



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЕПЛОВОЙ БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СТРУКТУРЫ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

Жураев Ислон Рахматович – соискатель
Юлдошев Исроил Абриевич – д.т.н., доцент
Жураева Зухра Исламовна – ассистент

Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова,
кафедра «Альтернативные источники энергии», г.Ташкент

Аннотация. В данной статье приводятся результаты экспериментального изучения тонкопленочного фотоэлектрического модуля (ФЭМ) и разработанной на основе ФЭМ фотоэлектрической тепловой батареи (ФЭТБ) с абсорбером из композитного материала. Экспериментальная установка была установлена на гелиополигоне кафедры АИЭ ТГТУ им. Ислама Каримова. Экспериментальные измерения параметров окружающей среды, электро-физических и теплотехнических характеристик установок проведены 4 августа 2022 г. За счет теплоотвода и охлаждения модуля среднее значение температуры на поверхности ФЭТБ снизилось на 8,6 %, величина электрической мощности увеличилась на 1,9%, значения напряжения холостого хода и тока короткого замыкания увеличились соответственно на 1,2% и 0,9%. С помощью данной разработанной конструкции ФЭТБ за время измерений с 9-30 до 17-30 часов выработано 121 л нагретой воды средней температурой 37,8°C. Как показывает результат исследования, данная конструкция ФЭТБ имеет энергоэффективные показатели и может быть успешно использована для комбинированного производства электрической и тепловой энергии для нужд потребителей.

Ключевые слова: фотоэлектрический модуль; фотоэлектрическая тепловая батарея; температура нагрева; способ охлаждения.

Abstract. This article presents the results of an experimental study of a thin-film photovoltaic module (PVM) and a photovoltaic thermal battery (PVTB) developed on the basis of PVM with an absorber made of composite material. The experimental setup was installed on the helio-polygon of the Department of AES of TashSTU named after I.Karimov. Experimental measurements of environmental parameters, electro-physical and thermal characteristics of the installations were carried out on August 4, 2022. Due to the heat removal and cooling of the module, the average daily temperature values on the surface of the PVTB decreased by 8.6%, the value of electrical power increased by 1.9%, the values of the open circuit voltage and short-circuit current increased by 1.2% and 0.9%, respectively. With the help of this developed design of the PVTB, were produced 121 liters of heated water with an average temperature of 37.8°C during measurements from 9-30 to 17-30 hours. As the result of the study shows, this design of the PVTB has energy-efficient indicators and can be successfully used for the combined production of electric and thermal energy for the needs of consumers.

Key words: photovoltaic module; photovoltaic thermal battery; heating temperature; cooling method.

Введение.

Одной из глобальных задач, стоящих перед обществом в мире, является увеличение доли использования альтернативных и возобновляемых источников энергии в производстве энергии, а также внедрение энергосберегающих и энерго-эффективных технологий в энергопотреблении. Постановлением Президента РУз от 09.04.2021 г. №ПП-5063 «О мерах о развитии возобновляемой и водородной энергетики в Республике Узбекистан» определены задачи по изучению и внедрению эффективных способов использования возобновляемых





источников энергии и водорода в высокотехнологических сферах и отраслях экономики за счет превращения полученной от них энергии в электрическую и тепловую энергию [1]. На совещании по вопросам расширения использования возобновляемых источников энергии, проведенном под председательством Президента РУз 10 июня 2022 года, были даны поручения по экономному использованию газа и электричества и покрытию дефицита электроэнергии путем перехода отраслей экономики на ВИЭ [2]. На основании данных решений и указаний проводим научно-исследовательские изыскания по созданию высокоэффективных энергоустановок по солнечной энергетике с применением фотоэлектрических тепловых батарей и установок для комбинированного производства электрической и тепловой энергии.

Для проведения экспериментальных исследований была разработана и создана фотоэлектрическая тепловая батарея (ФЭТБ) с абсорбером из композитного материала. Применение технологичных и относительно дешевых, простых в изготовлении и практичных установок является приоритетом при разработке гелиотехнических энергоустановок. Задачу по снижению стоимости гелиотехнических установок можно осуществить за счет перехода на использование в солнечных коллекторах, фотоэлектрических батареях и других установках полимерных и композиционных материалов [3]. В данной работе приводим результаты экспериментального изучения работы опытной конструкции ФЭТБ с абсорбером из композитного материала в натуральных условиях.

Методы и материалы.

Научно-исследовательские работы как правило проводятся на основе теоретического и экспериментального исследования и изучения объектов в соответствующих конкретных условиях с проведением расчетных и измерительных работ [4]. В настоящей работе в качестве метода исследования характеристик ФЭМ и ФЭТБ в естественных условиях окружающей среды выбрано проведение натуральных экспериментов. При выборе методики экспериментов и методов измерений показателей фотоэлектрических модулей в данной работе руководствовались стандартом [5].

- электрические характеристики ФЭМ и ФЭТБ;
- температура нагрева поверхности ФЭМ и ФЭТБ;
- температура воздуха и скорость ветра;
- солнечная радиация на поверхности ФЭМ и ФЭТБ;
- давление холодной воды в системе подачи воды в ФЭТБ;
- температура холодной воды при входе в ФЭТБ;
- температура нагретой воды при выходе из ФЭТБ;
- время нагрева воды в ФЭТБ;
- объем нагретой воды в мерной ёмкости;



Рис.1. Виды используемых измерительных приборов.





Объектом экспериментального исследования является:

- ФЭМ и ФЭТБ тонкопленочной структуры на основе CdTe.

ФЭМ и ФЭТБ на основе CdTe для экспериментального исследования были установлены 4 августа 2022 г. на гелиополигоне кафедры АИЭ ТГТУ им. Ислама Каримова под углом наклона 40° к горизонту с южной ориентацией (рис.2).



Рис.2. Фото экспериментальной установки

Цель проведения экспериментального изучения заключалась в измерении, сравнении и сопоставлении характеристик и параметров ФЭМ и ФЭТБ. Задачами экспериментального исследования являлись изучение влияния температуры среды, скорости ветра, плотности потока солнечной радиации на нагрев и характеристики ФЭМ и ФЭТБ, а также охлаждение ФЭМ и возможности получения нагретой воды для бытовых нужд с помощью ФЭТБ с применением композитного материала.

Результаты и обсуждения.

В данной работе приведены результаты экспериментального изучения опытного образца ФЭТБ, разработанной на основе тонкопленочного фотоэлектрического CdTe модуля с разработкой тепловой батареи с абсорбером из композитного материала. Экспериментальные измерения параметров производились 4 августа 2022 г., с 9-30 до 17-30 часов с повторением каждые полчаса. Измеренные значения плотности потока солнечной радиации, температуры воздуха, скорости ветра приведены в графическом виде на рис.3. Значения плотности потока солнечной радиации на поверхности ФЭМ и ФЭТБ составили 738 Вт/м^2 в 13-00 часов, а в 17-30 вечера – 260 Вт/м^2 . Среднедневная температура воздуха составила $33,6^\circ\text{C}$, среднедневная скорость ветра – $1,2 \text{ м/с}$.

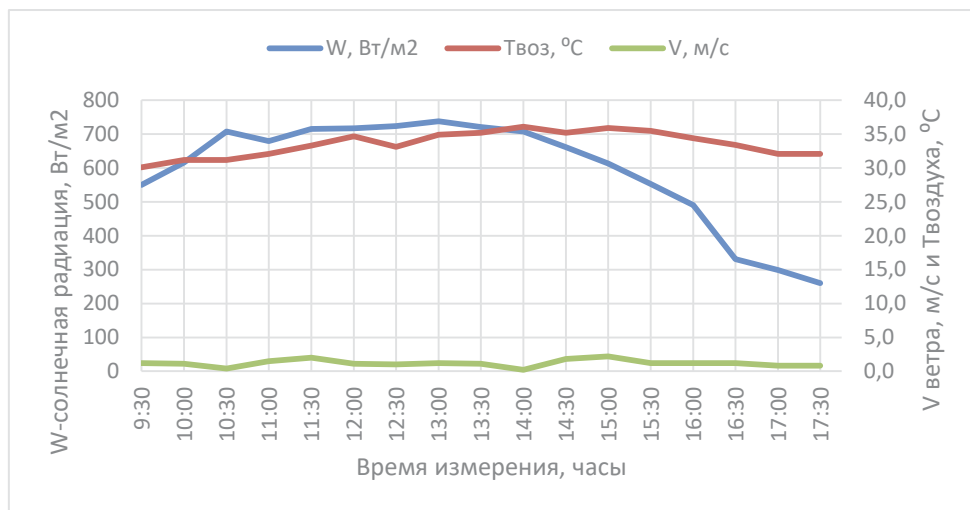


Рис.3.График изменения значения солнечной радиации, температуры воздуха и скорости ветра в течение дня.

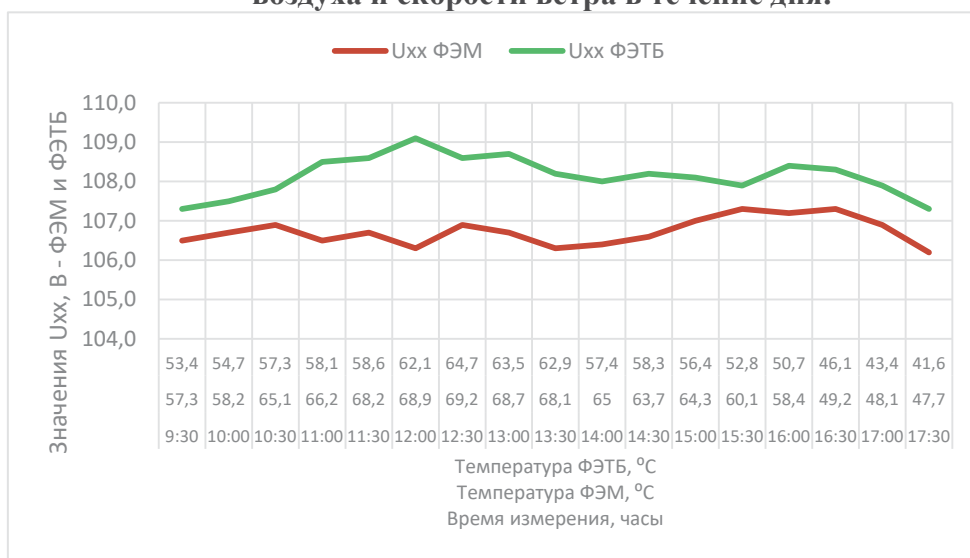


Рис.4.График изменения значений Uxx в течение дня в зависимости от температуры ФЭМ и ФЭТБ.



Рис.5.График изменения значений Ixz в течение дня в зависимости от температуры ФЭМ и ФЭТБ.

На рис.4 и рис.5 представлены графики изменения значений Ixz и Uxx для ФЭМ и ФЭТБ соответственно. В 9:30 утра напряжение холостого хода ФЭМ под воздействием





температуры снизилось и составило 106,5 В, а U_{xx} – ФЭТБ составило 107,3 В, по сравнению с номинальным напряжением холостого хода (122 В по табл.1), измеренного по условиям STC. Паспортные данные исследуемого модуля, согласно данным производителя приведены в табл.1.

Таблица 1

Тип и марка модуля	Паспортные данные исследуемого модуля		
	Номинальные значения при условиях STC: 1000 Вт/м ² , 25°C, AM1,5		
	Напряжение холостого хода U_{xx} , В	Ток короткого замыкания $I_{кз}$, А	Мощность P_n , Вт
Тонкопленочный на основе CdTe ASP-S1-90	122	1,06	90

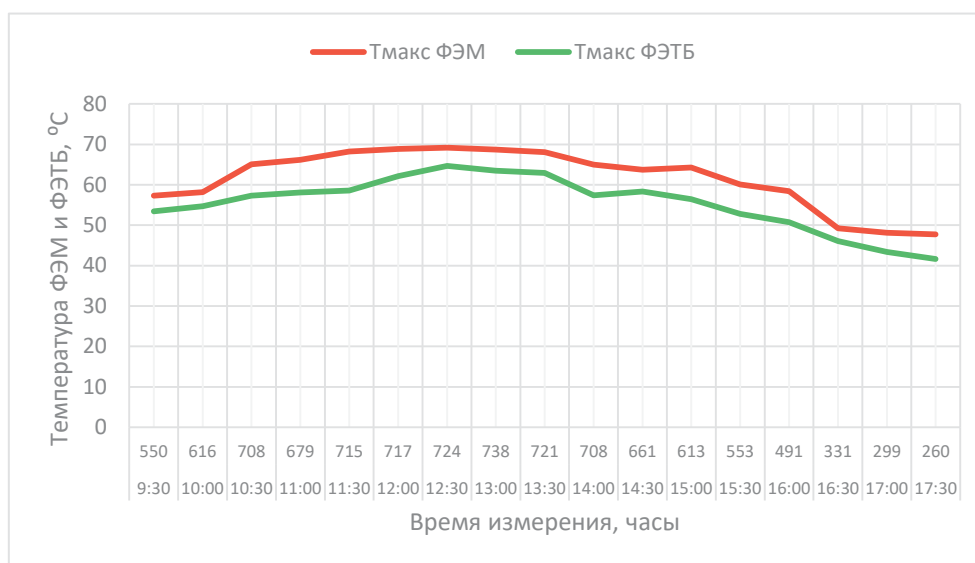


Рис.6.График изменения температуры ФЭМ и ФЭТБ в течение дня

Мощность модуля P_n , по измеренным значениям напряжения холостого хода и тока короткого замыкания можно подсчитать по следующей эмпирической формуле [6],

$$P_n = U_{xx_и} * I_{кз_и} * k, \quad (1)$$

где, $U_{xx_и}$, $I_{кз_и}$ - соответственно, фактически измеренные значения напряжения холостого хода и тока короткого замыкания исследуемого модуля, k -коэффициент заполнения вольт-амперной характеристики (ВАХ), рассчитывается как отношение номинальной мощности модуля к произведению номинальных значений $U_{xx_н}$ с $I_{кз_н}$, значения которых берутся по паспорту производителя модуля.

$$k = P_n / (U_{xx_н} * I_{кз_н}), \quad (2)$$

Рассчитаем по следующей формуле (2) k - коэффициент заполнения ВАХ для исследуемого модуля:

$$k = 90 / (122 * 1,06) = 0,7$$

Следовательно, изменения величины мощности P_n - фотоэлектрического модуля и P_n – фотоэлектрической тепловой батареи, подсчитанные по формуле (1) по измеренным значениям напряжения холостого хода и тока короткого замыкания по проведенным экспериментальным исследованиям приведены в виде графика на рис.7. На рис.8 приведён график изменения температуры ФЭМ и ФЭТБ. На рис.9 и рис.10 соответственно изображены диаграммы зависимости объема нагретой воды от времени нагревания холодной воды в тепловой батарее и изменения температуры воды за счет теплопередачи от модуля на теплоноситель.

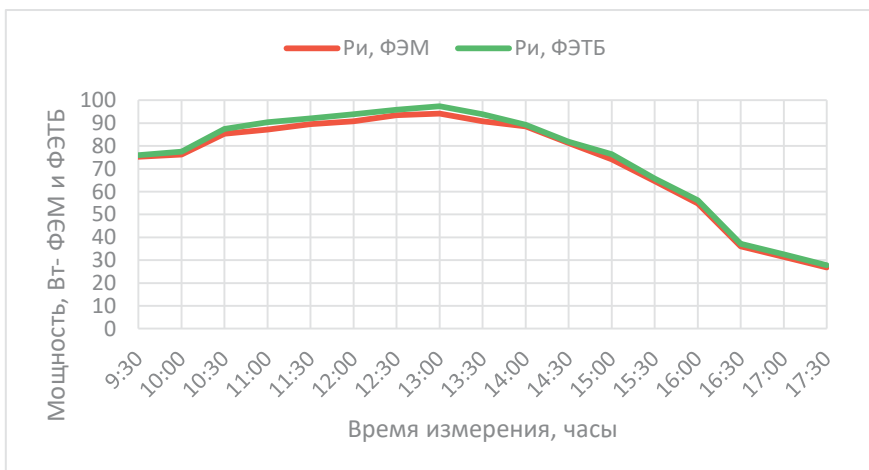


Рис.7.График изменения мощностей ФЭМ и ФЭТБ в течение дня.



Рис.8.Диаграмма зависимости объема нагретой воды от времени нагрева холодной воды.

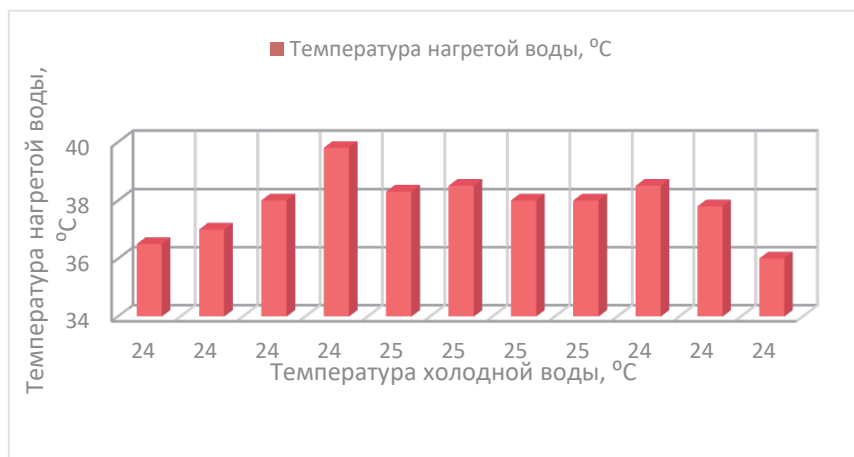


Рис.9.Диаграмма изменения температуры воды

Аналитические данные, сопоставленные в определенные часы дня, приведены в табл.2.1 и табл.2.2. Как видно из таблиц средние значения напряжения холостого хода - U_{xx} и тока короткого замыкания – $I_{кз}$ ФЭТБ увеличились соответственно на 1,2% и 0,9% относительно значений U_{xx} и $I_{кз}$ ФЭМ. Температура поверхности ФЭТБ снизилась в среднем на 5,0°C или на 8,6% относительно температуры ФЭМ. Среднее значение рассчитанной по формуле (1) P_i - мощности ФЭТБ по измеренным значениям U_{xx} и $I_{кз}$ увеличилось на 1,1 Вт или на 1,9%. Анализ данных на рис.8 показывает, что за световой день с 9-30 до 17-30 часов выработан в общем объеме 121 л нагретой воды средней температурой





37,8°C. По данным рис.9 можно видеть динамику увеличение температуры воды в тепловой батарее в течение дня.

Таблица 2.1

Параметр	Сопоставление измеренных параметров в дневные часы							
	9:30				12:30			
	ФЭМ	ФЭТУ	Откл	% увелич	ФЭМ	ФЭТУ	Откл	% увелич
U _{хх} , В	106,5	107,3	0,8	0,75	106,9	108,6	1,7	1,59
I _{кз} , А	1,01	1,01	0	0,0	1,25	1,26	0,01	0,8
W, Вт/м ²	550	550	0	0,0	724	724	0	0,0
T _{воз} , °C	30,1	30,1	0	0,0	33,1	33,1	0	0,0
V, м/с	1,2	1,2	0	0,0	1	1	0	0,0
T _{макс пов}	57,3	53,4	-3,9	-6,8	69,2	64,7	-4,5	-6,5
P _и	75,3	75,9	0,6	0,8	93,5	95,8	2,3	2,5

Таблица 2.2

Параметр	Сопоставление измеренных параметров в дневные часы									
	14:30				17:30				сред	%
	ФЭМ	ФЭТУ	откл	% увелич	ФЭМ	ФЭТУ	Откл	% увелич	откл	увелич
U _{хх} , В	106,6	108,2	1,6	1,50	106,2	107,3	1,1	1,04	1,3	1,2
I _{кз} , А	1,09	1,09	0	0,0	0,36	0,37	0,01	2,8	0,0	0,9
W, Вт/м ²	661	661	0	0,0	260	260	0	0,0	0,0	0,0
T _{воз} , °C	35,2	35,2	0	0,0	32,1	32,1	0	0,0	0,0	0,0
V, м/с	1,8	1,8	0	0,0	0,8	0,8	0	0,0	0,0	0
T _{макс пов}	63,7	58,3	-5,4	-8,5	47,7	41,6	-6,1	-12,8	-5,0	-8,6
P _и	81,3	81,8	0,5	0,6	26,8	27,8	1	3,7	1,1	1,9

Заключение.

В данном экспериментальном изучении ФЭТБ на основе тонкопленочной структуры с абсорбером из композитного материала были проведены измерения входных внешних параметров, выходных характеристик и теплофизических параметров ФЭТБ и ФЭМ. Анализ экспериментально измеренных данных за световой день 04.08.2022 г., с 9-30 до 17-30 показали эффективность собранной ФЭТБ в комбинации с изготовленной конструкцией тепловой батареи из композитного материала и приспособленной соответствующим способом к тыльной поверхности ФЭМ тонкопленочной структуры. По экспериментальным данным, с помощью ФЭТБ площадью 0,7 м² получен объем нагретой воды 121 л (рис.8), средней температурой 37,8°C. За счет снижения температуры модуля посредством теплоотвода, электрическая мощность ФЭТБ за время измерений увеличилась в среднем на 1,9% (табл.2.2). В дальнейших экспериментальных исследованиях планируется отработать



и нормировать технические и конструктивные параметры ФЭТБ с тепловой батареей из композитного материала для изготовления промышленного образца.

Благодарности.

Выражаем благодарность заведующему кафедры АИЭ ТГТУ имени Ислама Каримова, д.т.н. Юлдошеву И.А. за помощь в организации экспериментов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства инновационного развития Республики Узбекистан в рамках проекта Ф-ОТ-2021-497 «Разработка научных основ создания солнечных когенерационных установок на основе фотоэлектрических тепловых батарей»

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Постановление Президента Республики Узбекистан от 09.04.2021 г. №ПП-5063 «О мерах по развитию возобновляемой и водородной энергетики в Республике Узбекистан».
- 2 Президент обозначил меры развития возобновляемой энергетики. <https://www.spot.uz/ru/2022/06/10/renewables-expansion/> Энергетика/10 июня 2022 г.
- 3 М.Ю.Ощепков, С.Е.Фрид. Перспективы применения композиционных материалов в гелиотехнике. Материалы 5-международной конференции «Композитный мир», Минск, 2015.
- 4 Пономарев А.Б., Э.А. Пикулева. Методология научных исследований. Учебное пособие, Пермь, Изд-во Перм.нац. исслед. политехн. ун-та, 2014, с.186.
- 5 O'z DSt/IEC 61853-1:2018 «Модули фотоэлектрические. Определение рабочих характеристик и энергетическая оценка». Методика проведения эксперимента осуществляется путем измерения с использованием необходимых измерительных приборов нижеследующих параметров
- 6 Способы измерения мощности солнечных батарей, <https://www.solnechnye.ru/batareya> [Дата обращения 07.08.2022г].

