

УДК 620.92

<https://doi.org/10.36906/KSP-2021/72>

**Ильичев В.Г.**

*ORCID: 0000-0002-2579-0403*

**Фаюстова О.А.**

*ORCID: 0000-0002-5974-6208*

*Астраханский государственный университет*

*г. Астрахань, Россия*

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ВОДЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ

**Аннотация.** В настоящей работе рассмотрена проблема пагубного влияния повышенной температуры на ресурс фотоэлектрических модулей и решения, для предотвращения существующей проблемы.

**Ключевые слова:** фотоэлектрический модуль; температура; система охлаждения; излучение; пассивный метод; активный метод; эффективность.

**Ilichev V.G.**

*ORCID: 0000-0002-2579-0403*

**Fayustova O.A.**

*ORCID: 0000-0002-5974-6208*

*Astrakhan State University,*

*Astrakhan, Russia*

## COMPARATIVE ANALYSIS OF WATER COOLING SYSTEMS OF PHOTOVOLTAIC MODULES

**Abstract.** In this paper, we consider the problem of the detrimental effect of elevated temperature on the life of photovoltaic modules and solutions to prevent the existing problem.

**Key words:** photovoltaic module; temperature; cooling system; radiation; passive method; active method; efficiency.

Использование возобновляемых источников энергии становится все более популярным в связи с увеличением численности населения и экологическими проблемами. Из 13 511,2 миллионов тонн нефтяного эквивалента, потребляемых во всем мире, около 85% приходится на ископаемое топливо.

Таким образом, мировое потребление первичной энергии по-прежнему покрывается за счет традиционных источников. Очевидно, что это несколько меньшее значение по сравнению

с 2005 годом, когда оно составляло 92%, но все еще очень высокое, поскольку в 2017 году на нефть, уголь и природный газ приходилось 34,2%, 27,6% и 23,4%, соответственно, мирового потребления первичной энергии [2]. Солнечная энергия является одним из важных видов возобновляемых источников энергии, который привлекает к работе многих исследователей по всему миру.

Существует два вида энергии, которые могут быть получены из солнечной энергии: электрическая энергия и тепловая. Одной из наиболее распространенных технологий производства возобновляемой энергии является использование фотоэлектрических систем (сетевых и автономных), которые преобразуют солнечный свет в полезную электрическую энергию.

Этот тип технологии использования возобновляемых источников энергии, который не загрязняет окружающую среду во время эксплуатации, уменьшает проблемы глобального потепления, снижает эксплуатационные расходы и обеспечивает минимальное техническое обслуживание и максимальную плотность мощности по сравнению с другими технологиями использования возобновляемых источников энергии, подчеркивает преимущества солнечной фотоэлектрической (фотоэлектрической) энергии.

Помимо нескольких преимуществ, демонстрируемых фотоэлектрической технологией, у этой системы преобразования есть некоторые общие проблемы, такие как град, пыль и рабочая температура поверхности, которые могут негативно повлиять на эффективность системы преобразования. Производительность фотоэлемента очень чувствительна к температуре поверхности ячейки. На эту температуру влияют погодные параметры, такие как температура окружающей среды, скорость ветра, влажность, интенсивность солнечного излучения, а также структура ячейки и материал [7; 9].

#### *Системы охлаждения. Классификация*

Существующие на сегодняшний день методы охлаждения фотоэлектрических модулей можно классифицировать на две группы:

1. Активная система охлаждения.
2. Пассивная система охлаждения.

Пассивная система охлаждения относится к технологиям, снижающим температуру фотоэлектрического модуля за счет поглощения тепла от него без дополнительного энергопотребления. Активные же системы охлаждения включают в себя отвод тепла с использованием устройств для нагнетания воздуха или подачи воды на панели для отвода тепла. Следует отметить, что методы активного охлаждения, как правило, более эффективны, а также более дорогостоящи. Как для пассивных, так и для активных систем охлаждения обычно используются охлаждающие среды – воздух и вода. Воздушное охлаждение не очень хорошо подходит для извлечения тепловой энергии из фотоэлектрического поглотителя в жарких регионах, водяное охлаждение позволяет работать при гораздо более высоких температурах и позволяет более эффективно использовать рекуперацию отработанного тепла

[3]. Следовательно, водяное охлаждение во многих случаях является более выгодным вариантом.

#### *Применение метода пассивного водяного охлаждения*

Водяное охлаждение фотоэлектрических панелей со свободным потоком спереди может повысить эффективность и надежность преобразования фотоэлектрической энергии. Пассивная система водяного охлаждения была разработана и изготовлена М. Patil и др. [7]. Общий вид системы показана на рисунке 1.



Рис. 1. Экспериментальная установка пассивного водяного охлаждения [7]

В качестве охлаждающей жидкости при исследовании используется вода, напряжение ( $V_{oc}$ ), ток ( $I_{sc}$ ), солнечное излучение ( $G$ ) и выходная мощность солнечной фотоэлектрической системы измерялись каждый час как для обычных солнечных фотоэлектрических систем, так и для фотоэлектрических систем с водяным охлаждением.

Пассивная фотоэлектрическая система с водяным охлаждением была изготовлена с использованием монокристаллического кремния мощностью 110 Вт и аморфной (тонкой) кремниевой солнечной панели.

Охлаждающая вода равномерно подавалась на заднюю поверхность фотоэлектрической панели для однородного охлаждения панели, как показано на рис. 1. Без системы охлаждения средняя температура ячейки достигает  $60^{\circ}\text{C}$ , а КПД солнечной панели снижается до 8-16%. Однако, когда панель работала в пассивной системе водоснабжения, температура фотоэлемента была снижена до  $47^{\circ}\text{C}$ , что привело к повышению эффективности солнечных фотоэлементов на 10-21%. Обе системы, без охлаждения и с системами охлаждения, проверены экспериментально.

Охлаждение фотоэлектрического модуля путем погружением в воду была использована Saurabh Mehrotra и др. [6]. Установка водяного погружного охлаждения показана на рисунке 2. Фотоэлектрический элемент, погруженный в воду, контролировался в реальных

климатических условиях; температуру поверхности элемента можно регулировать в диапазоне от 31°C до 39°C.



Рис. 2. Установка водяного погружного охлаждения [6]

#### *Применение метода активного водяного охлаждения*

Ярким примером применения метода активного водяного охлаждения является экспериментальное исследование влияния воды между стеклом ( $n_{\text{glass}}=1,5$ ) и воздухом ( $n_{\text{air}}=1,0$ ) в фотоэлектрической панели [5]. В дополнение к поддержанию чистоты поверхности вода уменьшает отражение на 2–3,6%, снижает температуру ячейки до 22 °С.

Сравнение температур ячеек обычного фотоэлектрического модуля и фотоэлектрического модуля с потоком воды показано на рис. 3

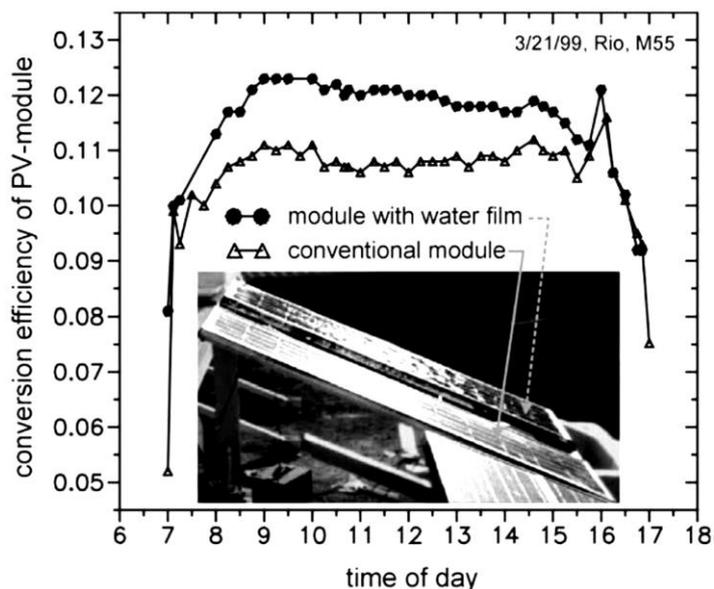


Рис. 3. Сравнение температур ячеек обычного фотоэлектрического модуля и фотоэлектрического модуля с потоком воды [6]

Y. Igwan и др. [4] провели эксперимент с водяным охлаждением в помещении. Экспериментальная установка показана на рис. 4.

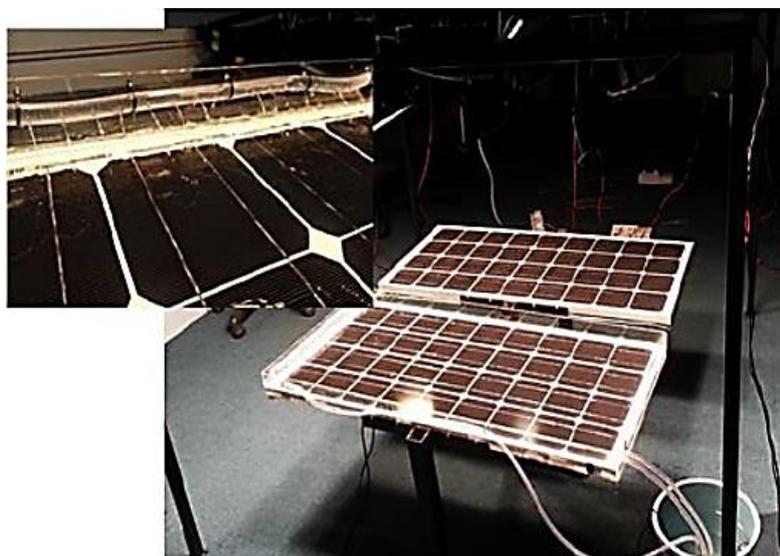


Рис. 4. Фотоэлектрический модуль с механизмом водяного охлаждения и без него с использованием солнечного симулятора [4]

В качестве солнечного симулятора были установлены галогенные лампы на стальной раме. Лампы действуют как естественный солнечный свет. Для проведения эксперимента были выбраны четыре набора средней солнечной радиации на испытательной поверхности солнечного симулятора, измеренные как 413, 620, 821 и 1016 Вт/м<sup>2</sup> [1]. В качестве нагнетателя охлаждающей жидкости был выбран водяной насос постоянного тока. Результаты эксперимента показали, что снижение рабочей температуры примерно на 5-23 °С увеличивает выходную мощность фотоэлектрического модуля с механизмом водяного охлаждения на 9-22%, как показано на рис. 5.

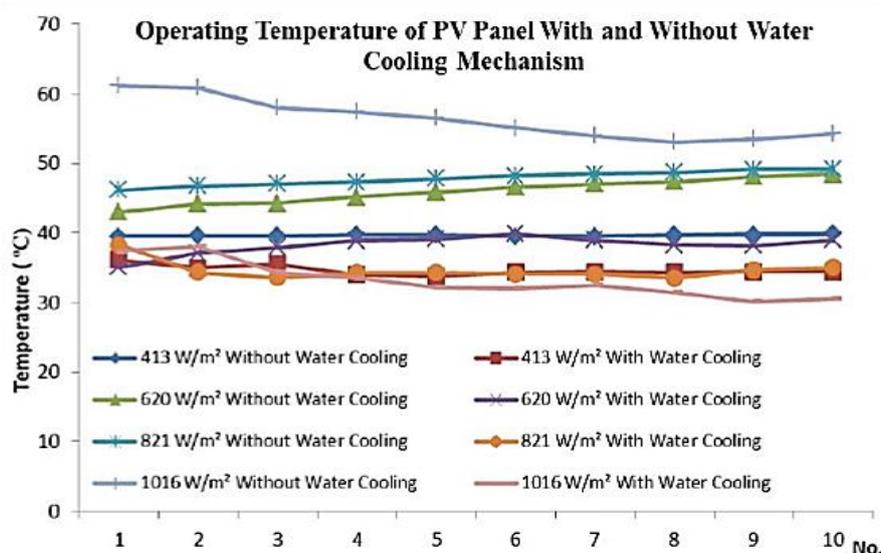


Рис. 5. Значения температуры фотоэлектрического модуля с механизмом водяного охлаждения и без него с использованием солнечного симулятора [4]

Для достижения охлаждающего действия для фотоэлектрических систем могут быть использованы различные методы. Однако оптимальное решение для охлаждения критически зависит от нескольких факторов, таких как расположения системы, используемой фотоэлектрической технологии, структуры ячеек и погодных условий, в которых располагается система [8; 10].

Водяное охлаждение оказывает наибольшее влияние на снижение рабочей температуры фотоэлемента и улучшает электрические характеристики фотоэлектрической панели. Рассмотрены пассивный и активный методы охлаждения фотоэлектрических модулей. Установлено, что распыление воды на фотоэлектрические элементы значительно повышает эффективность системы и подсистемы. Охлаждение водяным распылением оказывает значительное влияние на производительность фотоэлемента, даже при низком расходе водяного распылителя производительность системы значительно повышается.

### Литература

1. Тханг Ле Винь, Щагин А.В., Кьонг Нго Сян, Хай Ле Вьет Активные методы водяного охлаждения для солнечного фотоэлектрического модуля // Инженерный вестник Дона. 2020. № 2. С. 12–15.
2. Benato A., Stoppato A., An Experimental Investigation of a Novel Low-Cost Photovoltaic Panel Active Cooling System // Energies. 2019. Vol. 12. №8. P. 1448. <https://doi.org/10.3390/en12081448>
3. Bijjargi Y. S., Kale S. S., Shaikh K. A. Cooling techniques for photovoltaic module for improving its conversion efficiency: A review // Int. J. Mech. Eng. Technol.(IJMET). 2016. V. 7. №4. P. 22-38.
4. Irwan Y., Leow W.Z., Irwanto M., Fareg M., Amelia A.R., Gomesh N., Safwati I. Indoor Test Performance of PV Panel through Water Cooling Method // Energy Procedia. 2015. Vol. 79. P. 604–611. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.540>
5. Krauter S. Increased electrical yield via water flow over the front of photovoltaic panels // Solar energy materials and solar cells. 2004. V. 82. №1-2. P. 131-137. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2004.01.011>
6. Mehrotra S., Rawat P., Debbarma M., Sudhakar K. Performance of a solar panel with water immersion cooling technique // International Journal of Science, Environment and Technology. 2014. V. 3. №3. P. 1161-1172.
7. Patil M., Sidramappa A., Angadi R. Experimental Investigation of Enhancing the Energy Conversion Efficiency of Solar PV Cell by Water Cooling Mechanism // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2018. V. 376. №1. P. 012014. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/376/1/012014>
8. Rasham A. M., Jobair H. K., Alkhazzar A. A. A. Experimental and Numerical Investigation of Photo-Voltaic Module Performance Via Continuous and Intermittent Water Cooling Techniques // Technology. 2015. V. 6. №7. P. 85-96.



9. Siddique A. A., Nahri A. Effects of Surface Temperature Variations on Output Power of Three Commercial Photovoltaic Modules // Int. J. Eng. Res. 2016. V. 5. №11. P. 12-16. <https://doi.org/10.17577/IJERTV5IS110009>

10. Teo H. G., Lee P. S., Hawlader M. N. A. An active cooling system for photovoltaic modules // Applied Energy. 2012. V. 90. №1. P. 309-315.. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.01.017>

© Ильичев В.Г., Фаюстова О.А., 2021