

PAPER

## ИЗМЕНЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ ЭТИЛЕНВИНИЛАЦЕТАТА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТЕГРАЦИИ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КРЕМНИЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ УЗБЕКИСТАНА.

Садуллаев Н.Н.<sup>1,\*</sup>, Нематов Ш.Н.<sup>2</sup>, Солиева З.Н.<sup>3</sup>, Тохтаев Ш.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Доктор технических наук, Профессор. Бухарский государственный технический университет

<sup>2</sup>Доктор философии. Доцент

<sup>3</sup>Бухарский государственный технический университет, аспирант (базовая диссертация)

\* sadullaev587@gmail.com

### Abstract

Сегодня, когда мировые запасы ископаемого топлива истощаются, а последствия изменения климата усугубляются, возникает необходимость в поиске более устойчивых способов производства и использования энергии. Возобновляемая энергия является эффективным способом решения этой проблемы, позволяя сократить выбросы парниковых газов и максимально эффективно использовать энергию. Охлаждение солнечных фотоэлектрических (ФЭ) модулей привлекает внимание исследователей и инженеров благодаря своим преимуществам в области устойчивого развития, таким как энергосбережение, снижение затрат и защита окружающей среды. Охлаждение солнечных фотоэлектрических модулей изучается уже много лет как актуальная проблема в странах с жарким климатом. В ходе исследований были разработаны новые концепции, методы, эксперименты и устройства. Особенно в последние годы было проведено и опубликовано множество исследований по охлаждению солнечных панелей, что свидетельствует об актуальности этой темы. В данной статье обобщены экспериментальные оценки и методы моделирования, связанные с солнечными фотоэлектрическими модулями, и предложены направления для будущих исследований.

**Key words:** Солнечное фотоэлектрическое охлаждение, пол из ЭВА, проектные параметры, резервуар для воды.

## ВХОД

В настоящее время использование возобновляемой энергии в странах мира играет важную роль в обеспечении энергетической безопасности, улучшении охраны окружающей среды и увеличении занятости. Многие страны рассматривают возобновляемую энергию как стратегический пик управления энергетическими технологиями нового поколения и включают ее в свою политику [1]. Возобновляемая энергия стала важным выбором для решения энергетического кризиса и экологических проблем. Для повышения энергоэффективности и сокращения выбросов парниковых газов в целях устойчивого развития разработан ряд законов и стратегических целей [2]. В развитых странах, включая США, Австрию, Китай, Японию, Индию, Германию и Россию, научные исследования в области практического использования солнечной энергии сосредоточены на создании высокоэффективных, простых и доступных систем солнечного теплоснабжения, снижении их капитальных и эксплуатационных затрат. Климат Узбекистана – резко континентальный. На формирование континентального климата в Узбекистане влияют его географическое положение, солнечная радиация и атмосферная циркуляция. В основном это включает жаркое лето, дождливая весна и холодная зима. В Узбекистане в среднем 280–320 солнечных дней в году, и потенциал солнечной энергии очень высок. По этой причине наша Республика проводит масштабные исследования и разработки новых технологий, которые помогут увеличить использование солнечной энергии и повысить энергоэффективность. Однако относительно низкая энергоэффективность и высокая стоимость энергии, получаемой от таких устройств, из-за происходящих в них процессов теплообмена негативно сказываются на их промышленном использовании.[3] Тем не менее, в нашей стране недостаточно исследований по следующим направлениям, и они не применялись к фотоэлектрическим модулям:

- Изучение состава фотоэлектрического модуля и изменений параметров конструкции;
- Влияние изменений параметров конструкции на мощность, эффективность и параметры температуры поверхности фотоэлектрического модуля;

## ЛИТЕРАТУРНЫЙ АНАЛИЗ И МЕТОДОЛОГИЯ

Айман Мдаллал и др. рассмотрели последние разработки в области солнечных фотоэлектрических модулей, от производства до выхода на рынок, предназначенных для повышения эффективности улавливания солнечной энергии. Они также изучили важные факторы, которые следует учитывать при оценке срока службы новых солнечных фотоэлектрических модулей (4). Были изучены принцип работы солнечного фотоэлектрического модуля, основные механические свойства материалов, используемых для этого элемента, важность тонких пленок арсенида галлия (GaAs) в солнечных технологиях, их перспективы и р-п-переходы (5).

Слой ЭВА (этиленвинилацетата) для солнечных фотоэлектрических панелей широко используется в качестве клеящего материала для защиты солнечных модулей и обеспечения их стабильной работы. Слой ЭВА размещается между солнечными панелями и защищает их от влаги, грязи и вредных внешних воздействий, не препятствуя при этом попаданию солнечного света на фотоэлектрические элементы. Слой ЭВА обычно изготавливается толщиной от 0,2 до 0,6 мм, которая выбирается для обеспечения оптимальной адгезии и защиты модулей (6). Толщина слоя ЭВА имеет большое значение для солнечных фотоэлектрических модулей. Хотя более толстые слои ЭВА, как правило, обладают лучшими адгезионными свойствами, очень толстые слои могут привести к плохому рассеиванию тепла в модулях и чрезмерному накоплению тепла. Исследования показали, что изменение толщины слоя ЭВА от 0,2 мм до 1,0 мм влияет на максимальную температуру солнечного фотоэлектрического элемента, при этом умень-

шение толщины значительно снижает температуру и, следовательно, повышает эффективность модуля (7). Абд Эль-Монеим и др. изучили влияние изменения толщины слоя этиленвинилацетата на поликристаллический солнечный фотоэлектрический элемент с микроканальным тепловым устройством. Они разработали модифицированную конструкцию комбинированного солнечного элемента и микроканального теплового устройства и улучшили фотоэлектрическую эффективность, изменив параметры конструкции (8).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Мы собрали в общей сложности 8 типов фотоэлектрических элементов, комбинируя слои ЭВА толщиной 0,2, 0,3 и 0,5 мм, и изучили их напряжение, ток, мощность и эффективность.

На рисунке ниже показаны изменения температуры на передней и задней поверхностях 8 типов фотоэлектрических модулей без системы охлаждения в самое жаркое время дня, когда температура воздуха составляет 39 °С.

Эти результаты были получены 23 июля 2025 года, когда температура воздуха составляла 39 °С.

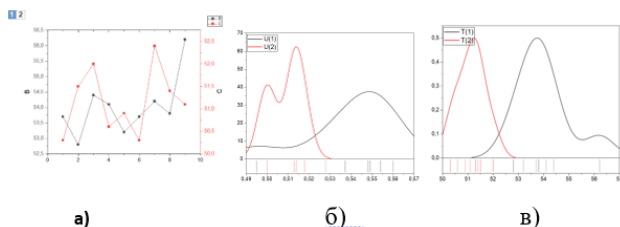


Рис. 1. а) График температуры передней и задней поверхностей экспериментальных фотоэлектрических модулей; б) напряжение; в) ток.

На основании этих результатов были выбраны 2 комбинированных фотоэлемента со слоями ЭВА толщиной 0,2 мм и 0,5 мм, а также к задней стороне был прикреплен бак с водой. В сентябре 2025 года были проведены эксперименты с использованием охлаждающей воды для этих фотоэлементов.

Мохамад Абу Акруш и др. подробно изучили достижения в технологиях охлаждения для повышения эффективности солнечных фотоэлектрических панелей и представили свои выводы[9]. Из-за временной изменчи-

вости солнечного излучения такие системы не могут обеспечить потребителей надежным и высококачественным теплом без теплоаккумуляторов. Поэтому в системах солнечного теплоснабжения важно накапливать тепло, не теряя его температурного потенциала, и передавать его потребителю при этой температуре. Арьяман Бхатнагар и др. предложили фотоэлектрический модуль, оснащенный V-образными алюминиевыми охлаждающими каналами на задней поверхности. Эксперименты проводились при различных расходах, и при расходе 0,3 л/мин была достигнута эффективность 12,7%[10]. Нигматов Улугбек разработал когенерационное устройство на основе фотоэлектрического теплового модуля и солнечного коллектора и изучил их основную конструкцию и энергетические характеристики в системе тепло- и электроснабжения. Он разработал когенерационную установку на основе фотоэлектрического теплового модуля и солнечного коллектора для производства горячей воды и электроэнергии, а также автоматизированную систему управления на основе теплопоглотителя в сочетании с фотоэлектрической батареей, которая позволяет сократить время нагрева горячей воды до 10%. В режиме охлаждения температура фотоэлектрической батареи составляла 44 °С. При максимальной температуре охлаждения система обеспечивает эффективность 7%, но общая (интегральная) эффективность составляет 3–4%[11]. Холов Уйгун разработал пилотную модель фото-термической батареи на основе улучшенного кристаллического кремниевого фотоэлектрического элемента, адаптированного к сухому климату, позволяющего одновременно генерировать электроэнергию и горячую воду. По результатам исследования, за счет увеличения плотности потока солнечного излучения на передней поверхности ФИБ в 1,5 раза при установке на неподвижную опорную конструкцию с использованием отражателей и в 1,7 раза при установке на опорную конструкцию, перемещающуюся вдоль двух осей, генерируемая тепловая энергия увеличилась на 20%, до 50%. Было достигнуто восстановление энергетической эффективности ФИБ до 62% летом, 47% весной, 37% осенью и 26% зимой[12].

### Математическое моделирование

На основе экспериментальных данных были определены следующие значения электрической эффективности и теплоемкости.

$$\eta = \frac{Q}{A \cdot G} \quad (1)$$

На задней стороне модуля был установлен резервуар с водой для поглощения тепла, выделяемого фотоэлектрическим модулем. Количество выделяемого тепла следующее:

$$Q = c_w \times m \times (T_2 - T_1) \quad (2)$$

где  $m$  — масса воды (кг),  $c_w$  — удельная теплоемкость воды (4182 Дж/кг·К),  $T_1$  — начальная температура воды (°C), а  $T_2$  — конечная температура воды (°C), при которой фотоэлектрический модуль выдает мощность.

$$P = I \cdot U \quad (3)$$

$I$  — ток (А),  $U$  — напряжение (В).

Эти эксперименты проводились в реальных условиях в Бухарской области Республики Узбекистан с июля по сентябрь 2025 года.



Рис. 2. Адрес места проведения эксперимента

Эти данные были получены в течение 4 часов, начиная с 13:25, когда температура достигла своего максимума.

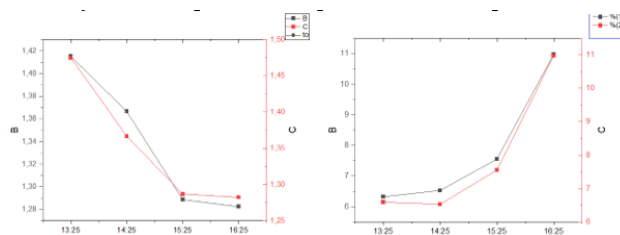


Рис. 3. Электрическая эффективность на выходе для 2 различных фотоэлектрических модулей.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интенсивное солнечное излучение и высокая температура оказывают сильное влияние на производительность фотоэлектрических модулей. В данном исследовании изучалось влияние изменения параметров конструкции на выходные параметры с использованием монокристаллических фотоэлектрических элементов и трех различных толщин слоев ЭВА, при этом в качестве системы охлаждения использовался резервуар с водой на задней поверхности солнечных фотоэлектрических модулей. Наиболее эффективным параметром конструкции был выбран фотоэлектрический модуль с толщиной верхнего и нижнего слоев ЭВА 0,2 мм.

### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Sen, Souvik, and Sourav Ganguly. "Opportunities, barriers and issues with renewable energy development—A discussion." *Renewable and sustainable energy reviews* 69 (2017): 1170–1181.
2. Li, Li, et al. "Review and outlook on the international renewable energy development." *Energy and Built Environment* 3.2 (2022): 139–157.
3. Jo'rayev To'xtamurod. Quyosh issiqlik qurilmalari uchun ko'p devorli uglerod nanotrubkalari asosidagi nanosuyuqlikli issiqlik tashuvchilar. Avtoreferat 2024y
4. Ayman Mdallal, Ahmad Yasin, Montaser Mahmoud, Mohammad Ali Abdelkareem, Abdul Hai Alami, Abdul Ghani Olabi. A comprehensive review on solar photovoltaics: Navigating generational shifts, innovations, and sustainability. *Sustainable Horizons Volume 13, March 2025, 100137* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S27727373>

5. Athil S. Al-Ezzi, Mohamed Nainar M. Ansari. Photovoltaic Solar Cells: A Review . Submission received: 7 October 2021 / Revised: 3 November 2021 / Accepted: 10 November 2021 / Published: 8 July 2022 <https://www.mdpi.com/2571-5577/5/4/67>
6. EVA (ethylene vinyl acetate) Film: composition and application. <https://sinovoltaics.com/learning-center/materials/ethylene-vinyl-acetate-eva-film-composition-and-application/>
7. Abd El-Moneim A. Harb, Ali Radwan, Khairy Elsayed, Momtaz Sedrak, Mahmoud Ahmed. Influence of varying the Ethylene-Vinyl Acetate layer thicknesses on the performance of a polycrystalline silicon solar cell integrated with a microchannel heat sink - ScienceDirect <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.11.082>
8. Abou Akrouch, Mohamad, et al. "Advancements in cooling techniques for enhanced efficiency of solar photovoltaic panels: A detailed comprehensive review and innovative classification." *Energy and Built Environment* (2023).
9. Bhatnagar, Aryaman, et al. "Innovative cooling for PV panels: Energy and exergy assessments of water-induced V-shaped channels." *Results in Engineering* 24 (2024): 103100.
10. Nig'matov Ulug'bek. Samaradorligi oshirilgan kogeneratsion quyosh qurilmasi. Avtoreferat 2024
11. Xolov Uyg'un. Avtonom fotoelektrik qurilmalarning energiya ta'minoti ishinchililigini oshirish va energiya yo'qotishlarni tajribada aniqlash. Avtoreferat 2024