуарынын муздаткыч температурасынын сенсор, жылуулук алмаштыргыч муздаткычтын температурасы сенсор жана тышкы абанын температурасы сенсор) менен иштейт. Алты сенсор бүтүндөй күн системасын көзөмөлдөө үчүн иштелип чыккан STM32 Field-Programmable Logistics Integrated Circuit (FPGA) тарабынан башкарылат жана кыймылдаткычтарга электр релелери кирет. Температуранын көрсөткүчтөрү ESP32 модулуна берилет. ESP32 модулу STM32 FPGAга туташтырылган алты сенсор менен синхрондоштурулган, алты электр зымдары C++ тилинде программаланган, алар температураны, күндү жана убакытты иштеп чыккандан кийин реалдуу убакыт саатынан келип чыгат. Бардык процесс аяктагандан кийин, сенсордун бардык маалыматтары ESP32 модулуна жөнөтүлөт, ал жерден маалыматтар базага жөнөтүлөт.

Негизги сөздөр: Күн энергиясы, Жалпак плита күн коллектору, STM32 платформасы, ESP32, контроллер

Omarov Rashid Abdygaravovich, doctor of technical sciences, professor, research and production center for agricultural engineering, Almaty, Republic of Kazakhstan, Tursunbaev Zhanbolot Zhanyshovich, candidate of technical sciences, associate professor, Rector of Osh Technological University named after. Academician M. M. Adyshev,

Kunelbaev Murat Merkebekovich, master of physics,
Institute of Information and computing technologies of the
science committee of the Ministry of science and higher
education
Toktonaliev Bakyt Sootbekovich, candidate of technical
sciences,
Karasartov Urmat Erkinbekovich, candidate of technical
sciences,
Kyrgyz National Agrarian University named after K.I.
Skryabin

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC CONTROL CONTROLLER FOR A SOLAR HEATING SYSTEM

In this work, an automatic control controller was developed for a dual-circuit solar system with thermosiphon circulation based on the STM32 platform. The system operates using six sensors (temperature sensor, water flow sensor, pressure sensor, heater tank coolant temperature sensor, heat exchanger coolant temperature sensor and outdoor air temperature sensor). The six sensors are controlled by an STM32 Field-Programmable Logistics Integrated Circuit (FPGA) designed to monitor the entire solar system, and the actuators include power relays. Temperature readings are transmitted to the ESP32 module. The ESP32 module is synchronized with six sensors connected to the STM32 FPGA, with six electrical wires programmed in C ++, which, after processing the temperature, date and time data, come from the real time clock. After the whole process is completed, all sensor data is sent to the ESP32 module, from where the data is sent to the database.

Key words: Solar power, Flat plate solar collector, STM32 platform, ESP32, Controller

Введение. Солнечный коллектор - это устройство, способное улавливать солнечную энергию, которая поглощается жидкостью, а затем хранится в резервуаре, используемом для определенной цели [1,2]. Также была исследована тепловая эффективность фотоэлектрического нагрева воздуха с использованием ребер, прикрепленных к коллектору. Существует множество примеров электронного мониторинга, используемого в больницах и медицинских центрах [3] на платформе Arduino. Была разработана система контроля эффективности [4] для управления фотоэлектрической солнечной электростанцией. В данной работе основное внимание уделяется стабильности и точности автоматического регулятора с инверторным коллекторным насосом для переменного массового расхода в коллекторном контуре, а также вкладу полезного теплового усиления коллектора в систему солнечного отопления [5].

В работе [6] была разработана электронная мультиплексная система с использованием платформы Arduino для контроля и записи данных температурного профиля в устройстве накопления тепла для солнечного коллектора. Часы реального времени (RTC), использующие инкапсулированный чип DS1307, записывают дату и мгновенное время измерения температурных данных, отправляя их на плату MEGA-board, как показано на рисунке 20. Тридцать датчиков подключены к плате MEGA-board тремя электрическими проводами, что устраняет неудобства, связанные со многими аналоговыми подключениями. MEGA Arduino 2560, запрограммированный на C++, после обработки данных о температуре, дате и времени, полученных от теплового датчика и RTC, соответственно, сохраняет их в формате XML (расширяемый язык разметки) на SD-карте памяти. В работе [7] был разработан автоматический регулятор температуры гибридной наножидкости в вакуумированном трубчатом солнечном

коллекторе. Система состоит из механической части и электрической части. В статье [8] был разработан дизайн программы, который был основан на руководстве по языку программирования Arduino. Программа была создана в программном обеспечении ARDUINO (IDE) версии 1.8.4. Связь и инициализация устройства осуществляются с помощью комбинации кабелей USB/LAN, как упоминалось ранее, через шахту в лабораторное помещение [9].

Целью данной работы является разработка контроллера автоматического управления для двухконтурной солнечной установки с термосифонной циркуляцией и расчет температурных данных с управляющего контроллера.

Методика исследований. Двухконтурная солнечная система с термосифонной циркуляцией и управляющим контроллером была построена в Институте информационных и вычислительных технологий в Алматы, Республика Казахстан (45°24'5"Южной широты, 9°14'58"Восточной долготы). Устройство было разработано с использованием беспроводной системы приема передачи данных, которая дешевле имеющихся в наличии решений и проще в реализации, что позволяет избежать проблем со связью с устройствами как внутри здания, так и удаленными от солнечных панелей. Система предусматривает установку внешнего теплообменника, рассчитанного на потребление горячей воды или температуру отвода тепла внутри аккумуляторного бака, для определения превышения фиксированных значений, установленных в качестве максимального порога для выбранные режимы работы. Методологией данного исследования является разработка двухконтурной солнечной установки с термосифонной циркуляцией и контроллера управления для этой установки [10,11,12,13]. Плоские солнечные коллекторы с термосифонной циркуляцией используются для преобразования падающего солнечного излучения в тепловую энергию. Эта энергия накапливается в виде осязаемого тепла в резервуаре для хранения жидкости и используется по мере необходимости для питания помещений и нагрева воды. На рисунке 1 показана двухконтурная солнечная установка с термосифонной циркуляцией [10,12].

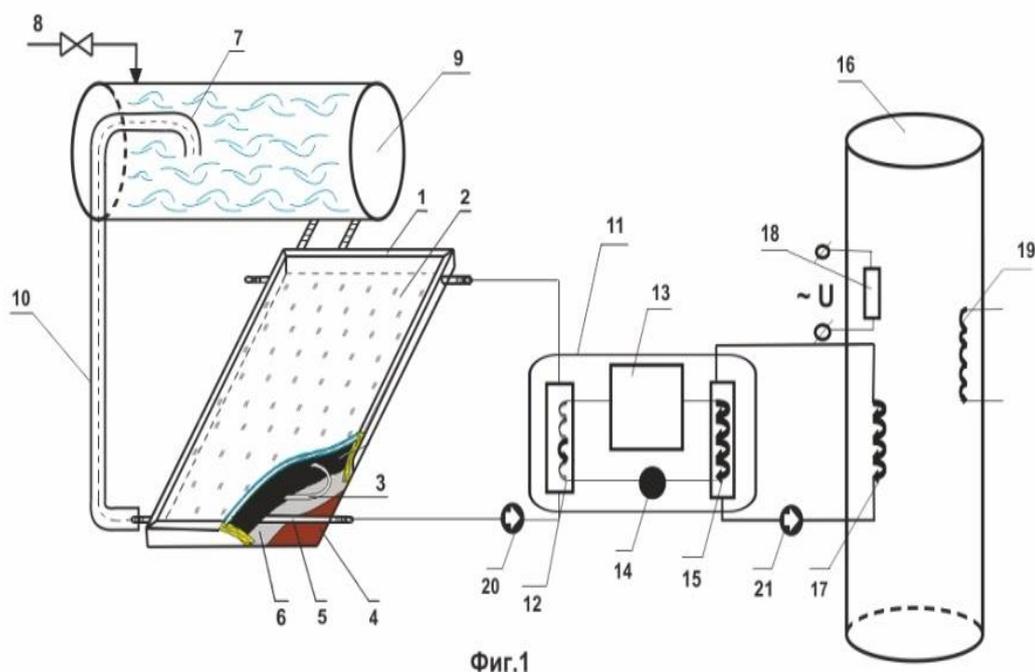


Рис. 1. Принципиальная схема двухконтурной солнечной установки с термосифонной циркуляцией [10,12]

Работа предлагаемой установки осуществляется следующим образом. Солнечная энергия E с температурой t_0 поглощается солнечным коллектором 1, при температуре t_1 , нагреваясь, поток солнечной энергии проходит через полупрозрачное изоляционное стекло 2. Тепло, получаемое от солнечного потока, нагревает жидкость в змеевиках 3, которая отводится из коллектора, а на ее место поступает холодная вода из трубопровода с клапаном для холодной воды 8, а из сифона бака-дозатора 7 происходит постоянная циркуляция термосифона с использованием циркуляционной трубы 10. Далее жидкость поступает в тепловой насос 11, который состоит из испарителя 12 конденсатора с температурой t_2 , в котором теплообменник выполнен в виде спирали, поглощающей тепло теплоносителя, понижает его температуру ниже температуры окружающей среды (Q_2) с помощью дроссельного клапана 14, способствуя тем самым дополнительному поглощению тепла из атмосферного воздуха. На диаграмме также показано солнечное излучение, отраженное от полупрозрачного покрытия (Q_0) и поверхности поглощающей панели (Q_1). В тепловом насосе энергия теплоносителя, имеющего относительно низкую температуру, передается теплоносителю конденсаторного теплообменника 15 в виде спирали с более высокой температурой t_2 , что увеличивает площадь, а также интенсивность теплообмена. Для осуществления такого цикла используется компрессор 13 с температурой t_3 , с электроприводом 17. Далее, посредством конденсаторного теплообменника 15 с температурой t_4 тепло от теплового насоса (Q_5) передается в аккумуляторный бак теплообменника Q_6 с температурой t_6 системы отопления 18. Поскольку установка имеет два контура, она оснащена автоматическими циркуляционными насосами 19 и 20 для циркуляции жидкости между солнечным коллектором и испарителем, конденсатором и аккумуляторным баком. Температура воды доводится до требуемого технологического уровня и подается потребителю для целей горячего водоснабжения и отопления [10, 12].

Новизной данного исследования является разработка двухконтурной солнечной системы с термосифонной циркуляцией, которая имеет плоский солнечный коллектор, представляющий собой теплоизолирующий прозрачный стеклопакет с пониженным давлением, а теплоноситель выполнен из тонкостенной гофрированной нержавеющей трубы. Тепло, получаемое от солнечного потока, нагревает жидкость в змеевиках, которая отводится из коллектора, а на ее место поступает холодная жидкость из сифона и происходит постоянная циркуляция тепла, что повышает эффективность теплопередачи, устраняя дополнительные промежуточные стенки между панелью и теплоизоляцией. Существует также тепловой насос, где конденсатор и испаритель выполнены в виде теплообменника спираль-спираль, трубопроводы теплообменника расположены один над другим, что увеличивает площадь, а также интенсивность теплообмена [10,12].

В работе [13] была разработана система управления для умных домов, которая позволила повысить эффективность бытовой техники. В исследовании [14] были разработаны контроллеры, необходимые для поддержания температуры окружающей среды в пределах желаемого температурного профиля. Кроме того, в этой статье авторы упомянули, что контроллеры могут быть открытыми и закрытыми. В работе [15] представлен метод контроля температуры и учета энергии в низкотемпературных системах отопления.

Система управления состоит из внешнего беспроводного и солнечного источника питания с автономным питанием, который передает данные о температуре солнечного коллектора во внутренний блок управления, принимает данные и управляет комплексом, отслеживая значения температуры и состояние двух электронасосов.

Для рационального измерения тепла от рассеивающих тепло солнечных коллекторов и упрощения эксплуатации солнечной системы, очевидно, выгодно, чтобы

эта система работала с термосифонной циркуляцией. Следовательно, для определения тепловых режимов солнечной установки необходимо установить зависимость производительности от режимных характеристик (плотности солнечного излучения, коэффициента тепловыделения, температуры окружающей среды, перепада температур и т.д.).

Новизной данного исследования является контроллер управления солнечной системой, который включает в себя электронный блок с шестью датчиками (датчик температуры, датчик расхода воды, датчик давления, датчик кислотности). Шесть датчиков управляются с помощью, программируемой логической интегральной схемы (FPGA) STM32, предназначенной для мониторинга всей солнечной системы, а приводы включают силовые реле. Показания температуры передаются на модуль ESP32. Модуль ESP32 синхронизирован с шестью датчиками, подключенными к ПЛИС STM32, с шестью электрическими проводами, запрограммированными на C++, которые после обработки данных о температуре, дате и времени, полученных с часов в режиме реального времени. После завершения всего процесса все данные датчика отправляются в модуль ESP32, откуда данные отправляются в базу данных.

Результаты и обсуждение. Научную разработку в данной статье получила новая конструкция управляющего контроллера, который имеет программируемую логическую интегральную схему 1 STM32, которая подключена к шести цифровым датчикам (датчик температуры 2, датчик расхода воды 3, датчик давления 4), а также подключен к часам реального времени 8. Часы реального времени подключены к модулю ESP32 9 и четырем клапанам 10. Работа всей системы отображается на дисплее 11. Основными элементами нового дизайна контроллера управления являются STM32 и ESP32.



Рис. 2. STM32

STM32 - это платформа, основанная на микроконтроллерах STMicroelectronics на базе ARM-процессора, различных модулях и периферийных устройствах, а также программных решениях (IDE) для работы с аппаратным обеспечением. Решения на базе STM активно используются благодаря производительности микроконтроллера, его удачной архитектуре, низкому энергопотреблению и низкой цене. В настоящее время STM32 уже состоит из нескольких линий для различных целей. Конструкция ядра ARM имеет множество настраиваемых опций, и ST выбирает индивидуальную конфигурацию для каждого микроконтроллера, добавляя свои собственные периферийные устройства к ядру микроконтроллера перед преобразованием конструкции в полупроводниковую пластину. В следующей таблице представлены основные серии микроконтроллеров семейства STM32.



Рис.3. ESP32-WROOM

ESP32-WROOM — это модуль с чипом ESP32-D0WDQ6, флэш-памятью объемом 4 МБ и всей необходимой обвязкой, которые скрыты под металлическим корпусом. Рядом с корпусом находится миниатюрная антенна с дорожки на верхнем слое печатной платы. Металлический корпус защищает компоненты модуля и тем самым улучшает электромагнитные свойства.

Работа предлагаемого контроллера осуществляется следующим образом. Четыре цифровых датчиков (датчик температуры, датчик расхода воды, датчик давления, датчик кислотности) регистрируют температуру плоского солнечного коллектора. Шесть датчиков управляются программируемой логической интегральной схемой 1 STM32. Записи температуры хранятся в модуле ESP32 9, который, в свою очередь, каждые 5 секунд отправляет показания температуры и состояния клапана 10. Часы реального времени 8 записывают дату и время измерений температурных данных, отправляя их на программируемую логистическую интегральную схему STM32. Каждый из шести датчиков подключен к STM32 шестью электрическими проводами, запрограммированными на C++, которые после обработки данных о температуре, дате и времени, полученных от 8 часов реального времени, соответственно, в модуле ESP32. Данные о температуре, дате, времени и состояниях клапанов системы, а также выбранный режим работы солнечной системы отображаются на дисплее 11.

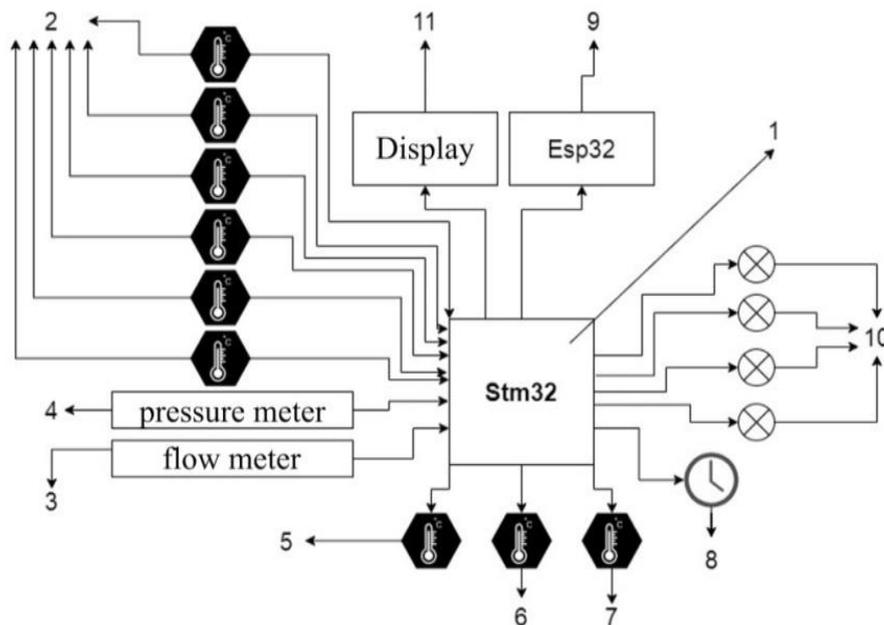


Рис.4. Принципиальная схема контроллера.

Датчики измеряют температуру охлаждающей жидкости на выходе солнечного нагревателя Т1, температуру в теплообменнике Т2 и температуру окружающей среды Т3. Результаты измерений обрабатываются, используются для индикации и сохраняются. Также по данным этих измерений формируются управляющие воздействия на циркуляционный насос и сигнализация аварийного режима. Циркуляционный насос включается, если температура в баке водонагревателя на 5°C выше температуры теплообменника. Если температуры равны, насос перестает работать. Когда температура в обеих точках повышается до +95°C или понижается до +4°C, в теплообменнике включается звуковой сигнал. Контроллер обеспечивает возможность ручного режима управления насосом.

На рисунке 5 показан контроллер со снятой крышкой. Видны основные компоненты схемы, питающие провода и блок питания. Это исследование представляет собой контроллер управления солнечной системой, который включает в себя электронный блок с четырьмя датчиками (датчик температуры, датчик расхода воды, датчик давления, датчик кислотности). Шесть датчиков управляются с помощью, программируемой логической интегральной схемы (FPGA) STM32, предназначенной для мониторинга всей солнечной системы, а приводы включают силовые реле. Показания температуры передаются в модуль ESP 32. Модуль ESP 32 синхронизирован с шестью датчиками, подключенными к ПЛИС STM32, с шестью электрическими проводами, запрограммированными на C++, которые после обработки данных о температуре, дате и времени, полученных с часов в режиме реального времени. После завершения всего процесса все данные датчика передаются в модуль ESP 32, откуда данные отправляются в базу данных.

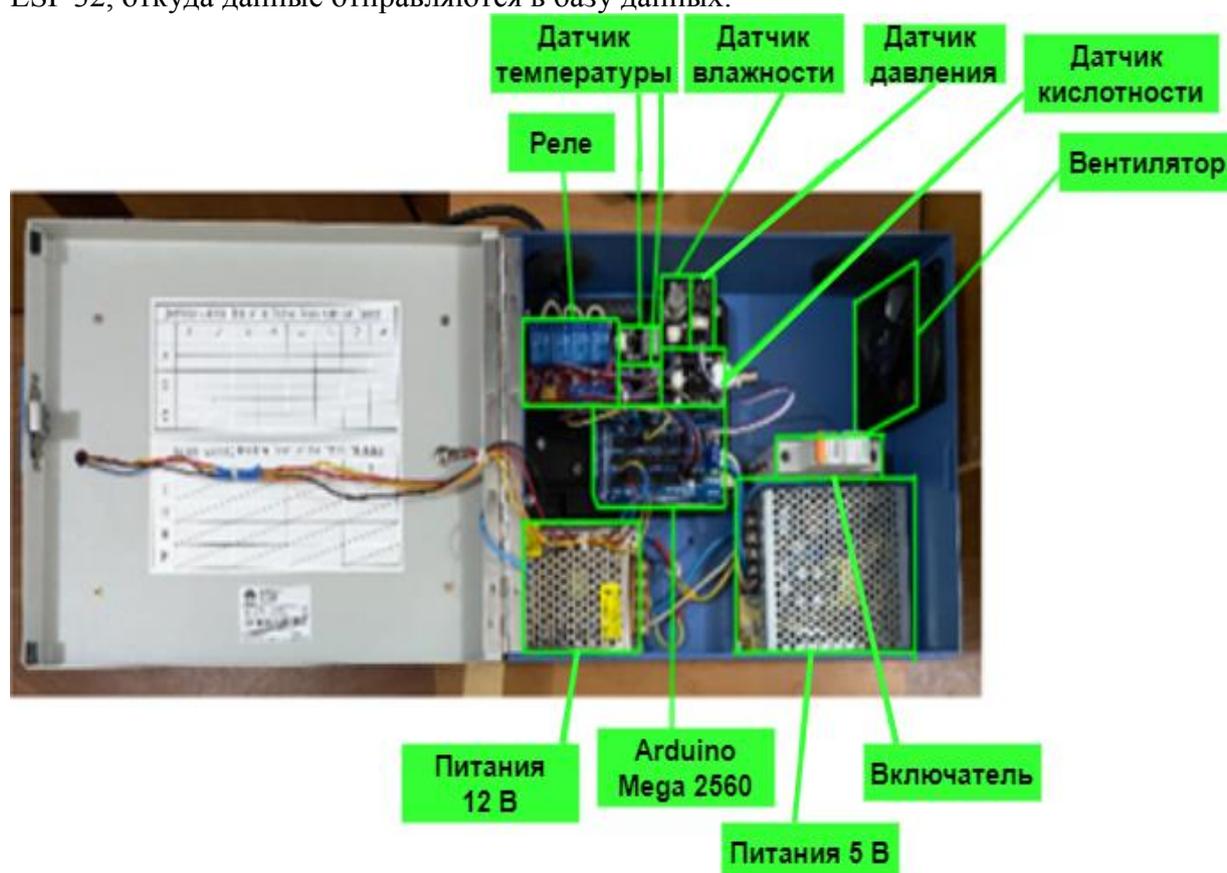


Рис.5. Фотография контроллера со снятой крышкой.

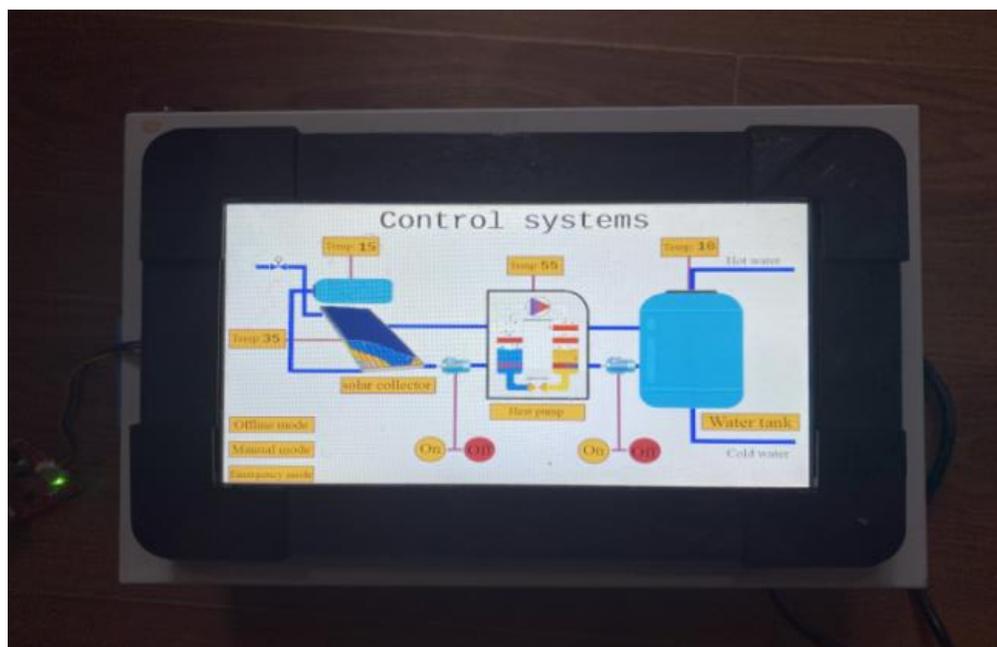


Рис. 6. Управляющий контроллер.

Часы реального времени позволяют прикреплять временные метки к значениям и событиям. Можно строить графики и тренды. В настоящее время происходит накопление реальных данных. Экспериментальным путем было установлено, что наиболее целесообразно использовать данные, получаемые тепло каждые 5-10 минут. Датчик температуры воздуха расположен в тени. Значение внешней температуры T3 позволяет оценить эффективность работы нагревателя – нагрев теплоносителя относительно окружающей среды лучами солнца.

В дополнение к сбору данных контроллер обладает дополнительными функциями управления и защиты. К ним относятся: управление циркуляционным насосом горячей воды, защита от замерзания или периодического перегрева резервуара для горячей воды.

Заключение. 1. Разработанная система солнечного теплоснабжения имеет новую конструкцию плоского солнечного коллектора, представляющего собой теплоизолирующий прозрачный стеклопакет с пониженным давлением, а теплоноситель выполнен из тонкостенной гофрированной нержавеющей трубы. Тепло, получаемое от солнечного потока, нагревает жидкость в змеевиках, которая отводится из коллектора, а на ее место поступает холодная жидкость из сифона, и происходит постоянная циркуляция тепла, что повышает эффективность теплопередачи, устраняя дополнительные промежуточные стенки между панелью и теплоизоляцией. Контроллер предназначен для управления солнечными тепловыми установками, в частности, он характеризуется модульной конструкцией. Это позволяет обновлять функциональность контроллера по мере дальнейшего развития установки. 2. Представлен пример прототипа модульного солнечного контроллера, основанного на свободно программируемой платформе. Разработанный контроллер управления способен контролировать текущую температуру солнечной тепловой системы.

Литература:

1. J.U. Duncombe, "Infrared navigation – Part I. An assessment of feasibility (Periodical style)," IEEE Trans. Electron Devices., vol.11, pp. 34–39, 1959.
2. I.De Marchi Neto, A.Padilha, V.Luiz Scalon, "Refrigerator COP with thermal storage, " Appl. Therm. Eng., vol.29(1), pp. 2358–2364, 2008, 10.1016/j.applthermaleng.2008.12.003.

3. M.A.Rosen, R.Kumar, “Performance of a photovoltaic/thermal solar air heater: effect of vertical fins on a double pass system, *Int. J. Energy Environ. Eng.*, vol. 2(4), pp. 1–4, 2011.
4. A.Sugathan, G.J. Kirthyvijay, J.Thomson J, “Application of Arduino based platform for wearable health monitoring system, ” In: Presented at the 1st International Conference on Condition Assessment Techniques in Electrical Systems., 2013, doi:10.1109/catcon.2013.6737464.
5. M.Fatehnia, S. Paran, S.Kish, K.Tawfiq, “Automating double ring infiltrometer with an Arduino microcontroller” *Geoderma*, vol. 262, p.133–139, 2016, doi:10.1016/j.geoderma.2015.08.022
6. S.Benammar, A.Khellaf, K.Mohammedi, “Contribution to the modeling and simulation of solar power tower plants using energy analysis” *Energy Convers. Manag.*, vol. 78, pp.923–930, 2014, doi: 10.1016/j.enconman.2013.08.066.
7. S.Aizam, et al, “PID Voltage Control for DC Motor Using MATLAB Simulink and Arduino Microcontroller, ” *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, vol. 5(9),pp. 661–731,2015.
8. A.P.Singh, “Speed Control of DC Motor using Pid Controller Based on Matlab, ” *Innovative Systems Design and Engineering.*, vol ol. 4(6),pp. 22–28,2013.
9. R.Kumar, S.K. Singla, V. Chopra, “Comparison among some well-known control schemes with different tuning methods” *Journal of Applied Research and Technology.*,vol.13,pp.409–415,2015, doi:10.1016/j.jart.2015.07.007.
10. Ye.Amirgaliyev, M. Kunelbayev, B.Amirgaliyev, A.Kalizhanova, A.Kozbakova, T.Merembayev Tumur, A. Dassibekov, “Mathematical justification of thermosyphon effect main parameters for solar heating system, *Cogent Engineering.*, 7: 1851629,2020, doi:/10.1080/23311916.2020.1851629.
11. Ye. Amirgaliyev, M. Kunelbayev, B. Amirgaliyev, T. Sundetov, D. Yedilkhan, T. Merembayev, ”Development and Research of the Control Algorithm and Software of Solar Controller for Double-Circuit Solar Collectors with Thermosiphon Circulation, ” 2019 International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies (PGSRET), August 2019, doi:10.1109/pgsret.2019.8882650.
12. Ye. Amirgaliyev, M.Kunelbayev, W.Wójcik, A.Kozbakova, A. Irzhanova, ”Solar-driven resources of the Republic of Kazakhstan, *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, vol.3(430), pp. 18–27,2018.
13. F.Belic, Z.Hocenski, D.Sliskovi, “HVAC control methods—A review, ”*Proceedings of the 2015 19th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC)*, 14 October 2015, pp. 679–686, doi: 10.1109/ICSTCC.2015.7321372.
14. F.Fontes, R.Antão, A.Mota, P.Pedreiras, ”Adaptive Ambient Temperature Control of Indoor Environments, ”*Proceedings of the IECON 2019—45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*,14 October 2019, 255–260, 10.1109/IECON.2019.8927401.
15. J.Rekstad, M.Meir, A.Kristoffersen, “Control and energy metering in low temperature heating systems”*Energy Build.*, 35, p.281–291, 2015, doi:10.1016/S0378-7788(02)00090-7