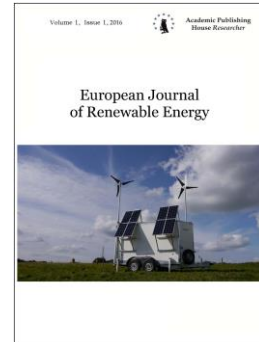


Copyright © 2019 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic  
European Journal of Renewable Energy  
Has been issued since 2016.  
E-ISSN 2454-0870  
2019, 4(1): 3-11

DOI: 10.13187/ejre.2019.1.3  
[www.ejournal51.com](http://www.ejournal51.com)



## Articles

### Construction and Simulation of a Water Cooling System Controller for PV Modules: Some Initial Results

Le Vinh Thang <sup>a</sup>, Anatolii V. Schagin <sup>a</sup>, Ngo Xuan Cuong <sup>b, \*</sup>, Nguyen Thi Hong <sup>c</sup>

<sup>a</sup>National Research University of Electronic Technology, Russian Federation

<sup>b</sup>School of Engineering and Technology, Hue University, Thua Thien Hue, Vietnam

<sup>c</sup>Faculty of Thermal, Refrigeration and Construction, Hue Industrial College, Thien Hue, Vietnam

#### Abstract

In recent years, equipment for the use of solar energy has been actively developing in the world, which provides heat and electricity. In particular, photovoltaic technology using photovoltaic modules is widely used. This paper focuses on cooling controllers for the surface of photovoltaic modules to reduce surface temperatures, increase their output power and improve the performance of photovoltaic systems. The paper presented the design, simulation and construction of water cooling system controller for photovoltaic modules. The application of water cooling system controller for grid-connected photovoltaic system with 250 Wp has brought good results. The experiments were conducted at Central Vietnam, the water cooling system controller is set to automatically work so that when the surface temperature reaches 40°C, after each operation the power of the grid-connected photovoltaic system increased significantly. The results also indicate that the power consumption of the water cooling system controller is much smaller than the increased power of grid-connected photovoltaic system.

**Keywords:** water cooling, PV, power increase, performance.

#### 1. Введение

В последние годы в мире активно развивается оборудование для использования солнечной энергии, которое обеспечивает тепло и электроэнергию. В частности, широко используется фотоэлектрическая технология с использованием фотоэлектрических модулей (Shubbak, 2019; Cuong, 2018). Повышение производительности фотоэлектрических панелей было заинтересовано во многих исследованиях, таких как применение систем слежения (Kang et al., 2019; Cuong et al., 2018; Hafez et al., 2018; Кьонг, 2013) и систем охлаждения (Nasef et al., 2019; Bayrak et al., 2019). Производительность сильно зависит от температуры поверхности, поэтому было проведено множество исследований и продуктов систем охлаждения для улучшения производительности фотоэлектрических модули (Sajjad et al., 2019). Система водяного охлаждения используется для снижения температуры и удаления пыли и грязи с поверхности фотоэлектрических модулей, чтобы захватить больше энергии.

\* Corresponding author

E-mail addresses: [ngoxuancuong@hueuni.edu.vn](mailto:ngoxuancuong@hueuni.edu.vn) (Ngo Xuan Cuong)

Такие системы должны их контроллеры, создавая точные струи воды, работающие в нужное время, ограничивая потери энергии при охлаждении.

Автоматическая система охлаждения должна использовать контроллер, который принимает сигналы от датчика температуры и управляет двигателем водяного насоса для подачи воды к распылителям. Контроллерами могут быть микропроцессоры, микроконтроллеры, компьютеры или ПЛК. В этом исследовании используется Ардуино микроконтроллер, потому что это низкая стоимость и простое программирование.

Контроллер состоит из следующих основных компонентов: датчик температуры, Ардуино микроконтроллер, жидкокристаллический дисплей и схема управления двигателем.



**Рис. 1.** Блок-схема контроллера

На приведенных выше блок-схемах мы напишем блок-схемы алгоритма управления, с помощью которого мы напишем коды для микроконтроллеров Arduino, затем перейдем к моделированию системы с помощью программного обеспечения Proteus и узнаем, как она работает. контроллер и, следовательно, завершить алгоритм блок-схемы и код для микроконтроллера. Целью проекта является создание простого недорогого контроллера, поэтому предпочтение отдается доступному на рынке аппаратному обеспечению и его низкой стоимости.

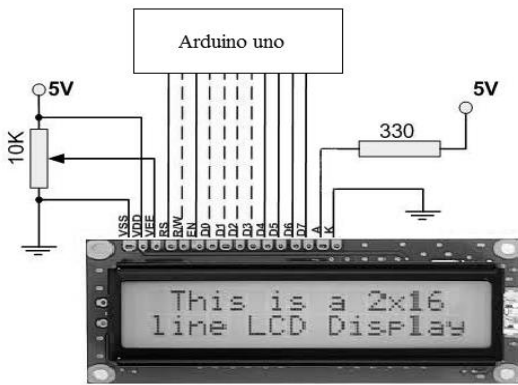
## 2. Выбор компонентов

### 2.1. Ардуино микроконтроллер и жидкокристаллический дисплей

Ардуино – это простое в использовании электронное устройство с открытым исходным кодом для подключения аппаратного и программного обеспечения. С Ардуино мы можем измерять изменения внешних условий с помощью различных датчиков. Мы можем использовать автономный Ардуино, или мы можем общаться с программным обеспечением, запущенным на компьютере. В этом разделе Ардуино UNO R3 используется в качестве центрального контроллера, поскольку он отвечает требованиям темы, таким как: много количество управляющих контактов; 14 цифровых контактов, 6 аналоговых контактов, разъем USB, независимый разъем питания; в наличии; Простой в использовании (Monk, 2016).

Дисплей – это устройство, которое отправляет информацию из микроконтроллера пользователю, через который пользователь узнает необходимую информацию. Сегодня устройства ЖК дисплеи (жидкокристаллические дисплеи) используются во многих приложениях микроконтроллеров.

На [Рисунке 2](#) показано, как подключить 16-контактный ЖК-дисплей. Контакты, подключенные к Ардуино, отвечают за передачу и прием информации, помогая ЖК-дисплею отображать необходимую информацию. Чтобы сохранить контакты разъема на микроконтроллере, мы можем использовать 4-битный режим, сокращая 4 порта, подключенных к микроконтроллеру. В общей сложности, для подключения к Ардуино в соответствии с этим планом мы используем 2 контакта питания и 6 цифровых контактов Ардуино.



**Рис. 2.** Подключение питания для ЖК-дисплея

### 2.2. Датчики и схема управления двигателем

Датчики играют важную роль в системе контроллеров, они должны работать правильно и просты в установке, что сделает проектирование и программирование системы очень простым. Цифровой датчик температуры и влажности DHT11 в настоящее время является очень популярным, потому что он дешевый и простой в получении данных через 1-проводную связь (цифровая связь – 1 одиночная линия передачи данных). Встроенный в датчик препроцессор сигнала помогает получать точные данные без каких-либо расчетов. Характеристики датчика DHT11: Определение влажности: 20-90 % RH  $\pm$  5 %(макс.); Определение температуры: 0-50 °C  $\pm$  2 %(макс.); Частота опроса: не более 1 Гц; Питание и I/O 3.5-5.5 В.

Чтобы точно определить значение температуры фотоэлектрического модуля, необходимо установить датчик, прикрепленный к его поверхности. Следует обратить внимание на водо- и влагостойкость выбранного датчика. В нашей модели будут располагаться на задней поверхности фотоэлектрические модули, охлаждение будет вестись спереди.

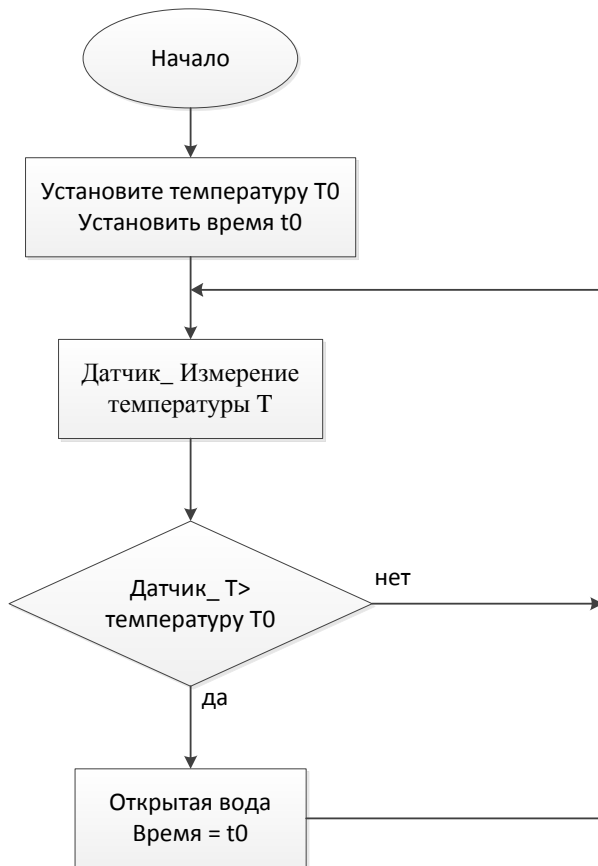
Для правильного контроля открытия и закрытия водяного клапана, Мы используем водяной электромагнитный клапан в сочетании с драйвером двигателя L298, которая состоит из 2 цепей H-моста может помочь легко контролировать скорость вращения двигателей постоянного тока, обслуживая двигатели с напряжением от 5 В до 35 В постоянного тока, максимальный ток 2 А (максимальный двигатель 70 Вт). Потребляемая мощность: 20 Вт (при температуре  $T = 75$  °C). Для небольших применений модель может использовать L298 в качестве хорошей схемы управления.

Работа водяного электромагнитного клапана основана на подаче электроэнергии. При помощи подачи тока запорная арматура устройства открывается или перекрывает доступ для воды.

### 3. Блок-схема алгоритма

Из аппаратных средств, соединяющих все вместе, мы получаем контроллер, но основная часть внутри контролирует вращение двигателя, показывая параметры модели, необходимые для сторонней программы. в микроконтроллере или внутри Ардуино. Прежде чем писать контрольный код, мы должны настроить алгоритмы управления блок-схемами системы.

Блок-схема алгоритма управления программным обеспечением показана на [Рисунке 3](#). На блок-схеме значение  $T$  это температуры датчика,  $T_0$  – установленное значение температуры, значение  $t_0$  – времени установки. Далее сравните  $T$  и  $T_0$ . Если ( $T > T_0$ ), тогда включите состояния насоса в период времени  $t_0$ , это означает, что Ардуино подает открытые управляющие сигналы на схему управления двигателем L298. Если нет, ничего не делай. Продолжая такой цикл, система будет работать непрерывно.

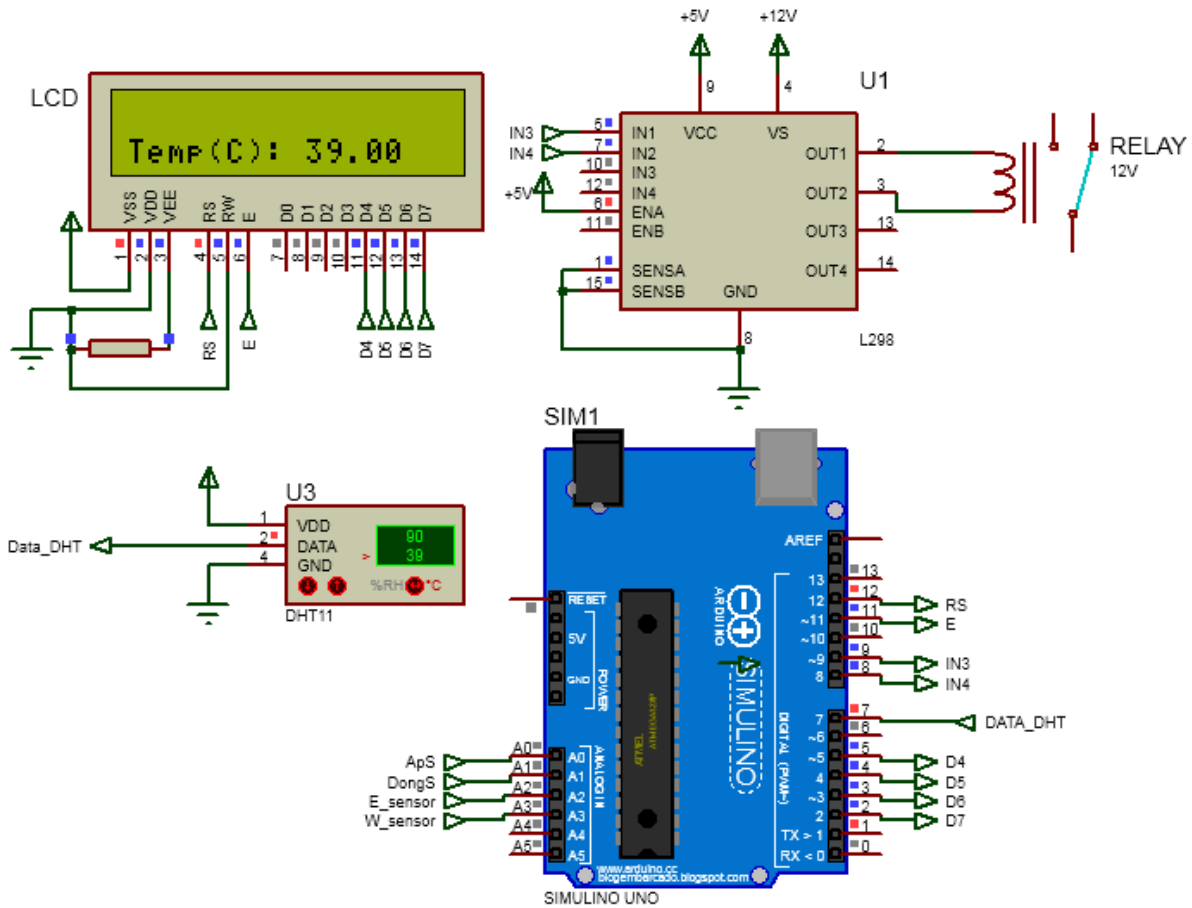


**Рис. 3.** Блок-схема алгоритма управления

#### 4. Результаты и обсуждение

Программное обеспечение программируется с помощью компилятора Arduino Integrated Development Environment 1.8.9. Исходный код скомпилирован и может быть загружен в arduino uno через USB-кабель. На основе блок-схемы алгоритма управления и операторов, доступных в программном коде IDE для Ардуино, они написаны и загружены для работы Ардуино.

Системный контроллер системы водяного охлаждения моделируется PROTEUS 8.7, это одна из лучших программ для моделирования электронных конструкций. Моделирование интерфейса контроллера показан на [Рисунке 4](#). Центральная часть моделирования – arduino uno, она подключена к ЖК-дисплею 16x2 через цифровые контакты D12, D11, D5, D4, D3, D2. Датчик температуры использует 5 В на Arduino, и сигнал датчика температуры и влажности отправляется на Arduino через вывод D7. Ардуино передает сигнал к драйвер двигателя L298 через контакты D8 и D9. Благодаря этим сигналам драйвер двигателя L298 открывает водяной электромагнитный клапан для протекания воды, обеспечивая охлаждение фотоэлектрического модуля. В роли водяного электромагнитного клапана мы используем модель электрического реле (RELAY 12V) в программном обеспечении Proteus ([Рисунок 4](#)).



**Рис. 4.** Схема моделирования контроллера

Программа написана в программном обеспечении Arduino IDE, когда мы проверяем, она переводится в «шестнадцатеричный код». Шестнадцатеричный код этой скомпилированной программы перед симуляцией загружается в Ардуино в программе Proteus.

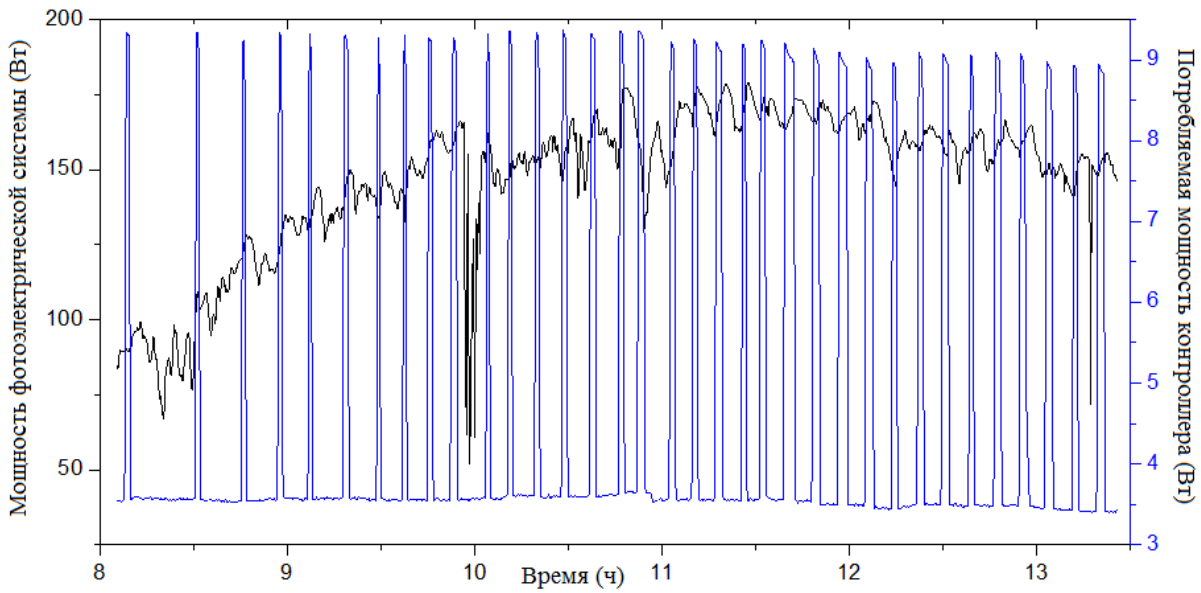
Описание работы контроллера показано ниже.

При установке температуры на DHT ниже 40°C Ардуино выводит только данные о температуре на жидкокристаллический дисплей и не открывает и не закрывает драйвер двигателя L298, реле в заблокированном состоянии (Рисунок 4).

При установке температуры на DHT выше 40°C, Ардуино выдает сигнал на выводе D8 на высоком уровне, чтобы открыть драйвер двигателя, реле находится в разомкнутом состоянии, что означает, что охлаждение выполняется. На жидкокристаллическом экране отображается открытое состояние (Cooling Status) (Рисунок 5).

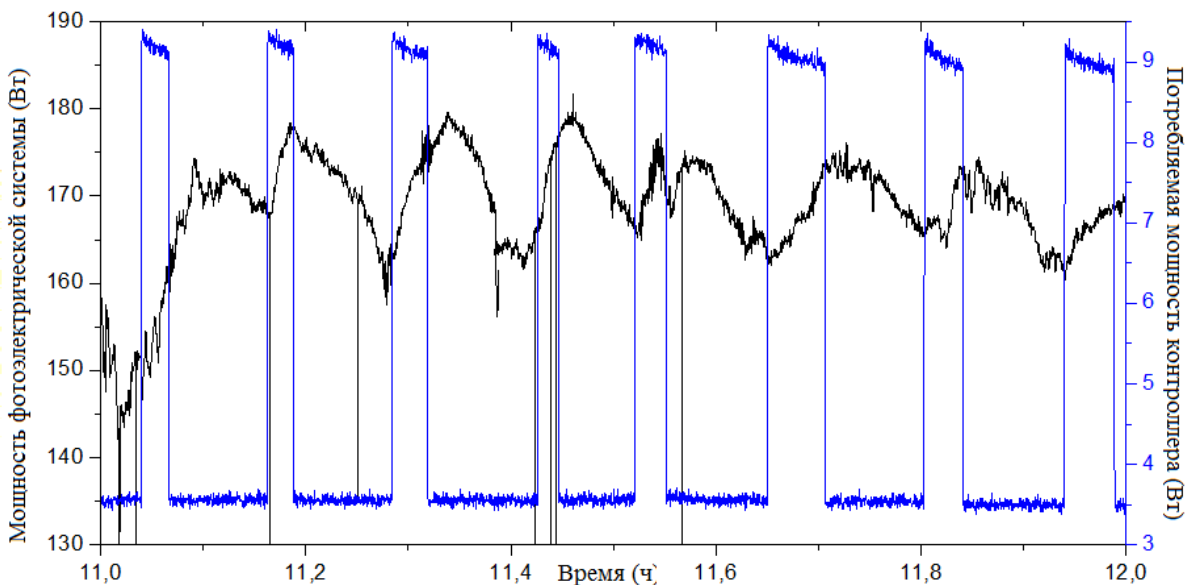






**Рис. 7.** Мощность фотоэлектрической системы и контроллера

На [Рисунке 7](#) показаны генерируемая мощность фотоэлектрической системы с использованием изготовленного контроллера системы охлаждения и потребляемая мощность контроллера. [Рисунок 8](#) показано, что после каждой операции контроллера мощности фотоэлектрической системы значительно увеличивается из-за эффекта распыления тумана на рабочей поверхности фотоэлектрического модуля, что приводит к снижению температуры поверхности фотоэлектрического модуля, и к увеличению генерируемой мощности. Со временем генерируемая мощность уменьшалась из-за повышения температуры рабочей поверхности под воздействием сильного солнечного света. Когда температура поверхности достигнет  $40^{\circ}\text{C}$ , система охлаждения автоматически продолжит работу.



**Рис. 8.** Увеличение мощности фотоэлектрической системы

## 5. Заключение

Исследования завершились моделированием контроллера системы охлаждения на программное обеспечение Proteus, через моделирование можно редактировать программу

контроллера оптимальным способом. Экспериментальный тест контроллера успешно. Результаты показали, что после каждой операции контроллера системы охлаждения мощность фотоэлектрической системы значительно увеличивалась.

### Литература

- Кьонг, 2013** – Кьонг, Нго Сян. Анализ конструктивных схем электромеханических систем солнечных батарей // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 1.
- Bayrak et al., 2019** – Bayrak, Fatih, Hakan F. Oztop, Fatih Selimefendigil. Effects of different fin parameters on temperature and efficiency for cooling of photovoltaic panels under natural convection // *Solar Energy*. 2019. 188: 484-494.
- Cuong et al., 2018** – Cuong, Ngo Xuan, Vo Quang Nha, Nguyen Thi Hong. Asimplified calculation method of electric linear actuators for single-axis sun tracker // *Hue University Journal of Science: Natural Science*. 2018. 127.1D: 47-54.
- Cuong, 2018** – Cuong, N.X. Voltage Quality Analysis of Small-Capacity Grid-Connected Photovoltaic Systems in Low Voltage Distribution Networks // *European Journal of Technology and Design*. 2018. 6(1): 3-10.
- Hafez et al., 2018** – Hafez, A.Z., Yousef, A.M., Harag, N.M. Solar tracking systems: Technologies and trackers drive types – A review // *Renew. Sust. Energ. Rev.* 2018. 91: 754-782.
- Kang et al., 2019** – Kang, H., Hong, T., Jung, S., Lee, M. Techno-economic performance analysis of the smart solar photovoltaic blinds considering the photovoltaic panel type and the solar tracking method // *Energy and Buildings*. 2019. 193: 1-14.
- Monk, 2016** – Monk, S. (2016). Programming Arduino: Getting Started with Sketches, (Tab). McGraw-Hill Education TAB.
- Nasef et al., 2019** – Nasef, H.A., Nada, S.A., Hassan Hamdy. Integrative passive and active cooling system using PCM and nanofluid for thermal regulation of concentrated photovoltaic solar cells // *Energy Conversion and Management*. 2019. 199: 112065.
- Sajjad et al., 2019** – Sajjad, U., Amer, M., Ali, H. M., Dahiya, A., Abbas, N. (2019). Cost effective cooling of photovoltaic modules to improve efficiency // *Case Studies in Thermal Engineering*. 14: 100420.
- Shubbak, 2019** – Shubbak, Mahmood H. Advances in solar photovoltaics: Technology review and patent trends // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. 115: 109383.

### References

- Bayrak et al., 2019** – Bayrak, Fatih, Hakan F. Oztop, Fatih Selimefendigil (2019). Effects of different fin parameters on temperature and efficiency for cooling of photovoltaic panels under natural convection. *Solar Energy*. 188: 484-494.
- Cuong et al., 2018** – Cuong, Ngo Xuan, Vo Quang Nha, Nguyen Thi Hong (2018). Asimplified calculation method of electric linear actuators for single-axis sun tracker. *Hue University Journal of Science: Natural Science*. 127.1D: 47-54.
- Cuong, 2018** – Cuong, N.X. (2018). Voltage Quality Analysis of Small-Capacity Grid-Connected Photovoltaic Systems in Low Voltage Distribution Networks. *European Journal of Technology and Design*. 6(1): 3-10.
- Hafez et al., 2018** – Hafez, A.Z., Yousef, A.M., Harag, N.M. (2018). Solar tracking systems: Technologies and trackers drive types – A review. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 91: 754-782.
- Kang et al., 2019** – Kang, H., Hong, T., Jung, S., Lee, M. (2019). Techno-economic performance analysis of the smart solar photovoltaic blinds considering the photovoltaic panel type and the solar tracking method. *Energy and Buildings*. 193: 1-14.
- Kyong, 2013** – Kyong, Ngo Syan (2013). Analiz konstruktivnykh skhem elektromekhanicheskikh sistem solnechnykh batarei [Analysis of structural schemes of electromechanical systems of solar panels]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 1. [in Russian]
- Monk, 2016** – Monk, S. (2016). Programming Arduino: Getting Started with Sketches, (Tab). McGraw-Hill Education TAB.



Nasef et al., 2019 – Nasef, H.A., Nada, S.A., Hassan Hamdy (2019). Integrative passive and active cooling system using PCM and nanofluid for thermal regulation of concentrated photovoltaic solar cells. *Energy Conversion and Management*. 199: 112065.

Sajjad et al., 2019 – Sajjad, U., Amer, M., Ali, H. M., Dahiya, A., Abbas, N. (2019). Cost effective cooling of photovoltaic modules to improve efficiency. *Case Studies in Thermal Engineering*. 14: 100420.

Shubbak, 2019 – Shubbak, Mahmood H. (2019). Advances in solar photovoltaics: Technology review and patent trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 115: 109383.

## Построение и моделирование контроллера системы водяного охлаждения для фотоэлектрических модулей: Некоторые первые результаты

Ле Винь Тханг <sup>a</sup>, Анатолий В. Щагин <sup>a</sup>, Нго Сян Кыонг <sup>b, \*</sup>, Тхи Хонг Нгуен <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Российская Федерация

<sup>b</sup> Школа техники и технологии, Хюэский Университет, Вьетнам

<sup>c</sup> Промышленный колледж Хюэ, Вьетнам

**Аннотация.** В последние годы в мире активно развивается оборудование для использования солнечной энергии, которое обеспечивает тепло и электричество. В частности, широко используется фотоэлектрическая технология с использованием фотоэлектрических модулей. Эта статья посвящена контроллеру охлаждения для поверхности фотоэлектрических модулей для снижения температуры поверхности, увеличения их выходной мощности и улучшения производительности фотоэлектрических систем. В работе представлено проектирование, моделирование и построение контроллера системы водяного охлаждения для фотоэлектрических модулей. Применение контроллера системы водяного охлаждения для подключенной к сети фотоэлектрической системы с мощностью 250 Вт дало хорошие результаты. Эксперименты проводились в Центральном Вьетнаме, контроллер системы водяного охлаждения настроен на автоматическую работу при температуре поверхности выше 40°C, после каждой операции мощность подключенной к сети фотоэлектрической системы значительно возрастает. Результаты также показывают, что потребляемая мощность контроллера системы водяного охлаждения намного меньше, чем увеличенная мощность подключенной к сети фотоэлектрической системы.

**Ключевые слова:** водяное охлаждение, PV, увеличение мощности, производительность.

\* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: [ngoxuancuong@hueuni.edu.vn](mailto:ngoxuancuong@hueuni.edu.vn) (Н. Сян Кыонг)