

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЛЕРА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

*Е.Н. Амиргалиев, М.М. Кунелбаев, Т.Р. Сундетов*

*Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК,  
г. Алматы, Республика Казахстан*

В данной работе разработан автоматизированный контроллер управления для системы солнечного теплоснабжения на базе платформы Mojo v3. Разработанная система работает с помощью 6 датчиков (DS18B20 Dallas), которые позволяют расширить возможность применения платформы. Интегрированная система, использующая датчики Далласа, позволяет контролировать температуру и количество тепла. Система управления и мониторинга реализована на языках VHDL и VERILOG. Разработан алгоритм управления, который активирует библиотеки и константы, подключает модуль часы в реальном времени, активацию температурных датчиков и активацию связи с сервером. Если связь установлена с сервером, тогда сохраняется xml-файл в Ethernet-модуле, считываются температурные данные датчиков и записываются данные о температуре в Ethernet-модуле. Язык XML облегчает обработку данных путем автоматической или ручной интерпретации программ электронных таблиц данных.

*Ключевые слова: солнечная энергия, плоский солнечный коллектор, платформа Mojo v3, контроллер.*

### Введение

Для устойчивого удовлетворения глобальных энергетических потребностей возобновляемые источники энергии, такие как солнечная энергия, ветер, гидроэнергетика и биогаз, являются потенциальными кандидатами. Лучшей альтернативой для удовлетворения растущего спроса на энергию является солнечная энергия. Преобразование солнечного излучения в тепло является одним из самых простых и самых непосредственных применений этой энергии. Плоский пластинчатый солнечный коллектор – это устройство, используемое для преобразования солнечной энергии в тепловую энергию. Плоские пластинчатые солнечные коллекторы являются наиболее часто используемыми сборщиками солнечной энергии сегодня во всем мире в коммерческих и бытовых водонагревательных системах. Плоские пластины, эвакуированные трубки или концентрационные коллекторы представляют собой солнечные коллекторы для горячего водоснабжения. Основным компонентом солнечного водонагревателя является плоский пластинчатый коллектор. Пластина абсорбера служит в качестве центрального компонента коллектора. Тепловые характеристики солнечного коллектора зависят от оптических и тепловых свойств, а также от конструкции пластины поглотителя. Типичный плоский коллектор состоит из абсорбера в изолированной коробке вместе с прозрачными обложками (остеклением). Абсорбер обычно изготавливают из металлического листа с высокой теплопроводностью, такого как медь или алюминий, со встроенными или прикрепленными трубами. Его поверхность покрыта специальным селективным материалом, чтобы максимизировать поглощение солнечной энергии при минимизации излучения солнечной энергии. Изолированная ко-

робка уменьшает потери тепла в плоском солнечном коллекторе от задней и боковых сторон коллектора [1]. Самые простые и наиболее широко используемые устройства сбора и использования солнечной энергии – это термосифонные или природные циркуляционные системы солнечного водоснабжения (SWHS). Они состоят из плоского коллектора, резервуара для хранения и соединительных труб. Коллектор состоит из пластины абсорбера, стойка и коллекторных трубок, стеклянной крышки, кожуха и изоляции. Вода в трубах стойка нагревается и течет в резервуар для хранения из-за разницы в плотности. Солнечная энергия используется в разных типах полей для многих применений. В работах [2–5] было проведено достаточное количество экспериментов по превращению солнечной энергии в тепло. Было проведено много работ с использованием однофазной технологии теплопередачи. В исследованиях [6–10] эксперименты выполнялись в солнечном коллекторе с плоскими пластинами с использованием однофазного процесса теплообмена с применением неизолированного резервуара для воды и неизолированной соединительной трубы, а также изолированного резервуара для воды и изолированной соединительной трубы. Существует возможность уменьшить огромное количество потерь тепла от бака, а также от соединительной трубы.

Солнечный коллектор – это устройство, способное захватывать солнечную энергию, которая поглощается жидкостью, позднее хранится в резервуаре, используемом для конкретной цели [11–12]. Также был исследован тепловой КПД фототермохимического нагрева воздуха с использованием ребер, прикрепленных к коллектору. Есть много примеров электронного мониторинга, используемого в больницах и медицинских центрах [13],

## Альтернативные источники энергии

с платформой Arduino. Была разработана [14] система контроля эффективности для управления фотозлектрической солнечной электростанцией.

Целью данной работы является разработка автоматизированного контроллера управления геосистемы.

### 1. Методика исследования

Методикой данного исследования является разработка двухконтурной геосистемы с термосифонной циркуляцией и контроллера управления этой установки [15–18].

Плоские солнечные коллекторы с термосифонной циркуляцией используются для преобразования падающего солнечного излучения в тепловую энергию. Эта энергия накапливается в виде ощутимого тепла в резервуаре для хранения жидкости и используется по мере необходимости для питания помещений и нагрева воды. На рис. 1 показана двухконтурная геосистема с термосифонной циркуляцией [15, 17].

Работа предлагаемой установки (см. рис. 1) осуществляется следующим образом. Солнечная энергия  $E$  с температурой  $t_0$  поглощается гелиоколлектором 1 с температурой  $t_1$ ; нагреваясь, поток солнечной энергии проходит через светопрозрачный изоляционный стеклопакет 2. Тепло, полученное от солнечного потока, нагревает жидкость в змеевиках 3, которая удаляется из коллектора, а на ее место поступает холодная вода из трубопровода с вентилем для холодной воды 8, а из сифона бака дозатора 7 происходит постоянная термосифонная циркуляция с помощью циркуляционной трубы 10. Далее жидкость попадает в тепловой насос 11, который состоит из испарителя 12 конденсатора с температурой  $t_2$ , в котором теплообменник выполнен в виде спирали, погло-

щая тепло теплоносителя, опускает его температуру ниже температуры атмосферного воздуха ( $Q_2$ ) с помощью дросселирующего клапана 14, тем самым способствуя дополнительному поглощению тепла из атмосферного воздуха. В схеме также показано солнечное излучение, отраженное от полупрозрачного покрытия ( $Q_0$ ) и поверхности поглощающей панели ( $Q_1$ ). В тепловом насосе осуществляется передача энергии теплоносителя с относительно низкой температурой, к теплоносителю теплообменника конденсатора 15 в виде спирали с более высокой температурой  $t_2$ , которая увеличивает площадь, а также интенсивность теплообмена. Для осуществления такого цикла используется компрессор 13 с температурой  $t_3$  с электроприводом 17. Далее посредством теплообменника конденсатора 15 с температурой  $t_4$  тепло от теплового насоса ( $Q_5$ ) передается в бак аккумулятора теплообменника  $Q_6$  с температурой  $t_6$  системы отопления 18. Так как установка имеет два контура, она снабжена автоматическими циркуляционными насосами 19 и 20 для циркуляции жидкости между гелиоколлектором и испарителем, конденсатором и баком аккумулятора. Температура воды доводится до требуемого технологического уровня и подается к потребителю на цели горячего водоснабжения и отопления [15, 17].

На рис. 2 представлена натурная модель плоского солнечного коллектора. Гелиоколлектор – основной теплогенерирующий узел геосистемы. Для достижения поставленной цели авторами разработан принципиально новый плоский солнечный коллектор, на базе которого будет создаваться типоразмерный ряд геосистем для нагрева воды и отопления зданий и помещений. Технические показатели плоского солнечного коллектора представлены в таблице.

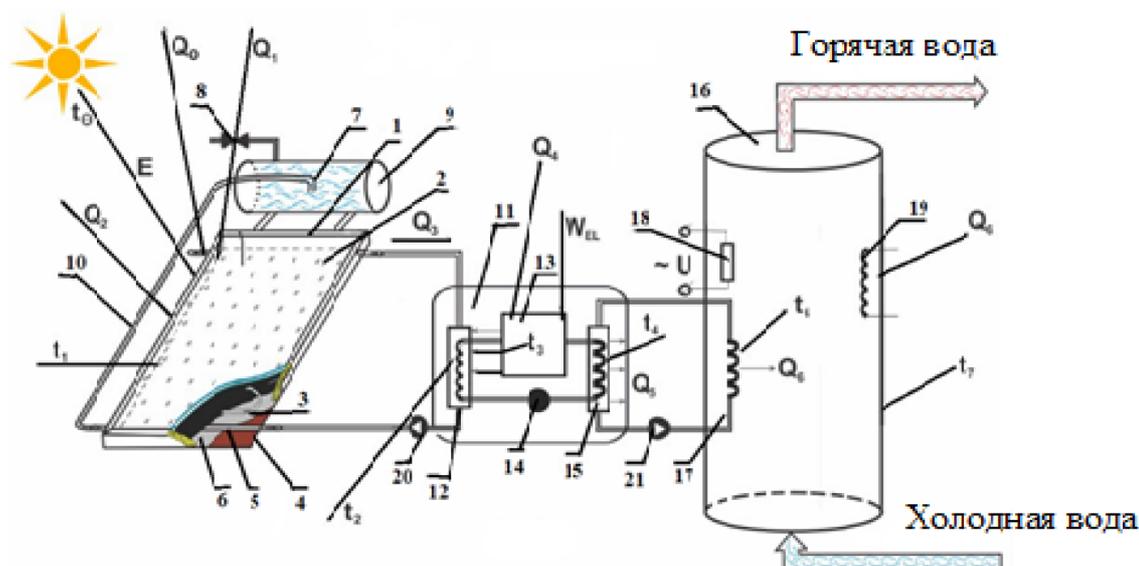


Рис. 1. Принципиальная схема двухконтурной геосистемы с термосифонной циркуляцией [15, 17]



Рис. 2. Натурная модель плоского солнечного коллектора [15, 17]

Технические показатели плоского солнечного коллектора

Параметры	Значение
Материал поглощающей пластины	Медь
Размеры пластины поглотителя, м	2×1
Толщина плиты, мм	0,4
Материал для остекления	Закаленное стекло
Размеры остекления, м	2×1
Толщина остекления, мм	4
Изоляция	Пеноплекс (пенополиуретан)
Угол наклона коллектора, °	45°
Теплопроводность поглотителя, Вт/(м·К)	401
Теплопроводность изоляции, Вт/(м·К)	0,04
Коэффициент пропускания-поглощения	0,855
Видимая температура Солнца, К	4350
Температура окружающей среды, К	303
Интенсивность излучения, Вт/м <sup>2</sup>	1000

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

что увеличивает площадь, а также интенсивность теплообмена [15, 17].

В исследовании имеется шесть цифровых температурных датчиков (Dallas DS18B20) 1–6, которые регистрируют температуру плоского солнечного коллектора с термосифоном. Датчики контролируются с программируемой логической интегральной схемой 1 MoJo v3. Записи температур, хранящихся на ETHERNET-модуле 9, каждые 5 с отправляют температурные данные и состояния клапанов 10. Часы реального времени (RTC) 8 записывают дату и время измерений температурных данных, отправляя их на программируемую логическую интегральную схему MoJo V3. Шесть датчиков, подключённых к плате MoJo V3, с шестью электрическими проводами, запрограммированными на языке VHDL, после обработки данных температуры, даты и времени, полученных

## Альтернативные источники энергии

от RTC 8, сохраняют их в XML (расширяемом языке разметки) в ETHERNET-модуле. Язык XML облегчает обработку этих данных путем автоматической или ручной интерпретации программ электронных таблиц данных. Температурные данные, дата, время и состояния клапанов системы работы установки отображаются на дисплее 11 [16, 18].

На рис. 3 показана плата Mojo v3 с датчиками.

Язык XML облегчает обработку этих данных путем автоматической или ручной интерпретации программ электронных таблиц данных. Температурные данные, дата, время и состояния клапанов системы работы установки отображаются на дисплее 11 [16, 18].

На рис. 4 показана принципиальная схема контроллера на платформе Mojo v3 [16, 18].

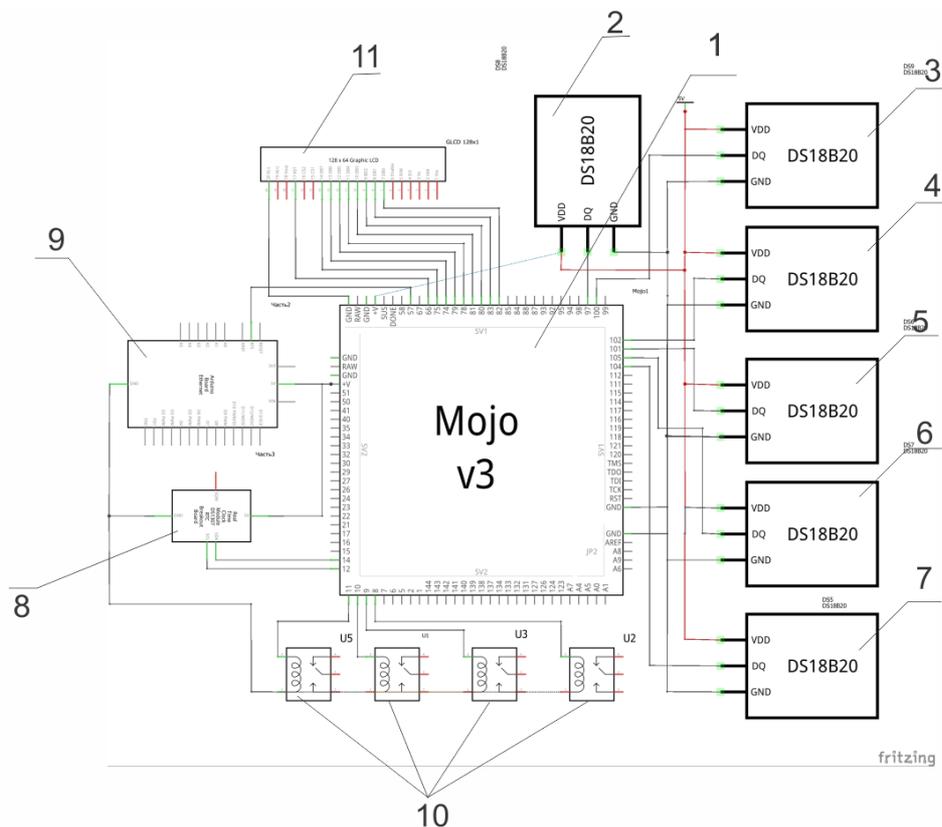


Рис. 3. Плата Mojo v3 с датчиками

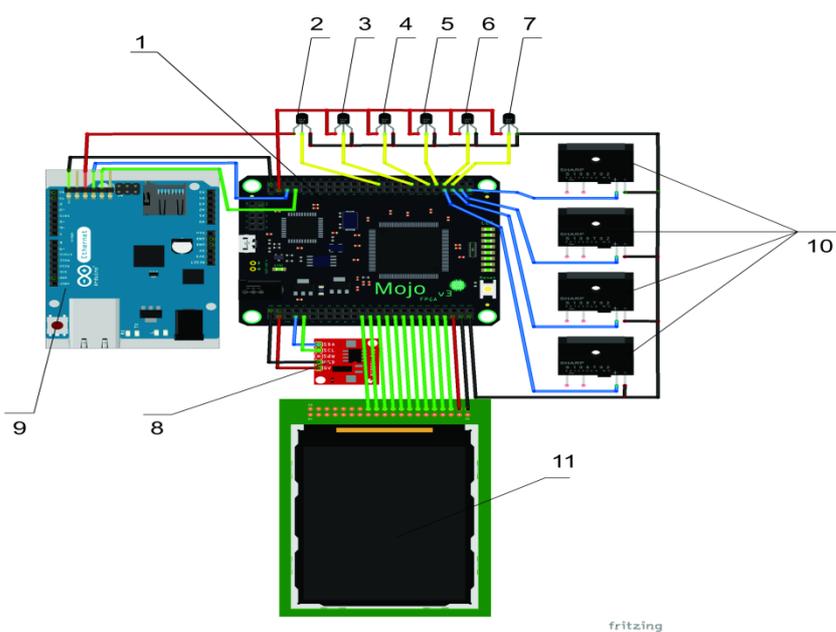


Рис. 4. Принципиальная схема контроллера на платформе Mojo v3 [16, 18]

## 2. Результаты исследования

Плата Mojo v3 является программно-логической интегральной схемой Spartan 6 XC6SLX9 FPGA, с 84 цифровыми вход-выводами, 8 аналоговыми входами, 8 светодиодов общего назначения, 1 кнопка сброса, 1 светодиод, чтобы показать, когда FPGA правильно настроен.

Встроенное регулирование напряжения может выдерживать 4,8–12 В. Плата Mojo v3 состоит из микроконтроллера (ATmega32U4), используемого для настройки FPGA, USB-связи и считывания аналоговых выводов. Встроен совместимый загрузчик Arduino, позволяющий легко программировать и микроконтроллер.

На рис. 5 показана блок-схема функционирования системы управления. В системе управления

солнечным коллектором построен оптимальный алгоритм. В начале алгоритма программа активирует библиотеки и константы, потом подключается модуль часы в реальном времени, активация температурных датчиков и активация связи с сервером. Если все устройства активируются, тогда устанавливается связь, если нет – устройство начинает работу активации. Если связь установлена с сервером, тогда сохраняется xml-файл в Ethernet-модуле. Потом считываются температурные данные датчиков и записываются данные о температуре в Ethernet-модуле.

Разработан контроллер управления гелиосистемы, способный контролировать текущую температуру солнечной тепловой системы. На рис. 6 представлен контроллер управления гелиосистемой [16,18].

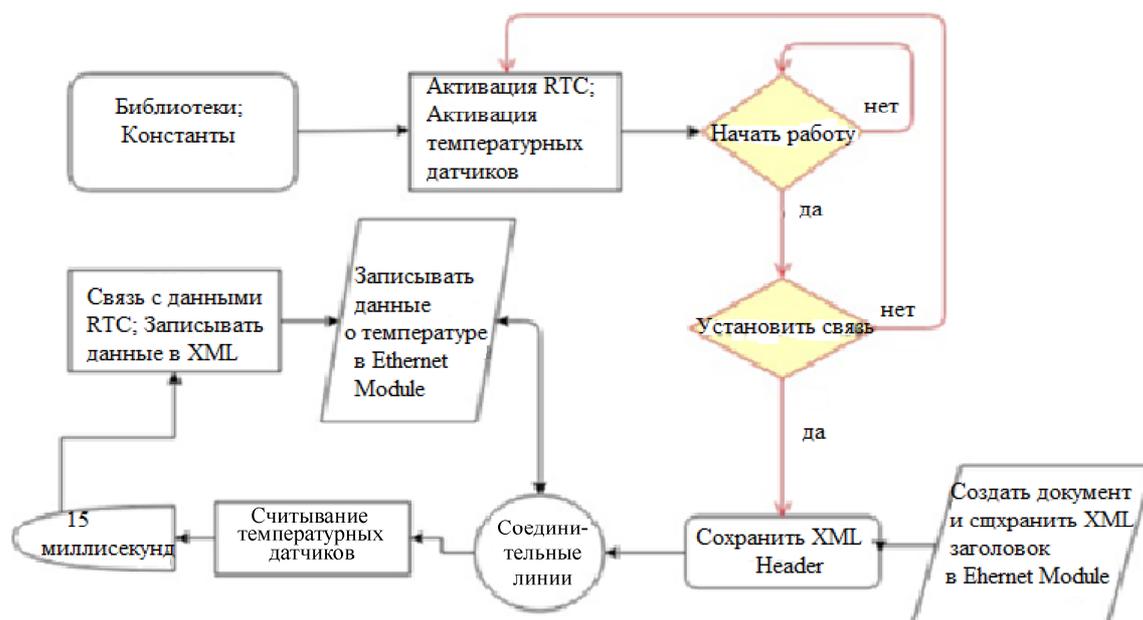


Рис. 5. Блок-схема функционирования системы управления



Рис. 6. Внешний вид контроллера управления гелиосистемой [16]

На рис. 6 изображен внешний вид контроллера управления гелиосистемой, включающий электронный блок, содержащий программируемую логическую интегральную схему MoJo v3, которая обрабатывает температурные данные датчиков, часы реального времени (RTC) и ETHERNET модуле предназначенной для мониторинга всей гелиосистемой, а исполнительные элементы включают в себя реле [16,18].

### Заключение

В настоящей работе разработаны двухконтурная гелиосистема с термосифонной циркуляцией и контроллер управления гелиосистемой (г. Алматы, Казахстан). Разработанная двухконтурная гелиоустановка с термосифонной циркуляцией имеет плоский солнечный коллектор, представляющий собой теплоизоляционный прозрачный стеклопа-

кет с пониженным давлением, а теплоноситель выполнен из тонкостенной гофрированной нержавеющей трубы. Тепло, получаемое от солнечного потока, нагревает жидкость в змеевиках, которая удаляется из коллектора, а на ее место поступает холодная жидкость из сифона, и происходит постоянная тепловая циркуляция, что повышает эффективность теплопередачи, устраняя дополнительные промежуточные стенки между панелью и теплоизоляцией. Разработанный контроллер управления гелиосистемы способен контролировать текущую температуру солнечной тепловой системы. В результате исследований можно отметить, что датчики обеспечивают высокую точность во всем диапазоне, корректируя, в частности, отклоняющееся поведение при повышении температуры. Система управления и мониторинга реализована на языках VHDL и VERILOG.

### Литература/References

1. Duffie J.A., Beckman W.A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley and Sons, New York, 1991.
2. Ahmet Samanci, Adnan Berber. Experimental investigation of single-phase and two-phase closed thermosyphon solar water heater systems. *Scientific Research and Essays*, 2011, vol. 6 (4), pp. 688–693. DOI: 10.5897/SRE09.072
3. Islam M.A., Khan M.A.R., Sarkar M.A.R. Performance of a Two-Phase Solar Collector in Water Heating. *Journal of Energy & Environment. Technical Note*, 2005, vol. 4, pp. 117–123.
4. Chuawittayawuth K., Kumar S. Experimental investigation of temperature and flow distribution in a thermosyphon solar water heating system. *Renewable Energy*, 2002, vol. 26, pp. 431–448. DOI: 10.1016/s0960-1481(01)00085-4
5. Taherian H., Rezaia A., Sadeghi S., Ganji D.D. Experimental validation of dynamic simulation of the flat plate collector in a closed thermosyphon solar water heater. *Energy Conversion and Management*, 2011, vol. 52, pp. 301–307. DOI: 10.1016/j.enconman.2010.06.063
6. Zerrouki A., Boume dien A., Bouhadef K. The natural circulation solar water heater model with linear temperature distribution. *Renewable Energy*, 2002, vol. 26, pp. 549–559. DOI: 10.1016/s0960-1481(01)00146-x
7. Samuel Luna Abreu, Sergio Colle. An experimental study of two-phase closed thermosyphons for compact solar domestic hot-water system. *Solar Energy*, 2004, vol. 76, pp. 141–145. DOI: 10.1016/j.solener.2003.02.001
8. Alireza Hobbi, Kamran Siddiqui. Experimental study on the effect of heat transfer enhancement devices in flat-plate solar collectors. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2009, vol. 52, iss. 19-20, pp. 4650–4658. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2009.03.018
9. Ogueke N.V., Anyanwu E.E., Ekechukwu O.V. A review of solar water heating systems. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 2009, vol. 1, no. 043106. DOI: 10.1063/1.3167285
10. Dr. Akeel Abdullah Mohammed. Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics of Turbulent Flow in a Tube Fitted With Conical Ring and Twisted Tape Inserts. *Eng. & Tech. Journal*, 2011, vol. 29, no. 2.
11. Duncombe J.U. Infrared navigation – Part I. An assessment of feasibility (Periodical style). *IEEE Trans. Electron Devices*, 1959, vol. ED- 11, pp. 34–39.
12. De Marchi Neto I., Padilha A.: Refrigerator COP with thermal storage. *Appl. Therm. Eng.*, 2008, vol. 29(1), pp. 2358–2364. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2008.12.003
13. Rosen M.A., Kuma R. Performance of a photovoltaic/thermal solar air heater: effect of vertical fins on a double pass system. *Int. J. Energy Environ. Eng.*, 2011, vol. 2(4), pp. 1–4.
14. Sugathan A., Kirthyvijay G.J., Thomson J. Application of Arduino based platform for wearable health monitoring system. *Presented at the 1st International Conference on Condition Assessment Techniques in Electrical Systems*, 2013. DOI: 10.1109/CATCON.2013.6737464
15. Amirgaliyev Yedilkhan, Kunelbayev Murat, Amirgaliyev Beibut, Kalizhanova Aliya, Kozbakova Ainur, Merembayev Tumor & Dassibekov Azhibek. Mathematical justification of thermosyphon effect main parameters for solar heating system. *Cogent Engineering*, 2020, vol. 7, no. 1851629. DOI: 10.1080/23311916.2020.1851629
16. Amirgaliyev, Y., Kunelbayev, M., Amirgaliyev, B., Sundetov, T., Yedilkhan, D., & Merembayev, T. 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)*. DOI: 10.1109/pgsret.2019.8882650

17. Пат. 2018/0209.1 Республика Казахстан. Двухконтурная гелиоустановка с термосифонной циркуляцией / Е.Н. Амиргалиев, М.М. Кунелбаев, О.А. Ауелбеков, Н.С. Катаев, А.У. Калижанова, А.Х. Козбакова; заявитель и патентообладатель Е.Н. Амиргалиев, М.М. Кунелбаев, О.А. Ауелбеков, Н.С. Катаев, А.У. Калижанова, А.Х. Козбакова. № 33741; заявл. 04.04.2018; опубл. 02.07.2019. [Amirgaliyev Ye.N, Kunelbayev M.M, Auelbekov O.A, Katayev N.S, Kalizhanova A.U, Kozbakova A.Kh. *Dvuchkonturnaya gelioustanovka s termosifonnoi sirkulyasieyi* [Dual-circuit solar unit with thermosiphon circulation]. Patent RK, no. 33741, 2019.]

18. Пат. 2019/0161.2 Республика Казахстан. Контроллер управления гелиосистемой / Е.Н. Амиргалиев, М.М. Кунелбаев, Т.Р. Сундетов, О.А. Ауелбеков, С.М. Даулбаев, Н.С. Катаев; заявитель и патентообладатель Е.Н. Амиргалиев, М.М. Кунелбаев, Т.Р. Сундетов, О.А. Ауелбеков, С.М. Даулбаев, Н.С. Катаев. № 4012; заявл. 21.02.2019; опубл. 28.05.2019. [Amirgaliyev Ye.N, Kunelbayev M.M, Sundetov T.R, Auelbekov O.A, Daulbayev S.M, Katayev N.S. *Konroller upravleniya geliosistemoi* [Control controller of solar system]. Patent RK, no. 4012, 2019.]

**Амиргалиев Едилхан Несипханович**, д-р техн. наук, профессор, чл.-корр., заведующий лабораторией «Искусственный интеллект и робототехника», Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, г. Алматы, Республика Казахстан; amir\_ed@mail.ru.

**Кунелбаев Мурат Меркебекович**, старший научный сотрудник, Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, г. Алматы, Республика Казахстан; murat7508@yandex.kz.

**Сундетов Талгат Рыспекович**, научный сотрудник, Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, г. Алматы, Республика Казахстан; sundetovtalgat@gmail.com.

Поступила в редакцию 12 января 2021 г.

DOI: 10.14529/power210310

## DEVELOPING AN AUTOMATED CONTROLLER FOR A SOLAR HEATING SYSTEM

*E.N. Amirgaliyev, amir\_ed@mail.ru,  
M.M. Kunelbayev, murat7508@yandex.kz,  
T.R. Sundetov, sundetovtalgat@gmail.com*

*Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK,  
Almaty, Republic of Kazakhstan*

The paper discusses the development of an automated controller for a Mojo v3-based solar heating system. The developed system operates using 6 sensors (DS18B20 Dallas) expanding the platform's applicability. An integrated system allows controlling temperature and heat using Dallas sensors. The control and monitoring system is implemented in the VHDL and VERILOG languages. A control algorithm has been developed that activates libraries and constants, a real-time clock module, temperature sensors, and server connection. When the server connection is established, the temperature sensor readings are recorded and saved in the XML file in the Ethernet module. XML facilitates data processing by automatically or manually interpreting spreadsheet programs.

*Keywords: solar energy, flat-plate solar collector, Mojo v3 platform, controller.*

*Received 12 January 2021*

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Амиргалиев, Е.Н. Разработка автоматизированного контроллера управления для системы солнечного теплоснабжения / Е.Н. Амиргалиев, М.М. Кунелбаев, Т.Р. Сундетов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2021. – Т. 21, № 3. – С. 83–89. DOI: 10.14529/power210310

### FOR CITATION

Amirgaliyev E.N., Kunelbayev M.M., Sundetov T.S. Developing an Automated Controller for a Solar Heating System. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2021, vol. 21, no. 3, pp. 83–89. (in Russ.) DOI: 10.14529/power210310