



# Issiq ob-havo sharoitida bug‘lantirishli sovutishga ega fotoelektrik o‘zgartirgich

Isroil A. Yuldoshev<sup>1</sup>, Farkhodjon Sh. Turaev<sup>1, a)</sup>, Bozorbek M. Botirov<sup>1, b)</sup>, Yunus M. Kurbanov<sup>1, d)</sup>, Dalira R. Kakharova<sup>1, e)</sup>, Jamshid B. Juraev<sup>1, e)</sup>

<sup>1</sup> DSc, prof., Toshkent davlat textika universiteti, Toshkent, 100095, O‘zbekiston; [yuldashev.i2004@gmail.com](mailto:yuldashev.i2004@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1335-0862>

<sup>1, a)</sup> Tayanch doktorant, Toshkent davlat textika universiteti, Toshkent, 100095, O‘zbekiston; [farxodjont@bk.ru](mailto:farxodjont@bk.ru)

<sup>1, b)</sup> PhD, dots., Toshkent davlat textika universiteti, Toshkent, 100095, O‘zbekiston; [bbozorbek@bk.ru](mailto:bbozorbek@bk.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2515-6274>

<sup>1, d)</sup> Katta o‘qituvchi, Toshkent davlat textika universiteti, Toshkent, 100095, O‘zbekiston; [yunusqurbonov22@gmail.com](mailto:yunusqurbonov22@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2515-6274>

<sup>1, e)</sup> Magistr, Toshkent davlat textika universiteti, Toshkent, 100095, O‘zbekiston; [dkoxarova1@mail.ru](mailto:dkoxarova1@mail.ru)

**Dolzarblik:** joriy ishda Toshkent shahri iqlim sharoitida fotoelektrik modullarni bug‘lantirish sovutish orqali aynan “passiv” sovutishga oid tabiiy tadqiqotlar va ishlanmalarning natijalari taqdim etilgan. Eksperimental Toshkent shahrida Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti hududida joylashgan Geliopoligonda olib borilgan. Geliopoligonning geografik kordinatalari 61° 12' 61" sharqiy uzunlik 41° 21' 09" shimoliy kenglikda joylashgan. Kristall kremniyli quyosh elementlari asosidagi katta FEM bug‘lantirib sovutish bo‘yicha nazariy hisoblar olib borilgan. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki bug‘lantirib sovutish haqiqatdan ham o‘ta qizish hisobiga FEM quvvat yo‘qotilishi yetarlicha kamaytirishga samarali usul hisoblanadi. **Maqsad:** bug‘lantirib sovutish uskunasiga ega FEM tajribalarda issiqlik texnikasining standart usullaridan foydalanilgan shuning bilan bir qatorda “passiv” sovutish usuli ham qo‘llanilgan.

**Usullar:** bug‘lantiruvchi sovutish moslamasiga ega FEM tajribasi davomida standart issiqlik texnika usullari, shu jumladan “passiv” sovutish usuli qo‘llanildi.

**Natijalar:** bug‘lantirib sovutish samaradorligini aniqlash bo‘yicha eksperimentlar ikkita bir xil ~1,64 m<sup>2</sup> maydonga ega FEM (biri sovutish orqali, ikkinchisi sovutishsiz) da tekshirildi. Atrof muhit harorati 38°C yuqori bo‘lganda FEM ishchi yuzasi harorati barqaror holda 33 - 35°C kamaytirildi, FEM sovutilmaganda harorati 64°C yetdi. Bu haroratda foydali ish ko‘efficientining (FIK) kamayishi 6% ko‘p bo‘lmagan ko‘rsatgichni sovutilmagan modulda ~20% ga yaqin tashkil etdi. FEM harorati bo‘yicha eksperiment natijalari nazariy hisoblar issiqlik uzatish tenglamalari bo‘yicha hisoblangan ma‘lumotlar bilan mosligini ko‘rsatdi.

**Kalit so‘zlar:** fotoelektrik modul, ishchi harorat, foydali ish ko‘efficienti, marli, yaroqlilik muddati, bug‘lantirish sovutish, termometr, issiqlik uzatish, suv sarfi, o‘ta qizish, quyosh energiyasi.

## Испарительное охлаждение фотоэлектрических панелей в условиях жаркого периода

Исроил А. Юлдошев<sup>1</sup>, Фарходжон Ш. Тураев<sup>1, a)</sup>, Бозорбек М. Ботиров<sup>1, b)</sup>, Юнус М. Курбанов<sup>1, d)</sup>, Далира Р. Какхарова<sup>1, e)</sup>, Жамшид Б. Жураев<sup>1, e)</sup>

<sup>1</sup> DSc, проф., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; [yuldashev.i2004@gmail.com](mailto:yuldashev.i2004@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1335-0862>

<sup>1, a)</sup> Базовый докторан, Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; [farxodjont@bk.ru](mailto:farxodjont@bk.ru)

<sup>1, b)</sup> PhD, доц., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; [bbozorbek@bk.ru](mailto:bbozorbek@bk.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2515-6274>

<sup>1, d)</sup> Старший преподаватель, Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; [yunusqurbonov22@gmail.com](mailto:yunusqurbonov22@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2515-6274>

<sup>1, e)</sup> Магистр, Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; [dkoxarova1@mail.ru](mailto:dkoxarova1@mail.ru)

**Актуальность:** в настоящей работе представлены результаты разработки и натурных исследований «пассивного» охлаждения, а именно, испарительного охлаждения фотоэлектрических модулей (ФЭМ) в климатических условиях г. Ташкента. Эксперименты проводились в Гелиополигоне, расположенном на территории Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова в Ташкенте. Географические координаты Гелиополигона 61° 12' 61" восточной долготы и 41° 21' 09" северной широты. Проведены теоретические расчёты по испарительному охлаждению ФЭМ на основе кристаллических солнечных элементов. Полученные данные показывают, что испарительное охлаждение действительно эффективно и может значительно уменьшить потерю мощности ФЭМ от перегрева.

**Цель:** повышение КПД ФЭМ на основе кристаллических солнечных элементов за счет испарительного охлаждения с максимальным снижением температуры рабочей поверхности модулей.

**Методы:** при эксперименте ФЭМ с устройством испарительного охлаждения были использованы стандартные методы теплотехники, в том числе метод «пассивного» охлаждения.

**For citation:** I.A. Yuldoshev, F.Sh. Turaev, B.M. Botirov, Y.M. Kurbanov, D.R. Kakharova, J.B. Juraev. Evaporative cooling photovoltaic panel in the conditions of a hot period. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2024, no. 4, pp. 115-123.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14580468>

Received: 20.10.2024

Revised: 13.11.2024

Accepted: 15.12.2024

Published: 27.12.2024

**Copyright:** © Isroil A. Yuldoshev, Farkhodjon Sh. Turaev, Bozorbek M. Botirov, Yunus M. Kurbanov, Dalira R. Kakharova, Jamshid B. Juraev, 2024. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



**Результаты:** эксперименты по определению эффективности испарительного охлаждения проверялись на двух одинаковых ФЭМ (один с охлаждением, другой – без охлаждения) площадью  $\sim 1,64 \text{ м}^2$ . При температуре окружающей среды  $38^\circ\text{C}$  температура рабочей поверхности охлаждаемого ФЭМ устойчиво снижалась до  $33 - 35^\circ\text{C}$ , а температура не охлаждаемого ФЭМ достигала  $64^\circ\text{C}$ . При таких температурах понижение коэффициента полезного действия (КПД) охлаждаемого ФЭМ составляет не более 6%, а не охлаждаемого –  $\sim 20\%$ . Эксперименты показали хорошую сходимостью фактической температуры ФЭМ и теоретически рассчитанной по уравнениям теплопередачи.

**Ключевые слова:** фотоэлектрические модули, рабочая температура, коэффициент полезного действия, марлевое полотно, срок службы, испарительное охлаждение, термометр, отвод тепла, расход воды, перегрев, солнечная энергия.

## Evaporative cooling photovoltaic panel in the conditions of a hot period

Isroil A. Yuldoshev<sup>1</sup>, Farkhodjon Sh. Turaev<sup>1, a)</sup>, Bozorbek M. Botirov<sup>1, b)</sup>, Yunus M. Kurbanov<sup>1, d)</sup>, Dalira R. Kakharova<sup>1, e)</sup>, Jamshid B. Juraev<sup>1, e)</sup>

<sup>1</sup> DSc, prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; [yuldashev.i2004@gmail.com](mailto:yuldashev.i2004@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1335-0862>

<sup>1, a)</sup> Doctoral student, Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; [farkhodjont@bk.ru](mailto:farkhodjont@bk.ru)

<sup>1, b)</sup> PhD, Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; [bbozorbek@bk.ru](mailto:bbozorbek@bk.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2515-6274>

<sup>1, d)</sup> Senior Lecturer, Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; [yunusqurbonov22@gmail.com](mailto:yunusqurbonov22@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2515-6274>

<sup>1, e)</sup> Master, Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; [dkoxarova1@mail.ru](mailto:dkoxarova1@mail.ru)

**Relevance:** this paper presents the results of the development and field studies of "passive", namely, evaporative cooling of photovoltaic modules (PV) in climatic conditions of the city of Tashkent. The experiments were conducted in a Heliopolygon located on the territory of the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov in Tashkent city. Geographical coordinates ( $61^\circ 12' 61''$  east longitude and  $41^\circ 21' 09''$  north latitude). Theoretical calculations on the evaporative cooling of PV modules based on crystalline solar cells have been carried out. The data obtained show that evaporative cooling is really effective and can significantly reduce the loss of PV modules power from overheating.

**Aim:** to increase the efficiency of PV modules based on crystalline solar cells due to evaporative cooling with a maximum decrease in the temperature of the working surface of the modules.

**Methods:** during the PV modules experiment with an evaporative cooling device, standard methods of thermal engineering were used, including the method of "passive" cooling.

**Results:** experiments to determine the efficiency of evaporative cooling were tested on two identical PV modules (one with cooling, the other without cooling) with an area of  $\sim 1.64 \text{ m}^2$ . At an ambient temperature of  $38^\circ\text{C}$ , the working surface temperature of the cooled PV module steadily decreased to  $33-35^\circ\text{C}$ , and the temperature of the non-cooled PV module reached  $64^\circ\text{C}$ . At such temperatures, the decrease in the efficiency of the cooled PV modules is no more than 6%, and the non-cooled one is  $\sim 20\%$ . The experiments showed good convergence of the PV modules temperature calculated from the heat transfer equations with experimental data.

**Keywords:** photovoltaic modules, operating temperature, efficiency, gauze cloth, service life, evaporative cooling, thermometer, heat dissipation, water consumption, overheating, solar radiation.

### 1. Введение (Introduction)

Солнечный источник энергии универсален – он позволяет производить электрическую или тепловую энергию. Небольшая часть энергии, рассеиваемой Солнцем, достигает поверхности Земли, она по-прежнему представляет собой наиболее важный доступный источник энергии по сравнению с запасами ископаемого топлива [1].

В Узбекистане на солнечную и ветровую энергию придется 97,6% всех чистых приростов возобновляемой энергии, при этом солнечная энергия продолжает лидировать в приросте мощности с 346 ГВт (+32,2%), за ней следует ветровая энергетика с 116 ГВт (+12,9%) [2].

В последние годы в разных областях Узбекистана по решению правительства начинается строительство фотоэлектрических станций мощностью от 150 до 400 МВт совместно с компаниями из ОАЭ, Саудовской Аравии, Китая и Франции [3].

Неконцентрированные или плоские солнечные фотоэлектрические системы идеально подходят для отдаленных сельских районов, где другие источники электроэнергии либо непрактичны, либо недоступны для обеспечения освещения, бытовой техники и других применений. Кроме того, затраты на расширение линии электропередачи для обеспечения электроснабжения в отдаленных районах могут оказаться неприемлемыми. Следовательно, в этих условиях экономически выгоднее установить автономные фотоэлектрические системы [4].

Как правило, ФЭП преобразуют в электричество менее 20% поступающего солнечного из-



лучения. Таким образом, более 50% падающей солнечной энергии преобразуется в тепло, что приводит к нежелательным краткосрочным и долгосрочным потерям в ФЭП. Повышение температуры элемента, снижение выработки электроэнергии и КПД ФЭП — вот некоторые из распространенных проблем, которые называются краткосрочными потерями. С другой стороны, долгосрочные потери связаны с ухудшением производительности и зависят от состояния окружающей среды такие факторы, как температура, попадание воды и интенсивность ультрафиолетового излучения [5].

Для сравнения, промышленно изготовленные и имеющиеся в продаже ФЭП демонстрируют эффективность преобразования солнечной энергии от 11% до 21%, в зависимости от материала и технологий производства [6].

Однако несмотря на неоспоримые положительные стороны, ФЭП на основе кремния имеют невысокий электрический КПД при стандартной рабочей температуре панели 25°C [6]. Средний КПД современных панелей не превышает 21% и уменьшается с повышением рабочей температуры панели свыше 25°C. Фотоэлектрическая панель на основе кремния при повышении температуры с 22°C до 63°C показывает потерю среднемесячного коэффициента полезного действия, который достигнет более 20%. [7].

По этому вопросу охлаждения ФЭП посвящается много работ [8-15]. Кроме того, стабилизация температуры ФЭП уменьшает амплитуду циклических колебаний температуры и увеличивает срок службы панели [16].

## 2. Методы и материалы (Methods and materials)

- Объект исследования является натурных исследований «пассивного», а именно, испарительного охлаждения на фотоэлектрической модуле размерами 700x600 мм<sup>2</sup> и толщиной 5мм;
- Экспериментальная установка состоит из алюминиевой рамки, в которой располагается модуль, пластиковой емкости с водой, марлевого полотна из десяти прошитых слоёв и прижимной металлической сетки;
- Температурный характеристики измерялись по стандартной схеме с применением – цифровых приборов. Использовано также стандартной методика измерения теплотехники. Опыты проводились в естественных условиях и, поэтому, температура, влажность и скорость воздуха носят совершенно случайный характер. По результатам которых определялись максимальная температура тыльной стороны панели (влажного марлевого полотна). Определялись расчётная температура фотоэлектрического слоя.

**Технические характеристики экспериментальной установки (Technical characteristics of the experimental setup).** Конструкция испарительного охлаждения ФЭП была выбрана потому, что он покрывает полностью тыльной поверхности (смачиваемой области) фотоэлектрического модуля, которая показана на рис.1. Марлевого полотна из десяти прошитых слоёв и прижимной металлической сетки.

Марлевого полотна из десяти прошитых слоёв соответствуют стандартам испытаний. Из предварительного анализа следует, что преимущество предлагаемой новой конструкции теплопоглотителя заключается в том, что он покрывает полностью площади тыльной поверхности фотоэлектрического модуля, тем самым повышая электрическую мощность солнечной ФЭМ. Отвод тепла эффективен в любое время года, что особенно полезно для тропических, полусаусшливых и засушливых климатических регионов.

**Приборы и монтаж экспериментальной установки (Instruments and installation of the experimental setup).** После завершения проектирования и изготовления системы испарительного охлаждения на фотоэлектрических модуле, весь фотоэлектрический модуль был собран и установлен в Гелиополигоне, расположенном на территории Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова.

Географические координаты Гелиополигона 61°12'61" восточной долготы и 41°21'09" северной широты. Наклон фотоэлектрических модуле и ориентация панели ( $\beta$ ) были определены с использованием уравнений (1) и (2) соответственно [17,18].

$$\delta = 23,45 \sin (0,9863(284 + n_1)); \quad (1)$$

$$\beta = (\phi - 0,9); \quad (2)$$

где  $\phi$ ,  $\delta$  и  $n_1$  - широта, угол склонения и номер дня в году [11]

Расчет наклона тестовых модулей на месте по приведенным выше уравнениям привел к получению значения 33°, которое оставалось постоянным в течение всего исследования. Рабочие и изменяемые параметры в ходе экспериментального исследования, т.е. температура воды на входе и выходе, температура поверхности панели сверху и сзади, температура окружающей среды, расход воды и солнечное излучение, были зарегистрированы в течение одной минуты в ходе текущего исследования.

**Экспериментальная установка (Experimental setup).** В Ташкентском государственном

техническом университете имени Ислама Каримова ведётся разработка способа охлаждения солнечных панелей, отличающейся дешевизной компонентов и возможностью изготовления самим потребителем, простой и надёжностью в эксплуатации не только в городских, но и в отдалённых сельских местностях, где часто происходят перебои в подаче электроэнергии.

Из множества существующих лабораторных способов охлаждения солнечных панелей авторами выбран испарительный способ и охлаждения, как наиболее соответствующий изложенным критериям и климатическим условиям Узбекистана.

Выбору испарительного охлаждения способствовали теоретические расчёты. Суть испарительного охлаждения влажного предмета заключается в нагреве и испарении влаги теплом охлаждаемого предмета. При этом, при переходе 1 кг. воды в парообразное состояние, у предмета отбирается 2500 кДж тепла и предмет охлаждается.

Из курса технической термодинамики известно, что воздух определённой влажности  $\varphi$  и температура  $t_b$  при обдуве смоченного предмета снижает его температуру и сам охлаждается до температуры мокрого термометра  $t_m$ .

Температура мокрого термометра  $t_m$  является той температурой, до которой теоретически можно охладить влажный предмет. В зависимости от температуры  $t_b$  и влажности  $\varphi$  воздуха температуру мокрого термометра  $t_m$  удобнее определить по  $I - d$  диаграмме.

Если по городу Ташкенту принять среднюю влажность  $\varphi = 20\%$ , то по  $I - d$  диаграмме  $t_m$  будет равна 22,3 °С. Опыты показывают, что при указанных параметрах воздуха влажный предмет в зависимости от скорости движения воздуха охлаждается до 27-30 °С, в среднем до 28,5 °С.

Полученные данные показывают, что испарительное охлаждение действительно эффективно и может значительно уменьшить потерю мощности ФЭП от перегрева.

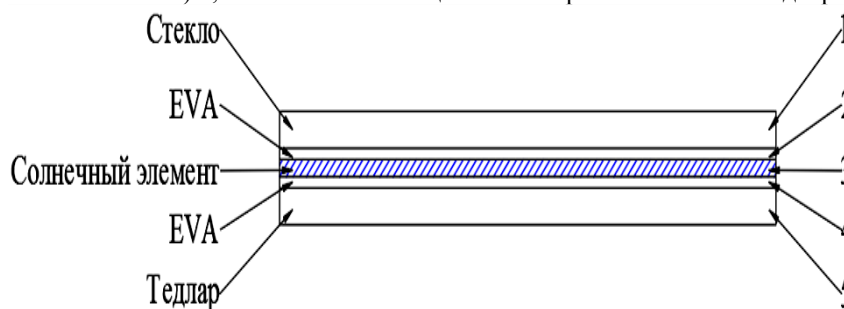
По полученным данным была рассчитана минимальная температура ФЭМ, до которой можно её охладить, применяя способ испарительного охлаждения.

**Таблица 1.** Данные для расчёта

**Table 1.** Data for calculation

№ п/п	Наименование	Толщина $\delta$ , мм	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/м·К
1	Стекло	4	1,0
2	EVA	0,2	0,35
3	Солнечный элемент	0,2	14,0
4	EVA	0,2	0,35
5	Тедлар	3	1,7
6	Температура воздуха, $t_b = 40^\circ\text{C}$		
7	Влажность воздуха, $\varphi = 20\%$		
8	Плотность лучистого потока, $E = 1000 \text{ Вт/мм}^2$		
9	Температура влажного охлаждающего материала $t_{\text{охл}} = 28,5^\circ\text{C}$		

ФЭП (рис.1) представляет собой многослойную стенку, собранную из защитного стекла 1, этиленвинилацетатной пленки EVA 2, солнечного монокристаллического кремниевый элемента (солнечного элемента) 3, снова EVA 4 и защитного покрытия на основе тедлара 5.



**Рис. 1.** Поперечное сечение ФЭП

**Fig. 1.** Cross section of PV panel

Расчётная схема выглядит так:

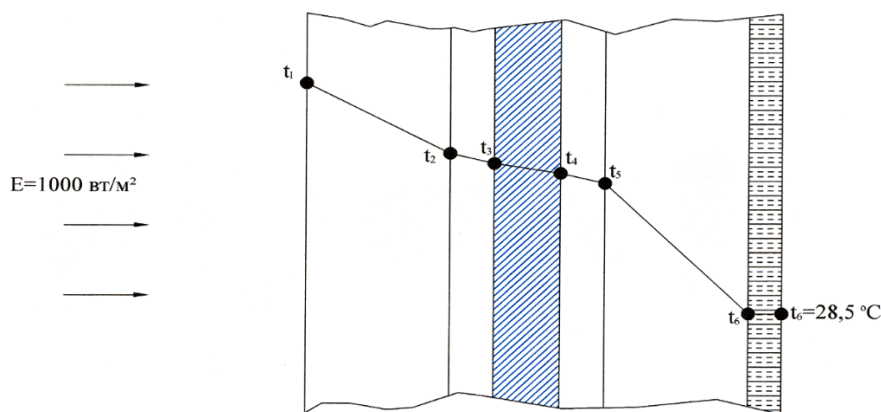


Рис. 2. Расчётная схема

Fig. 2. The design scheme

$t_1$ - температура поверхности стекла,  $t_2$ - EVA плёнка,  $t_3$ - солнечного элемента,  $t_4$ - EVA плёнка,  $t_5$ - тедлар,  $t_6$ - температура влажного материала

Из курса теплопередачи известно, что при стационарном режиме удельный тепловой поток  $q$  постоянен для всех слоёв одинаков. Поэтому для расчётной схемы рис.6 можно написать:

$$q = \frac{\lambda_1}{\delta_1}(t_1 - t_2); \quad (3)$$

$$q = \frac{\lambda_2}{\delta_2}(t_2 - t_3); \quad (4)$$

$$q = \frac{\lambda_3}{\delta_3}(t_3 - t_4); \quad (5)$$

$$q = \frac{\lambda_4}{\delta_4}(t_4 - t_5); \quad (6)$$

$$q = \frac{\lambda_5}{\delta_5}(t_5 - t_6). \quad (7)$$

Отсюда изменение температуры в каждом слое будет:

$$t_1 - t_2 = q \frac{\delta_1}{\lambda_1}; \quad (8)$$

$$t_2 - t_3 = q \frac{\delta_2}{\lambda_2}; \quad (9)$$

$$t_3 - t_4 = q \frac{\delta_3}{\lambda_3}; \quad (10)$$

$$t_4 - t_5 = q \frac{\delta_4}{\lambda_4}; \quad (11)$$

$$t_5 - t_6 = q \frac{\delta_5}{\lambda_5}. \quad (12)$$

Складывая левые и правые части системы уравнений, получаем уравнение полного температурного напора:

$$t_1 - t_6 = q \left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} \right). \quad (13)$$

Толщина  $\delta$  и коэффициенты теплопроводности  $\lambda$  материалов известны из табл.2, а плотность теплового потока  $q$  принимается равным плотности лучистого потока  $E=1000$  Вт/м<sup>2</sup>.

### 3. Результаты исследования (Results)

При  $q=E=1000$  Вт/м<sup>2</sup>. и температуре влажного охлаждающего материала  $t_6=t_{\text{охл}}=28,5^\circ\text{C}$  по формуле (а) температура поверхности защитного стекле  $t_1$  равна  $37^\circ\text{C}$ :

$$t_1 - t_6 = q \sum \frac{\delta}{\lambda} = 100 \left( \frac{0,004}{1,0} + \frac{0,0002}{0,35} + \frac{0,0002}{14} + \frac{0,0002}{0,35} + \frac{0,003}{1,7} \right) = 8,3; \quad (14)$$

$$t_1 = 8,3 + t_6 = 8,3 + 28,5 = 36,8^\circ\text{C}. \quad (15)$$

Однако практический интерес вызывает температура солнечного элемента  $t_3$ , так именно она влияет на эффективную работу ФЭМ:

$$t_3 - t_6 = q \left( \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} \right) = 100 \left( \frac{0,0002}{14} + \frac{0,0002}{0,35} + \frac{0,003}{1,7} \right) = 2,34^\circ\text{C}; \quad (16)$$

$$t_3 = 2,34 + t_6 = 2,34 + 28,5 = 30,84^\circ\text{C} \approx 31^\circ\text{C}. \quad (17)$$

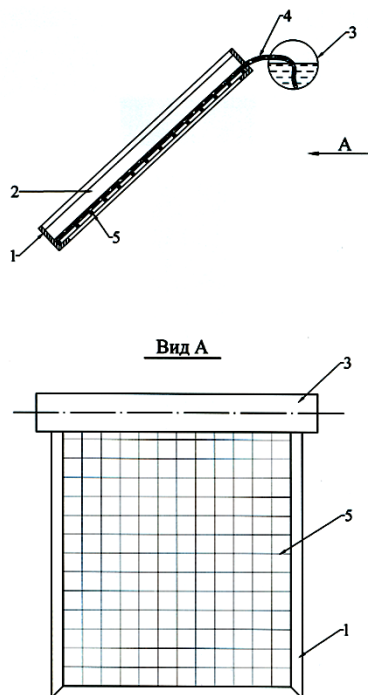
Полученная расчётная температура фотоэлектрического слоя показывает достаточно высокую эффективность испарительного охлаждения.

Экспериментально эффективность испарительного охлаждения проверялось на ФЭМ размерами  $700 \times 660$  мм<sup>2</sup> и толщиной 5 мм.

Экспериментальная установка рис.7 состоит из алюминиевой рамки 1, в которой располагается модуль 2, пластиковой емкости 3 с водой, марлевого полотна 4 из десяти прошитых слоёв

и прижимной металлической сетки 5.

Ёмкость с водой располагается над алюминиевой рамкой. В ёмкость с водой опущен верхний конец марлевого полотна, а свисающая часть прижимается к тыльной стороне ФЭП металлической сеткой.



**Рис. 3.** Экспериментальная установка  
**Fig. 3.** Experimental setup

По техническим причинам в июле 2022 года удалось только проверить влияние скорости и влажности воздуха на эффективность испарительного охлаждения.

Опыты проводились при температуре воздуха от 39°C до 42°C и влажность от 20 до 25%, а скорость воздуха в районе установки изменялся от нуля до 8 м/с. Опыты проводились в естественных условиях и, поэтому, температура, влажность и скорость воздуха носят совершенно случайный характер. Данные опытов приведены в табл.2

**Таблица 2.** Фактические величины

**Table 2.** Actual values

№ п/п Sl. no.	Параметр и обозначения Parameter and designation	Цифры Value			
		0	0	8	8
1	Скорость воздуха $W_v$ , м/с	0	0	8	8
2	Температура воздуха $t_a$ , °C	39	42	40	42
3	Влажность воздуха $\varphi$ , %	22	22	20	25
4	Температура тыльной стороны ФЭМ (влажной) $t_{охл}$ , °C	28	29	24	26
5	Температура стекла $t_c$ , °C	38	39	34	37

Максимальная температура тыльной стороны панели (влажного марлевого полотна)  $t_{охл}$  не превышает 29°C.

Исходя из этой температуры интересующая нас расчётная температура фотоэлектрического слоя составила:

$$t_{фс} = t_{охл} + q \left( \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} \right) = 29 + 100 \left( \frac{0,0002}{14} + \frac{0,0002}{0,35} + \frac{0,003}{1,7} \right) = 29 + 1000 \cdot 0,0023 = 31,3^\circ\text{C}. \quad (18)$$

При этой температуре фотоэлектрического слоя снижение КПД ФЭП составит не более 5%.

#### 4. Обсуждение (Discussion)

В связи с положительными результатами, полученными на модуле размерами 700x600 мм<sup>2</sup> в 2023 году эксперименты были перенесены на серийно выпускаемый модуль SKY (AR) 290W размерами 1650x992 мм<sup>2</sup>.

Однако в силу возникших технических проблем, таких как ткань для увлажнения, обеспе-



чение плотности прилегания ткани к тыльной стороне панели, равномерность орошения водой ткани и других провести полноценные исследования не удалось. Тем не менее в июле 2023 года удалось получить обнадеживающие результаты.

**Таблица 3.** Результаты эксперимента

**Table 3.** The results of the experiment

№ п/п.	Наименование параметров	Обозначения Designation	Размерность Dimension	Без охлаждения Without cooling	С охлаждением With cooling.
1	Температура окружающей среды	$t_{oc}$	°C	31	31
2	Скорость воздуха	$W_B$	м/с	1	1
3	Относительная влажность воздуха	$\varphi$	%	24	24
4	Плотность потока солнечного излучения	E	Вт/м <sup>2</sup>	883	883
5	Температура стекла	$t_1$	°C	59,5	41,0
6	Температура тыльной стороны модуля	$t_2$	°C	69,4	34,0
7	Ток короткого замыкания	$I_{кз}$	a	10,66	10,21
8	Напряжение холостого хода	$V_{хх}$	b	33,5	35,8
9	Выходная мощность без учёта коэффициента заполнения ВАХ	P	Вт	357,1	365,5
10	Коэффициент заполнения по рис.1	FF	—	0,67	0,75
11	Номинальная мощность	$P_d$	Вт	239,3	274,1

Полученная температура тыльной стороны фотоэлектрической панели  $t_2=34^\circ\text{C}$  свидетельствует об эффективности испарительного охлаждения. Полученные данные пока является предварительными.

В ходе исследований выяснилось, что эффективность испарительного охлаждения прямо зависит от свойства ткани, от равномерного прижатия ткани к охлаждаемой поверхности, быстрого и равномерного намочения ткани, относительной влажности воздуха и скорости ветра.

Испарительное охлаждение будет особенно полезным в регионах с никакой относительной влажностью воздуха.

## 5. Заключение (Conclusion)

В последние годы нарастают исследования по использованию теплоты плавления различных твёрдых веществ для охлаждения фотоэлектрических панелей, так называемая технология PCM (Patternless Casting Manufacturing).

Из-за того, что применяемые в исследованиях вещества имеют небольшую теплоту плавления (максимально до 250 кДж/кг) и высокую стоимость эта технология нами не рассматривается. Кроме того, интенсивно подводятся работы по гибридным способам охлаждения, предусматривающие получение как электрической, так и тепловой энергии. Однако возникают вопросы по использованию низкопотенциальной тепловой энергии.

В научных публикациях и публичных средства массовой информации нет сообщений о практическом применении какого-либо метода охлаждения ФЭМ. Сейчас все действующие и вновь устанавливаемые плоские ФЭМ никак не охлаждаются.

В этих условиях рабочая температура ФЭМ достигает  $40^\circ\text{C}$  зимой и  $70^\circ\text{C}$  летом на территории стран Центральной Азии и, в частности, в Узбекистане.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития // Под общей редакцией академика Салимова А.У.-Т.:«Издательство Наука и техника-типография», 2021 г. 952с.
2. В 2024 году Узбекистан планирует довести мощности ВИЭ до 3,5 ГВт и увеличить хранение на 400 МВт //energy.media / news / 28191
3. Tiwari GN, Mishra RK, Solanki SC (2011) Photovoltaic modules and their applications: a review on thermal modeling // Appl Energy 88:-C.2287–2304
4. Ndiaye A, Kebe CMF, Charki A, Ndiaye PA, Sambou V, Kobi A (2014) Degradation evaluation of crystalline-silicon photovoltaic modules after a few operation years in a tropical environment //



Sol. Energy 103: -С.70–77

5. Кевин Дж. Принс ,Хизер М. Мирлетц ,Э. Эшли Голдинг ,Лэнс М. Уиллер ,Росс А. Кернер, Сяопэн Чжэн ,Лора Т. Шелхас ,Пол Трейси ,Колин А. Уолден ,Джозеф Дж. Берри ,Сильвана Овайтт ,Тереза М. Барнс иДжозеф М. Лютер Пути устойчивого развития для перовскитных фотоэлектрических систем // nature materials perspective <https://doi.org/10.1038/s41563-024-01945-6> 5 2024г. июнь.

6. E. Radziemska The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells // Renewable Energy 2003г. том 28, выпуск. 1, -С. 1–12.

7. Jurayev Islom, Yuldoshev Isroil, Jurayeva, Zukhra Effects of Temperature on the Efficiency of Photovoltaic Modules// Proceedings of International Conference on Applied Innovation in IT 2023г. том 11, выпуск 1, С. 199 – 206.

8. Tursunov M.N., Dyskin V.G., Yuldashev I.A., Turdiev B.M The influence of convective heat exchange on the temperature of a solar voltaic array//Applied Solar Energy, том 50, выпуск 4, -С. 236 – 237.

9. Dosymbetova Gulbakhar, Mekhilef Saad, Saymbetov Ahmet, Nurgaliyev Madiyar, Kapparova Ainor, Manakov Sergey, Orynassar Sayat, Kuttybay Nurzhigit, Svanbayev Yeldos, Yuldoshev Isroil, Zholamanov Batyrbek, Koshkarbay Nursultan. Modeling and Simulation of Silicon Solar Cells under Low Concentration Conditions//Energies 2022г. 15, 9404.

10. И.Р. Жураев, И.А. Юлдошев, К.С. Аюпов, З.И. Жураева Разработка фотоэлектрической установки на основе тонкопленочных модулей в условиях жаркого климата // Монография. Издания ООО “SarvarPrint”, Ташкент. -130 с.

11. Жураев И.Р., Юлдошев И.А., Жураева З.И. Экспериментальное изучение характеристик фотоэлектрических модулей в природных условиях //Альтернативная энергетика, научно-технический журнал, Карши, КАРИЭИ, 2021г.11.19. - С.38-48.

12. Жураев И.Р., Юлдошев И.А., Жураева З.И. Влияние солнечной радиации на нагрев поверхностей фотоэлектрических модулей // Наноструктурные полупроводниковые материалы в фотоэнергетике. Сборник научных трудов, II- Международная научная конференция ТашГТУ 2021 г. 19-20 ноября - С.548-556.

13. Жураев И.Р., Юлдошев И.А., Жураева З.И. Сравнительный анализ электрофизических параметров фотоэлектрических модулей // Специальный выпуск журнала Проблемы энерго- и ресурсосбережения. Ташкент-2021, ISSN С.2091-5985 (печать) ISSN (онлайн). - С.2181-1946.

14. E. Skoplaki, A.G. Boudouvis, J.A. Palyvos. A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting // Solar Energy Materials, Solar Cells 2008г. 92. - С.1393–1402.

15. Swapnil Dubey, Jatin Narotam Sarvaiya, Bharath Sesha. Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World A Review // Energy Procedia 2013г. 33. -С.311 – 321

16. Tian H, Mancilla-David F, Ellis K, Muljadi E and Jenkins P A cell-to-module-to-array detailed model for photovoltaic panels // Sol Energy 2012г. 86 - С. 2695-2706.

17. S. Bari, Optimum orientation of domestic solar water heaters for the low latitude countries // Energ. Conver. Manage. 2001 / 42 / 10. - С.1205–1214.

18. F. Struckmann, Analysis of a flat-plate solar collector // Heat Mass Transp. Project Rep. 2008г. MVK160.

## REFERENCES

1. Kahraman R. Allaev Modern energy and its development prospects // Under the general editorship of academician Salimov A.U.-T: "Publishing house of Science and technology", 2021. 952 pp. (In Russ.).

2. In 2024, Uzbekistan plans to increase the renewable energy capacity to 3.5 GW and increase storage by 400 MW // eenergy.media/news/28191 (In Russ.).

3. Tiwari GN, Mishra RK, Solanki SC Photovoltaic modules and their applications: a review on thermal modeling // Appl Energy 2011 88: pp.2287–2304.

4. Ndiaye A, Kebe CMF, Charki A, Ndiaye PA, Sambou V, Kobi A Degradation evaluation of crystalline-silicon photovoltaic modules after a few operation years in a tropical environment // Sol. Energy 2014 / 103:pp.70–77.

5. Kevin J. Prince, Heather M. Mirletz, E. Ashley Gaulding, Lance M. Wheeler, Ross A. Kerner, Xiaopeng Zheng, Laura T. Schelhas, Paul Tracy, Colin A. Wolden, Joseph J. Berry, Silvana Ovaitt, Teresa M. Barnes, Joseph M. Luther Sustainability pathways for perovskite photovoltaics // nature materials perspective <https://doi.org/10.1038/s41563-024-01945-6> 2024/5 June (In Russ.).

6. E. Radziemska The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells // Renewable Energy, vol. 28, no. 1, pp. 1–12, 2003.

7. Jurayev Islom, Yuldoshev Isroil, Jurayeva, Zukhra Effects of Temperature on the Efficiency of





Photovoltaic Modules// Proceedings of International Conference on Applied Innovation in IT vol.11, Issue 1, pp. 199 – 206, 2023.

8. Tursunov M.N., Dyskin V.G., Yuldashev I.A., Turdiev B.M The influence of convective heat exchange on the temperature of a solar voltaic array // *Solar Power Plants and Their Application published*: 11 april 2015 volume 50, pages 236–237.

9. Dosymbetova Gulbakhar, Mekhilef Saad, Saymbetov Ahmet, Nurgaliyev Madiyar, Kapparova Ainur, Manakov Sergey, Orynassar Sayat, Kuttybay Nurzhigit, Svanbayev Yeldos, Yuldoshev Isroil, Zholamanov Batyrbek, Koshkarbay Nursultan. Modeling and Simulation of Silicon Solar Cells under Low Concentration Conditions // *Energies* <https://doi.org/10.3390/en15249404> 15/9404/2022.

10. I.R. Juraev, I.A. Yuldashev, K.S. Ayupov, Z.I. Juraeva Development of a photovoltaic installation based on thin-film modules in a hot climate. Monograph // *Publications of SarvarPrint LLC*, Tashkent. 130 pp. (In Russ.).

11. Juraev I.R., Yuldashev I.A., Suraeva Z.I. Experimental study of the characteristics of photovoltaic modules under field conditions // *Alternative Energy, Scientific and Technical Journal, Karshi, KarIEI*, 2021/2/02, 11/19/2021, pp.38-48. (In Russ.).

12. Juraev I.R., Yuldashev I.A., Suraeva Z.I. The effect of solar radiation on heating the surfaces of photovoltaic modules // *Nanostructured semiconductor materials in photoenergy. Collection of scientific papers, II- International Scientific Conference November 2021/19-20 pp.548-556. Tashstu. (In Russ.)*

13. Juraev I.R., Yuldashev I.A., Juraeva Z.I. Comparative analysis of electrophysical parameters of photovoltaic modules // *Special issue of the journal Problems of energy and Resource Conservation. Tashkent-2021, ISSN 2091-5985 (printed) ISSN (online) 2181-1946. (In Russ.)*.

14. E. Skoplaki, A.G. Boudouvis, J.A. Palyvos. A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting // *Solar Energy Materials&Solar Cells* 2008/92/ pp.1393–1402.

15. Swapnil Dubey, Jatin Narotam Sarvaiya, Bharath Sesha. Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World A Review // *Energy Procedia* 2013/33/ pp.311 – 321.

16. Tian H, Mancilla-David F, Ellis K, Muljadi E and Jenkins P 2012 A cell-to-module-to-array detailed model for photovoltaic panels // *Sol Energy* 86 pp. 2695-2706.

17. S. Bari, Optimum orientation of domestic solar water heaters for the low latitude countries // *Energy Conver. Manage.* 2001 / 42 / 10 / 1205–1214.

18. F. Struckmann, Analysis of a flat-plate solar collector // *Heat Mass Transp. Project Rep.* 2008 MVK160.