



УДК 621.472

ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРАЦИИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТЕПЛОВЫХ УСТАНОВОК В СФЕРУ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Жураев Ислон Рахматович¹ - соискатель,
ORCID: 0009-0003-6321-695X E-mail: nauka-jir@mail.ru
Юлдошев Исроил Абриевич¹ – доктор технических наук, профессор,
ORCID: 0000-0003-1335-0862 E-mail: yuldashev.i2004@gmail.com
Жураева Зухра Исламовна¹ - ассистент,
ORCID: 0009-0000-0354-7261 E-mail: zukhra.zhurayeva.90@mail.ru

¹Ташкентский государственный технический университет им.Ислама Каримова,
г. Ташкент, Узбекистан

Для контактов: Жураев Ислон Рахматович-соискатель,
E-mail: nauka-jir@mail.ru

Аннотация. Введение. С помощью солнечных энергоустановок разных технологий солнечная энергия преобразуется в электрическую, тепловую и другие виды энергии, можно производить горячую воду и обеспечить даже теплоснабжение и хладоснабжение помещений. При этом фотоэлектрические тепловые установки (ФЭТУ) могут служить оптимальным решением для интеграции в энергообеспечение потребителей электрической энергией и горячим водоснабжением.

Методы и материалы. Выделяют два основных преимущества ФЭТУ, во первых эффективность модулей может быть повышена за счет активного охлаждения и во вторых сбор в комбинации фотоэлектрического модуля с тепловой батареей позволяет отводимое тепло использовать для выработки тепловой энергии, отопленной воды.

Результаты. По результатам исследований были разработаны ФЭТУ на основе тонкопленочных модулей теллурида кадмия. ФЭТУ за счет охлаждения тыльной стороны модуля позволила снизить температуру на 8,6-21,5%, увеличить электрическую эффективность на 1,7-2,5%, мощности 8-10,3%, одновременно производить электроэнергию и нагретую воду для бытовых нужд потребителя.

Заключение. Разработанная ФЭТУ разных конструктивных видов прошли испытания в жарких климатических условиях. Данные установки можно использовать для энергообеспечения горячего водоснабжения потребителей разных категорий с интеграцией в зданиях и индивидуальных домах.

Ключевые слова. Тонкопленочные фотоэлектрические модули теллурида кадмия, фотоэлектрическая тепловая установка, энергообеспечение, горячее водоснабжение.

Дата поступления: 17.02.2024. После обработки: 29.02.2024. Принято печать: 14.03.2024

UDC 621.472

PROSPECTS FOR THE INTEGRATION OF PHOTOVOLTAIC THERMAL INSTALLATIONS IN THE SPHERE OF ENERGY SUPPLY TO CONSUMERS

Juraev Islom Rakhmatovich¹ - applicant,
ORCID: 0009-0003-6321-695X E-mail: nauka-jir@mail.ru
Yuldoshev Isroil Abriyevich¹ – doctor of technical sciences, professor,
ORCID: 0000-0003-1335-0862 E-mail: yuldashev.i2004@gmail.com
Juraeva Zukhra Islamovna¹ - assistant,



ORCID: 0009-0000-0354-7261 E-mail: zukhra.zhurayeva.90@mail.ru¹Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. Introduction. With the help of solar power installations of various technologies, solar energy is converted into electric, thermal and other types of energy, it is possible to produce hot water and even provide heat and cooling supply to premises. At the same time, photovoltaic thermal installations (PVTI) can serve as the optimal solution for integration in the energy supply of consumers with electric energy and hot water supply.

Methods and materials. There are two main advantages of the PVTI, firstly, the efficiency of the modules can be increased due to active cooling and secondly, the collection in combination of a photovoltaic module with a thermal battery allows the heat to be used to generate thermal energy, heated water.

Results. Based on the results of the research, PVTI based on thin-film modules of cadmium telluride were developed. Due to cooling of the back side of the module, the PVTI allowed to reduce the temperature by 8.6-21.5%, increase electrical efficiency by 1.7-2.5%, power by 8-10.3%, simultaneously produce electricity and heated water for consumer household needs.

Conclusion. The developed FETs of various design types have been tested in hot climatic conditions. These installations can be used for power supply of hot water supply to consumers of different categories with integration in buildings and individual houses.

Key words. Thin-film photovoltaic modules of cadmium telluride, photovoltaic thermal installation, power supply, hot water supply.

UO‘K 621.472

FOTOELEKTRIK ISSIQLIK QURILMALARINI ISTE‘MOLCHILARNING ENERGIYA TA‘MINOTI SOHALARIGA INTEGRATSIYA QILISH ISTIQBOLLARI

Jo‘rayev Islom Rahmatovich ¹ - tadqiqotchi,

ORCID: 0009-0003-6321-695X E-mail: nauka-jir@mail.ru

Yo‘ldoshev Isroil Abriyevich ¹ – texnika fanlari doktori, professor,

ORCID: 0000-0003-1335-0862 E-mail: yuldashev.i2004@gmail.com

Jurayeva Zukhra Islamovna ¹ - assistent,

ORCID: 0009-0000-0354-7261 E-mail: zukhra.zhurayeva.90@mail.ru

¹Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika Universiteti, Toshkent sh., O‘zbekiston

Annotatsiya. Kirish. Turli xil texnologiyali quyosh energiya qurilmalari yordamida quyosh energiyasi elektr, issiqlik va boshqa energiya turlariga aylantiriladi, issiq suv ishlab chiqarilishi va hatto xonalarni issiqlik va sovutish bilan ta‘minlash mumkin. Bunday holda, fotoelektrik issiqlik qurilmaalari (FEIQ) elektr energiyasi va issiq suv ishlab chiqarishi hisobiga iste‘molchilarni energiya ta‘minotiga integratsiya qilish uchun maqbul yechim bo‘lib xizmat qiladi.

Usul va materiallar. FEIQ ikkita asosiy afzalligi bor, birinchidan, modullarning samaradorligini faol sovutish orqali oshirish mumkin, ikkinchidan, fotoelektrik modulni issiqlik batareyasi bilan birgalikda yig‘ish issiqlik energiyasini, isitiladigan suvni ishlab chiqarish uchun modulda yig‘iladigan issiqlikdan unumli foydalanishga imkon beradi.

Natijalar. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, kadmiy telluridning yupqa plyonkali modullari asosida FEIQ ishlab chiqilgan. Modulning orqa qismini sovutish tufayli FEIQ haroratni 8,6-21,5% ga kamaytirishga, elektr samaradorligini 1,7-2,5% ga, quvvatni 8-10,3% ga oshirishga, shu bilan birga iste‘molchining maishiy ehtiyojlari uchun elektr energiyasi va isitiladigan suv ishlab chiqarishga imkon berdi.





Xulosa. Turli xil konstruktiv turlardagi FEIQ tomonidan ishlab chiqilgan issiq iqlim sharoitida sinovdan o'tkazildi. Ushbu qurilmalar turli toifadagi iste'molchilarni energiya va isitilgan suv bilan ta'minlash uchun binolar va yakka tartibdagi uylarga integratsiya qilish uchun ishlatilishi mumkin.

Kalit so'zlar. Kadmiy telluridning yupqa plyonkali fotoelektrik modullari, fotoelektrik issiqlik moslamasi, energiya ta'minoti, issiq suv ta'minoti.

Для цитирования: Жураев И.Р., Юлдошев И.А., Жураева З.И. Перспективы интеграции фотоэлектрических тепловых установок в сферы энергообеспечения потребителей // Альтернативная энергетика. 2024. №1(12). С. 18-25.

Введение

Глобальное развитие всех отраслей экономики по всему миру, социальных сфер жизни и рост цивилизации общества привело к резкому увеличению объема потребления энергии. Обеспечение объема энергии путем генерации на электростанциях с использованием полезных ископаемых, приводит к истощению природных запасов, загрязнению атмосферы, ухудшению экологии и изменению климата планеты. Одним из приемлемых путей решения проблемы считается увеличение доли использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в том числе солнечной энергии. С помощью солнечных энергоустановок разных технологий солнечная энергия преобразуется в электрическую, тепловую и другие виды энергии, можно производить горячую воду и обеспечить даже теплоснабжение и хладоснабжение помещений. При этом фотоэлектрические установки являются одним из дешевых и простых способов преобразования солнечной энергии в электрическую. Кроме того, горячее водоснабжение с помощью солнечных установок является также актуальной задачей энергообеспечения [1,2]. В связи с этим, фотоэлектрические тепловые установки (ФЭТУ) для одновременного обеспечения потребителей электрической энергией и горячим водоснабжением заслуживают внимания для их интеграции в энергообеспечении потребителей.

Методы и материалы

Выделяют два основных преимущества ФЭТУ, во первых эффективность модулей может быть повышена за счет активного охлаждения и во вторых сбор в комбинации фотоэлектрического модуля с тепловой батареей позволяет отводимое тепло использовать для выработки тепловой энергии, отопленной воды. Во многих работах мировых ученых по созданию ФЭТУ технологий были рассмотрены установки в основном на основе кристаллического кремния. В связи с большим запасом кремния в земной планете первоначально было освоено производство фотоэлектрических элементов и модулей на их основе кристаллического кремния. По мере развития технологии полупроводников были разработаны второе поколение солнечных элементов на основе тонкопленочных технологий, следующим третьим поколением полупроводников были красители и органические вещества. ФЭТУ на основе тонкопленочных модулей является новым направлением в технологии установок два в одном. Нами были разработаны ФЭТУ на основе тонкопленочных модулей теллурида кадмия. В мире фотоэлектрические фотоэлектрические элементы на основе теллурида кадмия (CdTe) занимает основной сегмент коммерческого производства среди тонкопленочных модулей, которые являются более дешевой альтернативой традиционным технологиям на основе кристаллического кремния. По прогнозам специалистов в этой области в период 2020–2025 годов среднегодовой темп роста рынка тонкопленочных солнечных фотоэлектрических систем составит 23,02%. Фотоэлектрические солнечные элементы CdTe имеют более высокий КПД до 16,7%, по сравнению с другими элементами тонкопленочных технологий. Следующие мировые производители тонкопленочных солнечных элементов, являются лидерами в области тонкопленочных технологий First Solar Inc.(США), Kaneka Corporation (Япония), ASP Solar (Китай), Solar Frontier К.К. (Япония), NanoPV Solar Inc.(США), SoloPower Systems,





Inc.(США). Фотоэлектрические модули CdTe наиболее широко используются на электростанциях коммунального масштаба, построенных компанией First Solar [3].

Производимые тонкопленочные фотоэлектрические модули весьма удобны для интеграции в архитектурный дизайн зданий. Например, покрытие окон здания прозрачными фотоэлектрическими модулями теллурида кадмия, позволяют обеспечить освещение и генерацию электрической энергии (рис.1) [4,5].



Рис.1. Вид «солнечных фасадов» зданий
Fig.1. View of the “sunny facades” of buildings

Конструктивные свойства фотоэлектрических модулей теллурида кадмия позволяет создать ФЭТУ на их основе для одновременного обеспечения зданий энергией и отопленной водой. ФЭТУ можно классифицировать по следующему [6].

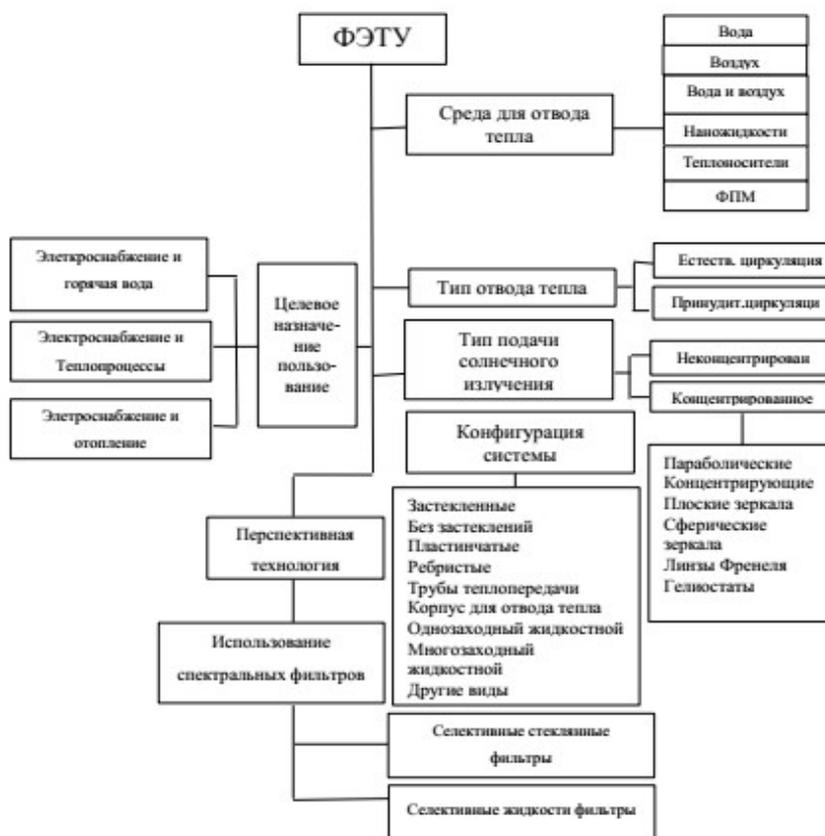


Рис.2. Классификация ФЭТУ
Fig.2. Classification of PVTI

В странах с жарким климатом ФЭТУ с водяным теплоносителем являются более эффективными и востребованными для снижения перегрева модулей в жарких климатических условиях и для энергоснабжения и горячего водоснабжения потребителей. В

ходе научно-практических исследований нами была разработана ФЭТУ на основе тонкопленочных модулей теллурида кадмия. Проводились экспериментальные исследования ФЭТУ по сравнению с неохлаждаемым фотоэлектрическим модулем (ФЭМ) (рис.2).



Рис.2. Вид экспериментальных установок ФЭТУ и ФЭМ
Fig.2. View of the experimental installations of PVTI and PVM

Экспериментальные исследования показали увеличение эффективности ФЭМ в среднем на 2 % и мощности модуля на 10,3 %. Разработанная ФЭТУ за счет охлаждения тыльной стороны модуля позволила не только увеличить энергетические показатели, но и комбинированно производить электроэнергию и нагретую воду для бытовых нужд потребителя.

В течение 2022-2023 годов проводились экспериментальные исследования разработанных экспериментальных ФЭТУ в сравнении с ФЭМ теллурида кадмия. По трем конструктивным видам ФЭТУ получены следующие результаты электрических и энергетических параметров (табл.1,2,3).

Таблица 1

Результаты экспериментального исследования ФЭТУ типа «Композитная панель»

Table 1

The results of an experimental study of “Composite panel” type of PVTI

Параметры	Сред. Знач.		Сред. откл	%
	ФЭМ	ФЭТУ		
U _{хх} , В	106,6	107,9	1,3	1,2
I _{кз} , А	0,92	0,93	0,01	1,1
W, Вт/м ²	550	550	0	0
T _{воз} , °С	32,6	32,6	0	0
V, м/с	1,2	1,2	0	0
T _{макс} , °С	59,5	54,5	-5	-8,6
P _и , Вт	60,3	65,1	4,8	8

Таблица 2

Результаты экспериментального исследования ФЭТУ типа «Алюминиевый радиатор»



Table 2

The results of an experimental study of the “Aluminum radiator” type of PVTI

Параметры	Сред. Знач.		Сред. откл	%
	ФЭМ	ФЭТУ		
U _{xx} , В	105,8	108,2	2,5	2,3
I _{кз} , А	0,9	0,91	0,01	1,1
W, Вт/м ²	605	605	0	0
T _{воз} , °С	34,8	34,8	0	0
V, м/с	1,2	1,2	0	0
T _{мак} , °С	65,3	51,5	-13,8	-21,5
P _и , Вт	59,2	64,2	5	8,5

Таблица 3

Результаты экспериментального исследования ФЭТУ типа «Лист-труба»

Table 3

The results of an experimental study of a Sheet-tube type of PVTI

Параметры	Сред. Знач.		Сред. откл	%
	ФЭМ	ФЭТУ		
U _{xx} , В	105,7	107,2	1,5	1,4
I _{кз} , А	0,8	0,82	0,02	2,4
W, Вт/м ²	564	564	0	0
T _{воз} , °С	34,8	34,8	0	0
V, м/с	0,9	0,9	0	0
T _{мак} , °С	62,1	55,8	-6,3	-10,1
P _и , Вт	51,6	56,9	5,3	10,3

В течение 2022-2023 годов были проведены многочисленные экспериментальные исследования разработанных конструкций ФЭТУ трех видов. В технологическом процессе охлаждения ФЭМ за счет отбора тепла и передачи тепловой энергии циркулируемой воде, произведена нагретая вода температурой 39-43°С в объеме 121-134 литра за 8 часов светового дня в летней сезоне. За счет применения элементов автоматики технологический процесс работы ФЭТУ с комплектующими узлами осуществляется в автоматическом режиме. ФЭТУ в части горячего водоснабжения могут быть использованы круглогодично. В теплых и жарких сезонах года в качестве теплоносителя в тепловых установках используется вода по одноконтурной схеме работы (рис.3), в зимнем сезоне используются антифриз, пропилен-гликоль, этиленгликоль или другие органические жидкости по двухконтурной схеме работы (рис.4) [7].

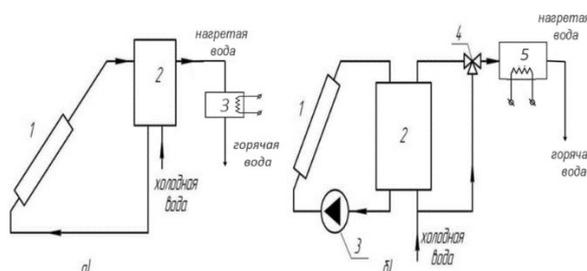


Рис.3. Принципиальная одноконтурная схема работы ФЭТУ для горячего водоснабжения.

а) - с естественной циркуляцией; б) - с принудительной циркуляцией;
 1 –ФЭТУ; 2 – бак-аккумулятор горячей воды; 3 – насос; 4 – смесительный вентиль
 Fig.3. The basic single-circuit scheme of operation of the PVTI for hot water supply.

а) - with natural circulation; б) - with forced circulation;
 1 –PVTI; 2 – hot water storage tank; 3 – pump; 4 – mixing valve

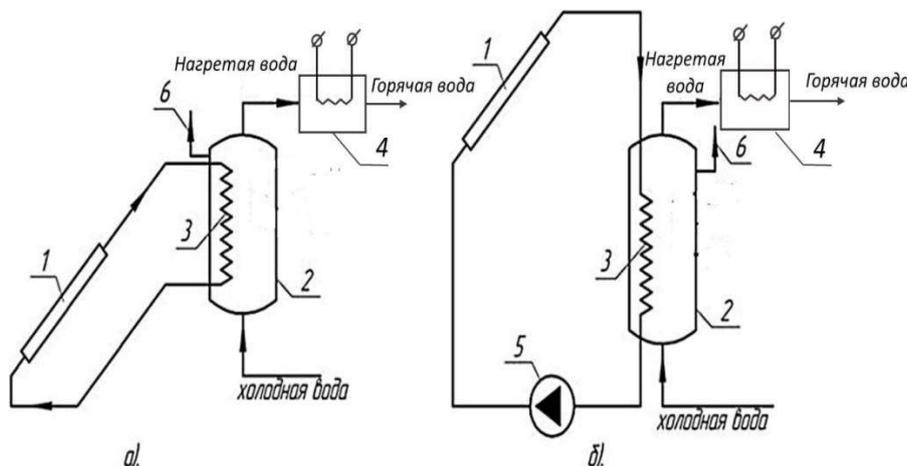


Рис.4. Принципиальная двухконтурная схема работы ФЭТУ для горячего водоснабжения, а) - с естественной циркуляцией; б) - с принудительной циркуляцией;

1 –ФЭТУ; 2 – бак-аккумулятор воды; 3 – теплообменник; 4 – резервный источник нагрева воды; 5 – насос; 6 – предохранительный клапан

Fig.4. The basic two-circuit scheme of operation of the PVTI for hot water supply, а) - with natural circulation; б) - with forced circulation;

1 –PVTI; 2 – water storage tank; 3 – heat exchanger; 4 – reserve water heating source; 5 – pump; 6 – safety valve

Данные технологические схемы с дополнительным источником нагрева воды могут быть применены при необходимости получения горячей воды выше температуры 45°C.

Заключение

Таким образом, разработанная ФЭТУ установки разных конструктивных видов прошли испытания и работоспособность в жарких климатических условиях. Экспериментально установлены увеличение фактических значений электрической эффективности в пределах 1,7-2,5%, мощности в пределах 8-10,3%, снижение температуры модулей в пределах 8,6-21,5%. Данные установки можно использовать для энергообеспечения потребителей разных категорий с интеграцией в зданиях и индивидуальных домах.

Благодарности

Выражаем благодарность заведующему кафедры «АИЭ» ТГТУ имени Ислама Каримова д.т.н. Юлдошеву И.А. за помощь в организации экспериментов и обработке результатов.

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] Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. Под общей редакцией академика Салимова А.У. -Т.:«Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi», 2021. 952 стр.



[2] Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецов В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика. Учебное пособие для вузов. М., Издательский дом МЭИ, 2008.-276с.

[3] Source: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/global-thin-film-solar-collector-market-industry>. Электронный ресурс.

[4] <https://www.canadianarchitect.com/adwire-post/page/1750/> Электронный ресурс.

[5] <https://solstice.id/products/cadmium-telluride-pv-glass/> Электронный ресурс.

[6] Jinhwan Oh, Sangmu Bae, Hobyung Chae, Jaeweon Jeong, Yujin Nam. Photovoltaic–thermal advanced technology for real applications: Review and case study. Energy Reports 10 (2023) 1409–1433.

[7] Алмаев А.Ю., Лушкин И.А. Использование солнечной энергии для теплоснабжения систем горячего водоснабжения в индивидуальном жилищном строительстве. «Вестник НГИЭИ» № 12 (43). 2014. 121с.

References

[1] Allaev K.R. Sovremennaya ehnergetika i perspektivy ee razvitiya. Pod obshchej redakciej akademika Salimova A.U. -Т.:«Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi», 2021. 952 str. (*In Rus.*)

[2] Vissarionov V.I., Deryugina G.V., Kuznecov V.A., Malinin N.K. Solnechnaya Vissarionov V.I., Deryugina G.V., Kuznecov V.A., Malinin N.K. Solnechnaya ehnergetika. Uchebnoe posobie dlya vuzov. M., Izdatel'skij dom MEHI, 2008.-276s. (*In Rus.*)

[3] Source: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/global-thin-film-solar-collector-market-industry>. Ehlektronnyj resurs.

[4] <https://www.canadianarchitect.com/adwire-post/page/1750/> Ehlektronnyj resurs.

[5] <https://solstice.id/products/cadmium-telluride-pv-glass/> Ehlektronnyj resurs.

[6] Jinhwan Oh, Sangmu Bae, Hobyung Chae, Jaeweon Jeong, Yujin Nam. Photovoltaic–thermal advanced technology for real applications: Review and case study. Energy Reports 10 (2023) 1409–1433.

[7] Almaev A.Yu., Lushkin I. A. Ispol'zovanie solnechnoj ehnergii dlya teplosnabzheniya sistem goryachego vodospabzheniya v individual'nom zhilishchnom stroitel'stve. «Vestnik NGIEHI» № 12 (43). 2014. 121 s. (*In Rus.*)

For citation: Juraev I.R., Yuldoshev I.A., Juraeva Z.I. Prospects of integration of photovoltaic thermal installations in the sphere of energy supply to consumers // *Alternative Energy*. 2024. No.1(12). pp. 18-25.

Correspondence: Juraev Islom Rakhmatovich – applicant, E-mail: nauka-jir@mail.ru