



Bino fasadi uchun mo'ljallangan fotoelektrik qurilmaning ish parametrlarini eksperimental tadqiq etish

Zuxra I. Jurayeva^{1,b}, Isroil A. Yuldoshev¹, Islom R. Jo'rayev^{1,a}

^{1a)} PhD, Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; nauka-jir@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-6321-695X>

¹ DSc, prof., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; yuldashev.i2004@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1335-0862>

^{1,b} Katta o'qit, Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; zukhra.zhurayeva.90@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-0354-7261>

Dolzarbligi: Qayta tiklanadigan energiya turlariga asoslangan elektr stantsiyalari uglevodород chiqindilarini kamaytirishga, ekologik xavfsizlik va atrof-muhitni muhofaza qilishga imkon beradi. Hozirgi vaqtda dunyoning ko'plab mamlakatlarida, shu jumladan O'zbekiston Respublikasida fotoelektrik va shamol energetikasi stantsiyalarining quvvati ortib bormoqda. Ayniqsa, O'zbekistonning geografik sharoitida quyosh enegiyasining katta salohiyati tufayli quyosh energetikasi texnologiyalari dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. Uylar va binolarni samarali va barqaror energiya bilan ta'minlash uchun tabiiy sharoitda turli omillarga qarab fotoelektrik qurilmalarning parametrlarini o'rganish binolarga integratsiya va moslashtirish uchun maqbul yechimlarni topishga imkon beradi. Energiya ta'minoti uchun fotoelektrik texnologiyalarni joriy etish energiya va issiqlik ta'minotini yaxshilashga va turar-joy va noturar-joy binolarning energiya samaradorligini oshirishga yordam beradi.

Maqsad: fotoelektrik qurilmalarning energetik parametrlarining atrof-muhit omillariga va tabiiy muhit sharoitida kadmiy telluridga asoslangan eksperimental fasad fotoelektrik qurilmasining ufqiga qiyalik burchagiga qarab o'zgarishini tahlil qilish.

Usullari: asosiy parametrlarni o'lchash orqali fotoelektrik qurilmaning ishlashini o'rganishning eksperimental usuli.

Natijalar: kadmiy telluridning yupqa plyonkali fotoelektrik paneli asosida eksperimental fasad fotoelektrik qurilmasi yaratildi. Ko'p sonli tajribalar o'tkazildi va ufqqa qiyalik burchagi va atrof-muhit omillariga qarab yupqa plyonkali texnologiya asosida fotoelektrik qurilma parametrlarining o'zgarishi natijalari olindi. Fotoelektrik panellarning ufqqa 33 va 60 daraja qiyalik burchaklarida vertikal holatdagiga nisbatan panelning quvvati va harorati oshadi. Ushbu qurilma panellarning tabiiy sharoitda ishlashini o'rganish va yaxshilash bo'yicha keyingi tadqiqotlar uchun xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: fotoelektrik panellar, fasad, qiyalik burchagi, kadmiy telluridning yupqa plyonkali paneli, parametrlar, quvvat, harorat.

Экспериментальное исследование рабочих параметров фотоэлектрической установки, предназначенного для фасада здания

Зухра И. Жураева^{1,b}, Исроил А. Юлдошев¹, Ислон Р. Жураев^{1, a}

^{1a)} PhD, Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; nauka-jir@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-6321-695X>

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

^{1,b} Ст.преп., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; zukhra.zhurayeva.90@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-0354-7261>

Актуальность: Энергетические установки на основе возобновляемых видов энергии позволяют снизить углекислотных выбросов, обеспечить экологической безопасности и охраны окружающей среды. В настоящее время увеличиваются мощности фотоэлектрических и ветроэнергетических станций во многих странах мира, в том числе и в Республике Узбекистан. Особенно, благодаря существенному потенциалу солнечной энергии в географических условиях Узбекистана технологии солнечной энергетики приобретают актуальную значимость. Для эффективного и устойчивого энергообеспечения домов и зданий исследования параметров фотоэлектрических установок в зависимости от различных факторов в натуральных условиях, позволяет находить оптимальные решения по интеграции и приспособления к зданиям. Внедрение фотоэлектрических технологий для энергообеспечения зданий поможет улучшению энерго и теплоснабжения и повышение энергоэффективности жилых и нежилых зданий.

Цель: анализ изменения энергетических параметров фотоэлектрических установок в зависимости от факторов окружающей среды и угла наклона к горизонту экспериментальной фасадной фотоэлектрической установки на основе теллурида кадмия в естественных условиях окружающей среды.

For citation: Juraeva Z.I., Yuldoshev I.A., Juraev I.R. Experimental study of the operation of a facade photovoltaic installation. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, no. 3, pp. 220-229.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.16939848>

Received: 13.02.2025
Revised: 16.05.2025
Accepted: 20.07.2025
Published: 23.08.2025

Copyright: © Zukhra I. Juraeva, Isroil A. Yuldoshev, Islom R. Juraev, 2025. 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/>).



Методы: экспериментальный метод изучения работы фотоэлектрической установки путем измерения основных параметров.

Результаты: создана экспериментальная фасадная фотоэлектрическая установка на основе тонкопленочной панели теллурида кадмия. Проведены многочисленные эксперименты и получены результаты изменения параметров фотоэлектрической установки на основе тонкопленочной технологии в зависимости от угла наклона к горизонту и факторов окружающей среды. При наклонах фотоэлектрических панелей на 33 и 60 градусов к горизонту мощность и температура панелей увеличиваются по сравнению с их вертикальным положением. Данная установка служит для проведения дальнейших исследований по изучению и улучшению показателей панелей в натуральных условиях.

Ключевые слова: фотоэлектрические панели, фасадная, угол наклона, тонкопленочная панель теллурида кадмия, параметры, мощность, температура.

Experimental study of the operating parameters of a photovoltaic device designed for building facades

Zukhra I. Jurayeva³, Isroil A. Yuldoshev², Islom R. Jurayev^{1, a}

^{1a)} PhD., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; tstu_energy@mail.ru <https://orcid.org/0009-0009-3909-4888>

¹ DSc, prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; tstu_energy@mail.ru <https://orcid.org/0009-0002-0761-0787>

^{1,b} Senior Lecturer, Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; zukhra.zhurayeva.90@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-0354-7261>

Relevance: Renewable energy installations can reduce carbon emissions, ensure environmental safety and environmental protection. Currently, the capacities of photovoltaic and wind power plants are increasing in many countries of the world, including the Republic of Uzbekistan. Especially, due to the significant potential of solar energy in the geographical conditions of Uzbekistan, solar energy technologies are of urgent importance. For efficient and sustainable energy supply to homes and buildings, conducting research on the parameters of photovoltaic installations, depending on various factors in natural conditions, allows us to find optimal solutions for integration and adaptation to buildings. The introduction of photovoltaic technologies for energy supply to buildings will help improve energy and heat supply and increase the energy efficiency of residential and non-residential buildings.

Aim: analysis of changes in the energy parameters of photovoltaic installations depending on environmental factors and the angle of inclination to the horizon of an experimental facade photovoltaic installation based on cadmium telluride in natural environmental conditions.

Methods: an experimental method for studying the operation of a photovoltaic installation by measuring the main parameters.

Results: An experimental facade photovoltaic installation based on a cadmium telluride thin-film panel was created. Numerous experiments were conducted, and results were obtained on the variation of the parameters of the thin-film photovoltaic system depending on the tilt angle to the horizon and environmental factors. At tilt angles of 33 and 60 degrees to the horizon, the power and temperature of photovoltaic panels increase compared to their vertical position. This installation is used to conduct further research to study and improve the performance of panels in field conditions.

Keywords: photovoltaic panels, facade, tilt angle, cadmium telluride thin-film panel, parameters, power, temperature.

1. Введение (Introduction)

Энергетические установки на основе возобновляемых видов энергии позволяют снижению углеродных выбросов, обеспечить экологической безопасности и охраны окружающей среды. В настоящее время увеличиваются мощности фотоэлектрических и ветроэнергетических станций во многих странах мира, в том числе и в республике Узбекистан. Особенно, благодаря существенному потенциалу в географических условиях Узбекистан солнечная энергетика имеет актуальную значимость. В целях обеспечения широкого внедрения технологических установок на основе солнечной энергии руководство Узбекистана поддерживает изданием Указов и Постановлений Президента Республики Узбекистана, направленных на повышение энергоэффективности домов и зданий. В частности Постановление №ПП-100 от 11 марта 2025 года “О кардинальном реформировании сферы теплоснабжения и повышении энергоэффективности”, а также Постановление №ПП-133 от 1 апреля 2025 года “О совершенствовании мер по предотвращению нерационального использования энергоресурсов и повышению энергоэффективности” являются важными документами поддерживающие политику внедрения технологий возобновляемой энергетики [1,2].

В настоящее время солнечные фасадные и кровельные системы рассматриваются как перспективным решением для достижения энергоэффективности и независимости зданий по электроснабжению. Кристаллические солнечные фотоэлектрические панели имеют большие габариты

риты и вес по сравнению с тонкопленочными панелями на гибкой и стеклянной основе, которые более удобны для интеграции на фасадные системы и конструкции зданий и домов. В наших исследованиях намечены цели по изучению вышеуказанных задач для приемлемого внедрения ФЭУ для энергообеспечения зданий [3-7].

ФЭП обычно устанавливаются под наклоном к горизонту для улучшения падения солнечных лучей на поверхность панелей. В некоторых сезонах года, использование ФЭП с вертикальной ориентацией позволит повысить эффективность выработки электроэнергии за счет снижения влияния пыли, дождя и снега [8].

Расположение и ориентацию ФЭП на земле или на здании целесообразно менять в течение года, соответственно склонению солнца. Схема установки ФЭП в зависимости от сезонов года приведена на рис.1 [9,10].

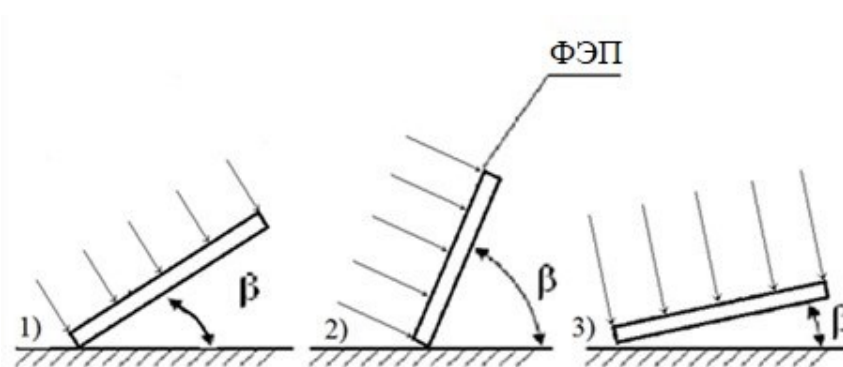


Рис.1. Схема расположения ФЭП по сезонам года: (1)-время весеннего и летнего равноденствия; (2)-в зимнее время; (3)-в летнее время.

Fig.1. The scheme of the FVP by seasons: (1)-the time of spring and summer equinox; (2)-in winter; (3)-in summer.

Наклон ФЭП ориентируется раз в месяц и β - угол наклона ФЭП к горизонту рассчитывается по следующей формуле.

$$\beta = \varphi - \delta \quad (1)$$

В формуле (1) φ – географическая широта местности, 0 ; δ - угол склонения солнца для данного месяца, которая определяется по следующей формуле Купера.

$$\delta = 23,45 \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right) \quad (2)$$

В формуле (2), n – порядковый номер дня начиная с 1 января года.

2. Методы и материалы (Methods and materials)

Для определения электрофизических параметров ФЭП применяются следующие методы:

- измеряются и рассчитывается рабочих параметров ток короткого замыкания (I_{sc}), напряжение холостого хода (V_{oc}), ток (I_{PM}) и напряжение (U_{PM}) и максимальная выходная мощность (P_{max}), коэффициента заполнения (FF) и КПД, а также их вольтамперные, вольт-ваттные характеристики различного типа ФЭМ;
- тепловизионная съемка используются инфракрасные камеры для выявления горячих точек и температур поверхностей ФЭМ;
- многочисленные экспериментальные исследования, которые позволяют получение более адекватного значения электрофизических параметров различных типов ФЭМ.

В настоящее время во многих странах производятся ФЭП самых разных технологий и конструкций. В частности, кристаллические, поликристаллические, тонкопленочные ФЭП. Для размещения в фасадные модульные системы тонкопленочные ФЭП теллурида кадмия на стеклянной основе, благодаря конструктивному строению являются очень удобными. Учитывая конструктивные параметры данных панелей, для исследования интеграции панелей в здания нами выбраны тонкопленочные фотоэлектрические панели теллурида кадмия (рис.2).



Рис.2. Тонкопленочная фотоэлектрическая панель теллурида кадмия.
Fig.2. Cadmium Telluride Thin Film Photovoltaic Panel.

В целях изучения геометрических и энергетических параметров фотоэлектрической установки, состоящего из массива ФЭП, нами изготовлена и установлена на гелиополигоне кафедры АИЭ ТашГТУ имени Ислама Каримова экспериментальная фотоэлектрическая установка (ФЭУ), состоящая из 10 единиц тонкопленочных ФЭП теллурида кадмия, вмонтированные в фасадные профили АКФА (рис.3).



а)



б)

Рис.3. Фото экспериментальной фотоэлектрической установки мощностью 1 кВт.
 а) вид с фронтальной стороны; б) вид с тыльной стороны.
Fig.3. Photo of an experimental photovoltaic installation with a capacity of 1 kW.
 а) view from the front; б) view from the back.

Для изготовления экспериментальной установки, ФЭП по 5 единиц были последовательно соединены между собой в два ряда PV1 и PV2, DC1 и DC2 входы которых подключены к двухтрекерному инвертору (рис.4), AC выход подключен через однофазный счетчик электроэнергии EX-18 соединена к локальной электрической сети (рис.5 и 6).



Рис.4. Фото 2-х трекового инвертора и индикации электрических параметров установки.
Fig.4. Photo of a 2-tracker inverter and an indication of the electrical parameters of the installation.



Рис.5. Фото соединения ФЭП установки через инвертор и счетчик в локальную сеть.
Fig.5. Photo of the connection of the PVP installation through the inverter and a meter to the local network.



Рис.6. Фото счетчика электроэнергии однофазного марки EX-18.
Fig.6. Photo of a single-phase electricity meter of the EX-18 brand.

Многочисленные исследования рабочих параметров экспериментальной фасадной фотоэлектрической установки установленной мощностью 1 кВт были начаты с июля месяца 2025 года. Для измерения параметров окружающей среды, в частности скорости ветра, температуры окружающего воздуха, плотности потока солнечной радиации и температуры на поверхности

панелей нами были использованы следующие измерительные приборы (рис.7).

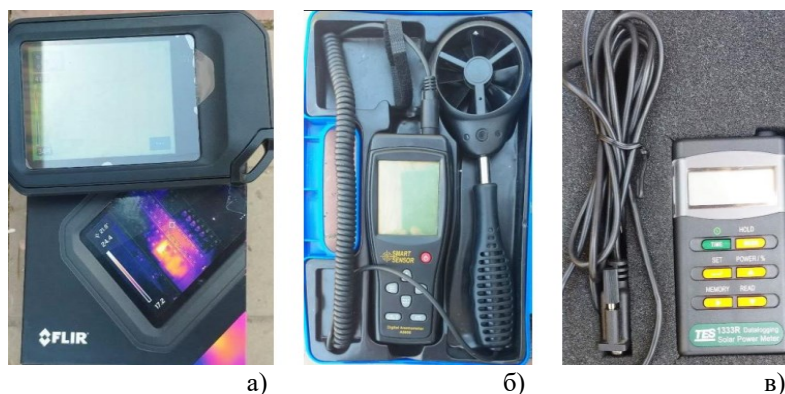


Рис.7. Фото измерительных приборов. а) тепловизор FLIR; б) анемометр AS856; в) пиранометр 1333R.

Fig.7. Photos of measuring instruments. a) FLIR thermal imager; b) AS856 anemometer; c) 1333R pyranometer.

3. Результаты и обсуждение (Results and discussion)

Экспериментальные измерения параметров были проведены в натуральных условиях для географической местности г.Ташкента. На рис.8 приведены графики изменения факторов окружающей среды, которые непосредственно влияют на энергетические параметры установки.

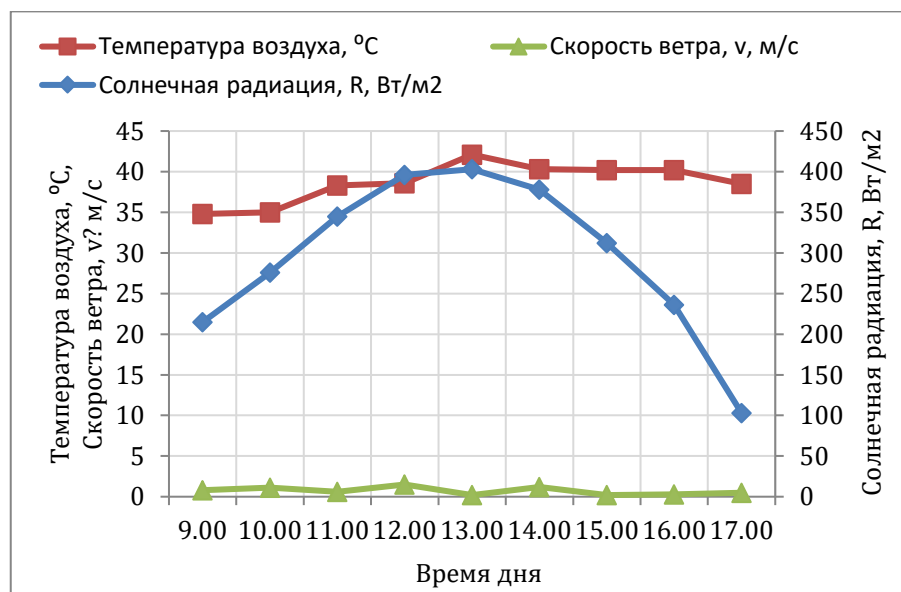


Рис.8. Графики изменения факторов окружающей среды.

Fig.8. Graphs of changes in environmental factors.

На рис.9 приведено изменение мощности ФЭУ в течение дня. Как видно, из графика при установке ФЭП под углом 90° в утренние и вечерние часы летнего сезона мощность низкая. Когда солнце в зените мощность достигает 30,3% установленной мощности.

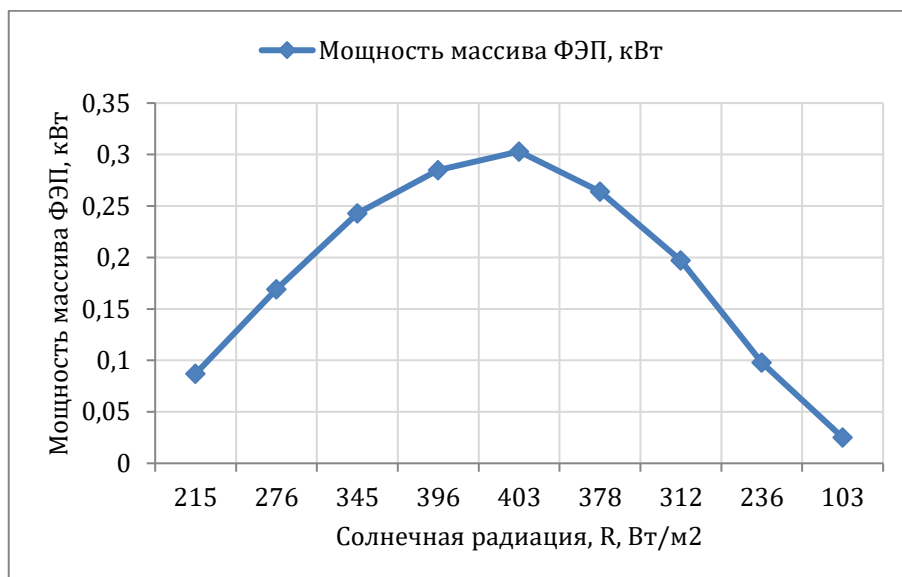


Рис.9. График изменения мощности установки.

Fig.9. Graph of plant power changes.

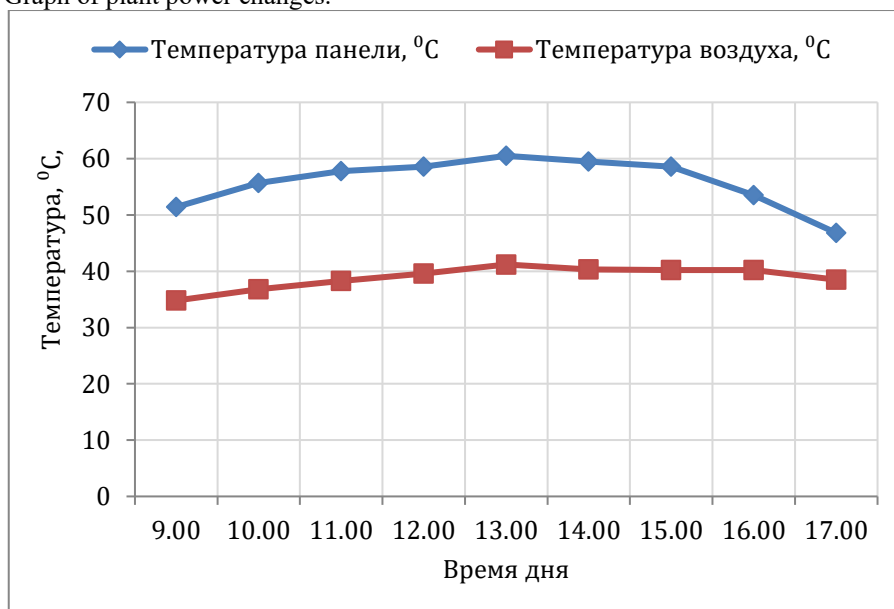


Рис.10. График изменения температуры воздуха и температуры на поверхности панели.

Fig.10. Graph of changes in air temperature and temperature on the panel surface.

На рис.10 приведен график изменения температуры воздуха и поверхности панели в течение дня. Нужно отметить, что температура на поверхности панели оказалась в 1,2-1,5 раза выше чем температура воздуха.

Работа фотоэлектрических установок зависит от факторов окружающей среды, географической широты местности, угла наклона к горизонту и многих других факторов. В летний сезон года солнце стоит высоко над горизонтом и для обеспечения перпендикулярного падения солнечных лучей на поверхность панелей нужно установить панели под наклоном к горизонту. При изготовлении данной экспериментальной установки было предусмотрено раздельное испытание ФЭП по пять единиц в два ряда, PV1 и PV2 были соединены к двум входам инвертора. Фасадная рама позволяет наклонять полотно пяти панелей относительно горизонта. Для экспериментов угол наклона был установлен в начале 60°, в последующие дни 33° (рис.11).



Рис.11. Фото наклонной PV1 и вертикальной PV2 частей ФЭУ.
Fig.11. Photo of inclined PV1 and vertical PV2 parts of the PVI.

При разных углах наклона были измерены параметры наклонной PV1 и вертикальной PV2 с установленной мощностью каждого по 0,5 кВт. Также были измерены и параметры окружающей среды. Все полученные данные были обработаны и представлены в виде графиков (рис.12-13).

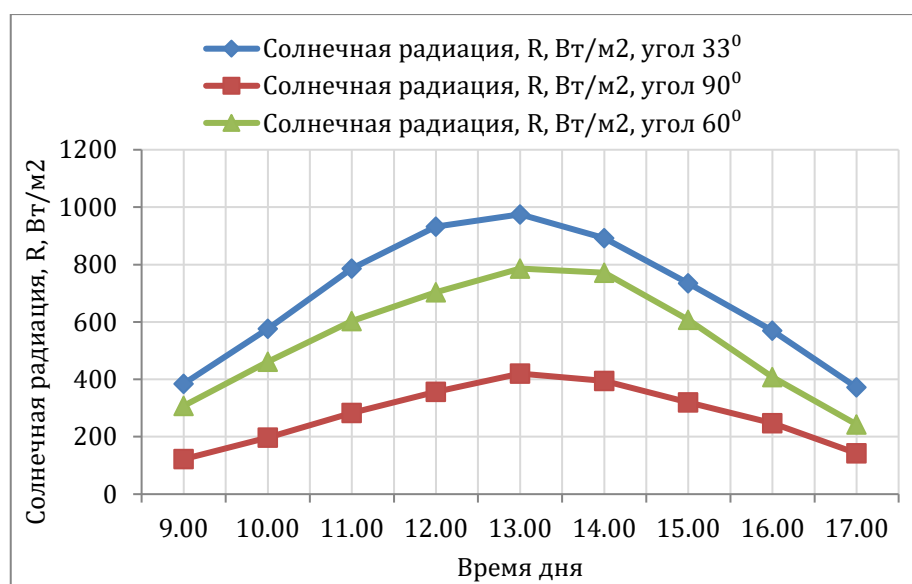


Рис.12. Графики изменения солнечной радиации.
Fig.12. Graphs of changes in solar radiation.

На рис.12 в виде графиков приведены изменения в течение дня значения плотности потока солнечной радиации, падающей на поверхность фотоэлектрической панели, расположенной под углом 90°, 60° и 33° к горизонту. При угле наклона 60° значение значения плотности потока солнечной радиации составила в 1,8 раза выше, а при угле наклона 33° в 2,3 раза выше чем значения плотности потока солнечной радиации при расположении панели под углом 90°.

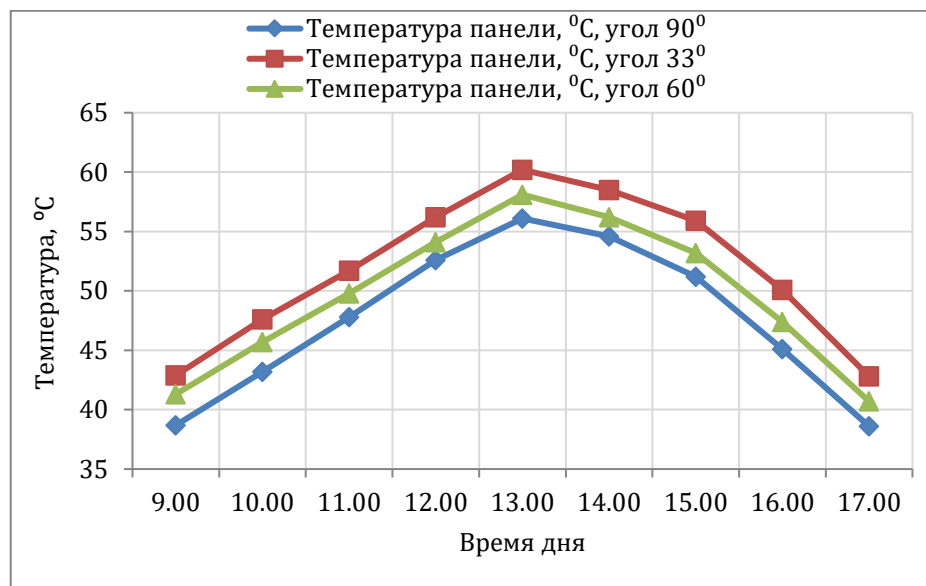


Рис.13. Графики изменения температуры на поверхности панели.
Fig.13. Graphs of temperature changes on the panel surface.

Анализ изменения температуры поверхности панели представленной на рис.13 показывает, что при угле наклона 33° температура на 4,1°С выше, при угле наклона 60° на 2°С выше чем при расположении панели под углом 90° к горизонту.

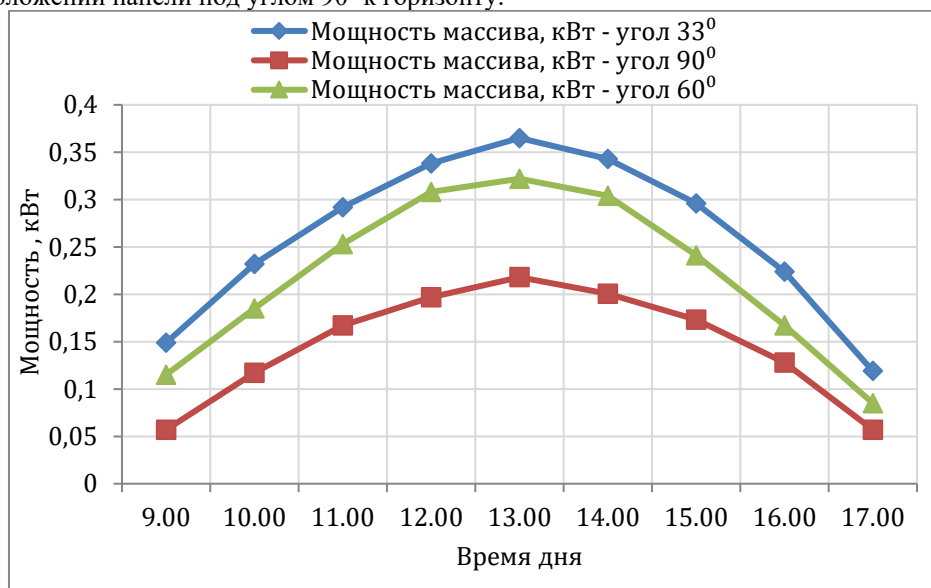


Рис.14. Графики изменения мощностей.
Fig.14. Graphs of capacity changes.

Анализ изменения мощности массива панелей представленной на рис.14 показывает, что при угле наклона 33° мощность на 67% выше, при угле наклона 60° на 48%, выше чем при расположении панели под углом 90° к горизонту.

4. Заключение (Conclusion)

Данная экспериментальная фотоэлектрическая установка имеет возможность менять расположение частей относительно горизонта, позволяет проводить экспериментальные измерения параметров двух частей установки и сравнивать результаты между собой. Представленная установка позволяет проводить исследование по изучению функционирования тонкопленочных фотоэлектрических панелей на основе теллурида кадмия в натуральных условиях окружающей среды в течение года. Изучение работы данной ФЭУ в естественных условиях позволит определить конструктивные и энергетические параметры установки в зависимости от



факторов окружающей среды для оптимальной интеграции их в здания.

Работа выполнена 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 ПП-100 от 11 марта 2025 года “О мерах по кардинальному реформированию сферы обеспечения тепловой энергией жилых домов, зданий и сооружений, а также повышению энергоэффективности зданий”.
2. Постановление Президента Республики Узбекистан, от 01.04.2025 г. № ПП-133 “О совершенствовании мер по предупреждению незаконного использования и расточительного расходования топливно-энергетических ресурсов, а также повышению энергоэффективности”.
3. Zoltan Nagyn, Bratislav Svetozarevic, Prageeth Jayathissa, Moritz Begle, Johannes Hofer, Gearoid Lydon, Anja Willmann, Arno Schlueter. The Adaptive Solar Facade: From concept to prototypes. *Frontiers of Architectural Research* (2016) 5, 143–156.
4. Frontini, F., Bonomo, P., Chatzipanagi, A., 2015. BIPV Product Overview for Solar Facades and Roofs. Technical Report, Swiss BIPV Competence Centre, SUPSI.
5. Barraud, E., 2013. Stained glass solar windows for the Swiss tech convention center. *CHIMIA Int. J. Chem.* 67 (3), 181–182.
6. Lucon, O., Üрге-Vorsatz, D., 2014. Mitigation of Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change. Fifth Assessment Report, pp. 674–738.
7. Chen, Y., Feng, Z., Verlinden, P., 2014. Assessment of module efficiency and manufacturing cost for industrial crystalline silicon and thin film technologies. In: 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion.
8. Лансберг А.А. Компьютерное моделирование работы солнечной панели в matlab simulink. <https://cyberleninka.ru/article/n/kompyuternoe-modelirovanie-raboty-solnechnoy-paneli-v-matlab-simulink>.
9. “Quyosh energetikasi” fanidan darslik. Yuldoshev I.A., Sultonov M.Q., Yuldashev F.M. - Toshkent: 2022. -286 b.
10. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К., СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И.Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008.- с.

REFERENCES

1. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan PP-100 dated March 11, 2025 “On measures to radically reform the sphere of providing thermal energy to residential buildings, buildings and structures, as well as improving the energy efficiency of buildings.”
2. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan, dated 04/01/2025, No. PP-133 “On the improvement of measures to prevent the illegal use and wasteful use of fuel and energy resources, as well as to improve energy efficiency.”
3. Zoltan Nagyn, Bratislav Svetozarevic, Prageeth Jayathissa, Moritz Begle, Johannes Hofer, Gearoid Lydon, Anja Willmann, Arno Schlueter. The Adaptive Solar Facade: From concept to prototypes. *Frontiers of Architectural Research* (2016) 5, 143–156.
4. Frontini, F., Bonomo, P., Chatzipanagi, A., 2015. BIPV Product Overview for Solar Facades and Roofs. Technical Report, Swiss BIPV Competence Centre, SUPSI.
5. Barraud, E., 2013. Stained glass solar windows for the Swiss tech convention center. *CHIMIA Int. J. Chem.* 67 (3), 181–182.
6. Lucon, O., Üрге-Vorsatz, D., 2014. Mitigation of Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change. Fifth Assessment Report, pp. 674–738.
7. Chen, Y., Feng, Z., Verlinden, P., 2014. Assessment of module efficiency and manufacturing cost for industrial crystalline silicon and thin film technologies. In: 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion.
8. Lansberg A.A. Computer simulation of solar panel operation in matlab simulink. <https://cyberleninka.ru/article/n/kompyuternoe-modelirovanie-raboty-solnechnoy-paneli-v-matlab-simulink>.
9. Textbook on the subject "Solar energy". Yuldoshev I.A., Sultonov M.K., Yuldashev F.M., Tashkent, 2022.-286 p.
10. Vissarionov V.I., Deryugina G.V., Kuznetsova V.A., Malinin N.K., SOLAR ENERGY: Study guide for universities / Edited by V.I.Vissarionov. Moscow: Publishing House of the Moscow Institute of Economics, 2008.-p.