

УДК. 621.311.2:551.577.3

Қаҳҳоров Жамшидбек Иброхимович¹,*ага оқутуучу***Эргашев Сирожиддин Фаёзович²,***техника илимдеринин доктору, профессор***Мирзаалимов Авазбек Алишерович¹,***техника илимдеринин кандидаты, доцент***Рашидов Бобуржон Дилмуродович³,***физика-математика илимдеринин кандидаты, доцент***Мирзаалимов Наврузбек Алишер угли³,***техника илимдеринин кандидаты, доцент***Таджибаева Шарифахон Хушнудбек кызы³,***оқутуучу***Мухабатхан Исмаилахун кызы⁴,***PhD докторант***АНДИЖАНДЫН КЛИМАТТЫК ШАРТЫНДА ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫНЫН
ӨНДҮРҮШҮНӨ ЭКИ ТАРАПТУУ СЕЗГИЧТҮҮ ФОТОЭЛЕКТРДИК
МОДУЛДАРЫН ЖЕРГЕ АЛУУНУНУН ТААСИРИ****Қаҳҳоров Жамшидбек Иброхимович¹,***старший преподаватель***Эргашев Сирожиддин Фаёзович²,***доктор технических наук, профессор***Мирзаалимов Авазбек Алишерович¹,***кандидат технических наук, доцент***Рашидов Бобуржон Дилмуродович³,***кандидат физико-математических наук, доцент***Мирзаалимов Наврузбек Алишер угли³,***кандидат технических наук, доцент***Таджибаева Шарифахон Хушнудбек кизи³***преподаватель***Мухабатхан Исмаилахун кызы⁴***PhD докторант***ВЛИЯНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ДВУСТОРОННЕЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ НА ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ АНДИЖАНА****Jamshidbek Ibrohimovich Qahhorov¹,***Senior Lecturer***Sirojiddin Fayozovich Ergashev²,***Doctor of Technical Sciences, Professor***Mirzaalimov Avazbek Alisherovich¹,***PhD, Associate Professor***Rashidov Boburjon Dilmurodovich³,***PhD, Associate Professor***Mirzaalimov Navruzbek Alisher ugli³,***PhD, Associate Professor***Tadjibaeva Sharifaxon Khushnudbek kyzy³,***Lecturer*

Mukhabbatkhan Ismailakhun kyzy⁴,
PhD Student

**THE IMPACT OF BIFACIAL PHOTOVOLTAIC MODULE ORIENTATION
 ON ELECTRICAL ENERGY PRODUCTION UNDER THE CLIMATIC CONDITIONS OF ANDIJAN**

¹*Андижанский государственный педагогический институт,
 Андижан, Республика Узбекистан*

²*Кафедра электротехника и автоматизация Ферганского государственного
 технического университета, Фергана, Республика Узбекистан*

³*Андижанский государственный университет, Андижан, Республика Узбекистан*

⁴*Ошский государственный университета, Ош, Кыргызская Республика*

¹*Андижан мамлекеттик педагогикалык институту, Андижан, Ўзбекистан Республикасы*

²*Фергана мамлекеттик техникалык университетинин электротехника
 жана автоматика кафедрасы, Фергана, Ўзбекистан Республикасы*

³*Андижан мамлекеттик университети, Андижан, Ўзбекистан Республикасы*

⁴*Ош мамлекеттик университети, Ош, Кыргыз Республикасы*

¹*Andijan State Pedagogical Institute, Andijan, Republic of Uzbekistan*

²*Fergana State Technical University, Fergana, Republic of Uzbekistan*

³*Andijan State University, Andijan, Republic of Uzbekistan*

⁴*Osh State University, Osh, Kyrgyz Republic*

Аннотация. Бул макалада эки беттүү фотоэлектрдик панелдердин (ФП) жардамы менен күн радиациясын электр энергиясына айландыруу процесси каралат. Эки тараптуу ФП панелдери салттуу бир беттүү панелдерге салыштырмалуу аянт бирдигине көбүрөөк энергия өндүрүү жөндөмдүүлүгүнөн улам коммерциялык жана өнөр жай колдонмолору үчүн барган сайын популярдуу болуп баратат. Панелдердин арткы бөлүгүнөн пайда болгон кошумча энергия бир нече факторлорго, анын ичинде айланадагы беттерден жана жердин альбедосунан чагылган күн нурунун интенсивдүүлүгүнөн көз каранды. Атап айтканда, ачык түстүү же жылмаланган материалдар сыяктуу чагылтуу беттери эки жүздүү күн модулдарынын энергия түшүмүн бир топ жогорулата алат. Изилдөө панелдер астындагы орнотуу конфигурациясын жана жер үстүндөгү касиеттерин оптималдаштыруу жалпы системанын натыйжалуулугун олуттуу жогорулатууга алып келиши мүмкүн экенин көрсөтүп турат. Бул натыйжалар ар кандай климаттык шарттарда жогорку эффективдүү ФП системаларын долбоорлоо жана ишке ашыруу үчүн маанилүү натыйжаларга ээ.

Ачкыч сөздөр: эффективдүүлүк, эки жүздүү күн панели, кремний, күн энергиясы, альbedo, энергия кирешелүүлүгү.

Аннотация. В статье рассматривается процесс преобразования солнечной радиации в электрическую энергию с использованием двусторонних фотоэлектрических (ФЭ) панелей. Двусторонние ФЭ панели становятся всё более популярными для коммерческого и промышленного применения благодаря их способности генерировать больше энергии на единицу площади по сравнению с традиционными односторонними панелями. Дополнительная энергия, вырабатываемая с тыльной стороны панелей, зависит от нескольких факторов, включая интенсивность отражённого солнечного света от окружающих поверхностей и альbedo земли. В частности, отражающие поверхности, такие как светлые или полированные материалы, могут значительно повысить выработку энергии двусторонними солнечными модулями. Исследование показывает, что оптимизация конфигурации установки и свойств поверхности под панелями может привести к существенному повышению общей эффективности системы.

Эти результаты имеют важное значение для проектирования и внедрения высокоэффективных ФЭ систем в различных климатических условиях.

Ключевые слова: эффективность, двусторонняя солнечная панель, кремний, солнечная энергия, альbedo, выход энергии.

Abstract. This article examines the process of converting solar radiation into electrical energy using bifacial photovoltaic (PV) panels. Bifacial PV panels are becoming increasingly popular for commercial and industrial applications due to their ability to generate higher energy yields per unit area compared to conventional monofacial panels. The additional energy produced from the rear side of these panels depends on several factors, including the intensity of reflected sunlight from the surrounding surfaces and the albedo of the ground. In particular, reflective surfaces such as light-colored or polished materials can significantly enhance the energy output of bifacial solar modules. The study highlights that optimizing both the installation configuration and the surface properties beneath the panels can lead to substantial improvements in overall system efficiency. These findings are important for the design and deployment of high-performance PV systems in various climatic conditions.

Keywords: efficiency, bifacial solar panel, silicon, solar energy, albedo, energy yield.

Введение

Постоянный рост мирового спроса на энергию в сочетании с ограниченностью традиционных источников энергии усилил внимание к возобновляемым источникам энергии. Солнечная энергия является одним из таких источников, обеспечивая возможность стабильного производства электроэнергии [1]. По мере развития технологий выработки электроэнергии с использованием солнечных панелей появляются фотогальванические (ФЭ) модули нового поколения [2]. Двусторонние ФЭ модули (Bifacial PV) представляют собой одну из таких передовых технологий, так как они способны улавливать солнечный свет не только с передней, но и с задней стороны, что повышает их общую эффективность [3].

Узбекистан, включая Андижанскую область, обладает значительным потенциалом в области возобновляемой энергии, особенно солнечной. В течение года в стране наблюдается большое количество солнечных дней, что создаёт благоприятные условия для широкого внедрения технологий солнечной энергетики. Изучение преимуществ двусторонних ФЭ модулей, а также влияния их размещения и ориентации на выработку электроэнергии имеет важное значение.

Солнечная радиация является основным фактором, определяющим потенциал производства энергии фотогальваническими модулями [4]. Солнечные лучи, достигающие поверхности Земли, состоят из трёх основ-

ных компонентов: прямой радиации, рассеянной радиации и отражённой радиации.

Двусторонние модули отличаются от односторонних способностью улавливать отражённую радиацию [5]. Это позволяет таким модулям производить дополнительную энергию за счёт света, отражённого от поверхности земли. В условиях Андижана отражённая радиация имеет особое значение, так как отражающие поверхности (например, белые или светлые поверхности) могут существенно повысить эффективность двусторонних модулей.

Материалы и методы

В данном исследовании были всесторонне проанализированы воздействия солнечной радиации на характеристики двух типов солнечных панелей, включая как фотоэлектрическое, так и тепловое влияние. Особое внимание уделялось изучению того, как направление солнечного света влияет на переднюю и заднюю поверхности панелей в естественных условиях, что позволяет оценить реальную производительность панелей в полевых условиях (Рис. 1).

Основная цель подхода заключалась в исследовании влияния различных цветов горизонтальной поверхности, находящейся под двусторонней солнечной панелью, на её электрические характеристики. Для этого были разработаны и проведены контролируемые эксперименты с использованием панелей одинакового типа, площади и числа солнечных элементов, при которых варьировались цвета горизонтальной поверхности под панелью (Рис. 2).



Рис. 1. Внешний вид задней (a) и передней (b) поверхностей двусторонней солнечной панели

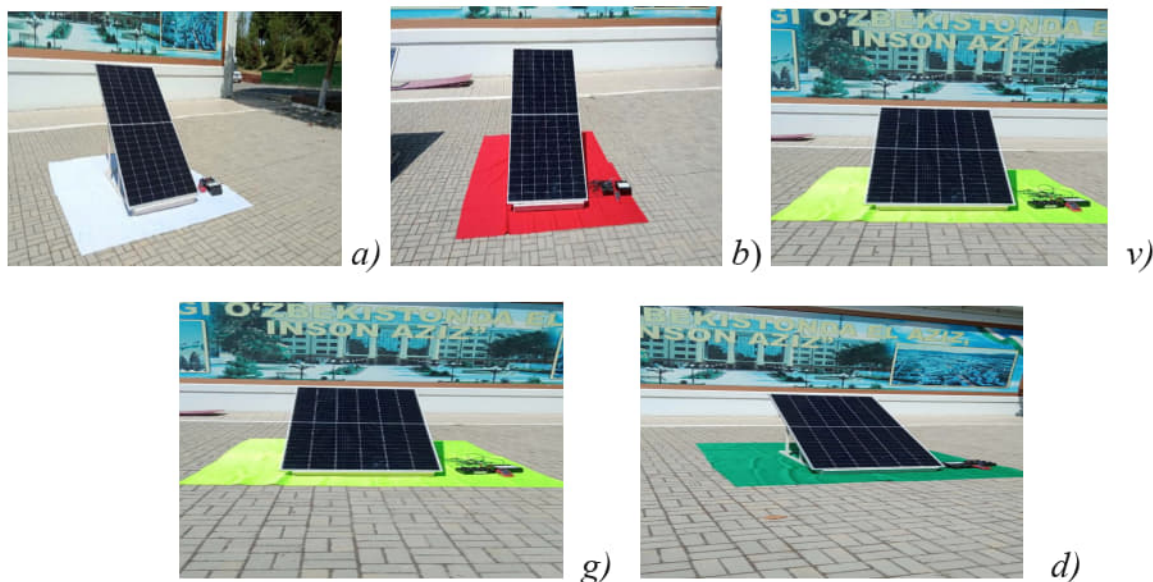


Рис. 2. Варианты использования разноцветных поверхностей в качестве фона под двусторонней солнечной панелью.

Эксперименты проводились при постоянной освещённости $W = 590 \text{ Вт/м}^2$ для обеспечения сопоставимости результатов и минимизации влияния внешних факторов. В процессе испытаний измерялись ключевые электрические параметры: напряжение, ток и выходная мощность панели. При этом учитывалось влияние отражённого солнечного света от горизонтальных поверхностей различных цветов на заднюю сторону панели, что является отличительной особенностью двусторонних ФЭ модулей.

Результаты проведённых экспериментов представлены на Рисунках 3 и 4. Они демонстрируют зависимость напряжения, тока и мощности от цвета задней фоновой поверхности для двусторонней солнечной панели ($2,28 \times 1,14 \text{ м}^2$) и позволяют оценить вклад отражённого света в общую производительность панели. Данный подход обеспечивает возможность получения практических рекомендаций по оптимальному выбору цвета и материала поверхности под панелью для максимизации её выходной энергии.

Результаты и обсуждение

На рис. 3 и 4 показано, что цвет горизонтальной поверхности под двусторонней солнечной панелью играет значительную роль в общей выработке энергии. Наибольшие значения тока короткого замыкания и выходной мощности достигаются, когда горизонтальная поверхность под двусторонней панелью имеет зелёный или жёлтый цвет. Естественно, в таких случаях вклад задней поверхности в общие параметры выхода двусторонней солнечной панели увеличивается. Более того, использование отражающих стеклянных поверхностей под или за двусто-

ронной панелью может ещё больше повысить эффективность.

Для количественного определения вклада таких поверхностей необходимы специализированные исследования в научной, технической, проектной или инновационной форме. Эти исследования позволяют получать точные результаты для конкретных мест, учитывая архитектуру и расположение зданий, а также цвета их внешних поверхностей. Кроме того, предлагается использование двусторонних солнечных панелей на сельскохозяйственных полях, например, в местах выращивания люцерны (постоянно зелёные поля).

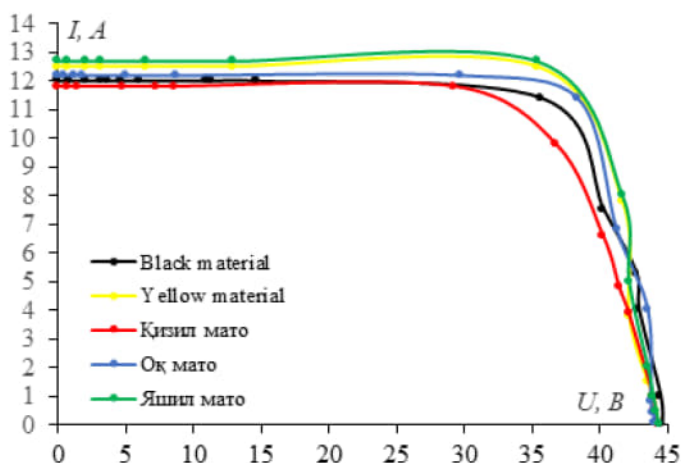


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики двусторонних солнечных панелей (144 солнечных элемента, общая площадь $2,28 \times 1,14 \text{ м}^2$) при освещённости 590 Вт/м^2 , установленных на поверхности с различным цветом задней стороны

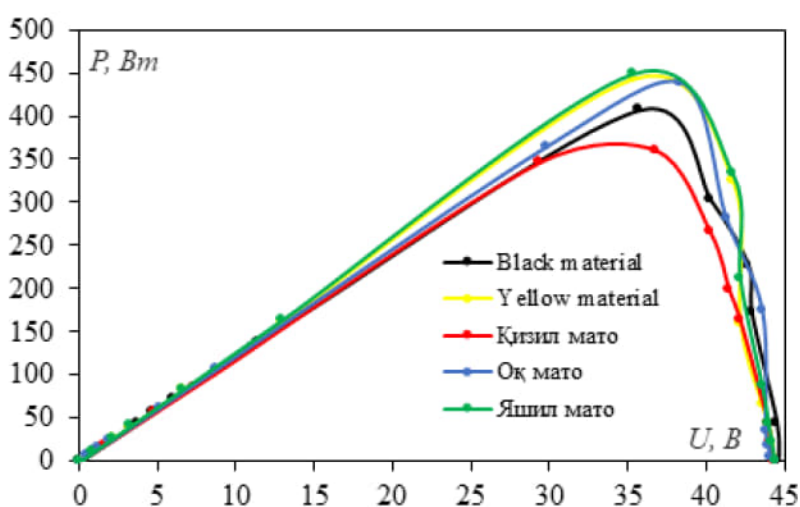


Рис. 4. График зависимости мощности от напряжения двусторонних солнечных панелей (144 солнечных элемента, общая площадь $2,28 \times 1,14 \text{ м}^2$) при освещённости 590 Вт/м^2 , установленных на поверхности с различным цветом задней стороны

Испытание горизонтальной поверхности двусторонней солнечной панели с различными цветами фона представляет интерес, и результаты представлены на Рис. 5. Когда односторонние и двусторонние освещённые поверхности расположены под одним и тем же углом наклона, лучшие параметры выхо-

да естественно наблюдаются у двусторонних поверхностей за счёт вклада задней стороны, на которую падает случайно рассеянный свет. Формирование зелёного и белого фона под двусторонней солнечной панелью обеспечивает значительное улучшение выходных характеристик (Рис. 5).

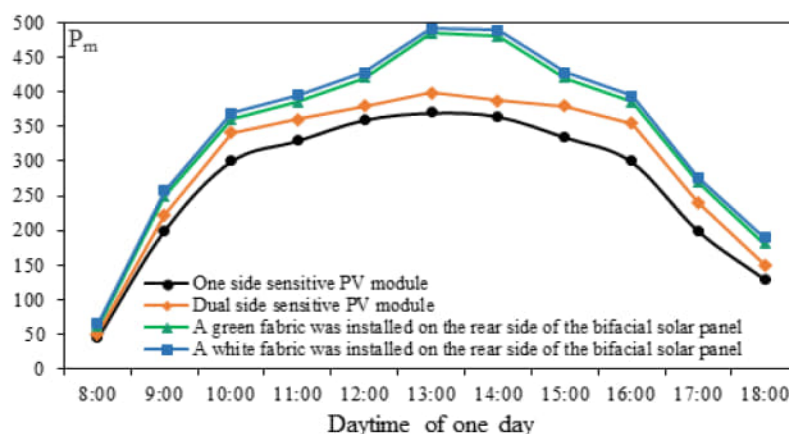


Рис. 5. График зависимости мощности от времени для солнечных панелей с односторонним и двусторонним освещением на горизонтальной поверхности с зелёным и белым фоном

Очевидна важность как цвета, так и расстояния горизонтальной поверхности под двусторонней солнечной панелью для её работы. Кроме того, если панель установлена перед вертикальной конструкцией (стеной), цвет поверхности стены и расстояние между панелью и стеной также играют важную роль в определении выходных параметров.

Заключение

В заключение следует отметить, что общая мощность, вырабатываемая двусторонними солнечными панелями, а также её распределение в течение дня демонстрируют кривые, существенно отличающиеся от аналогичных параметров односторонне освещённых панелей. Экспериментальные данные показали, что цвет и отражающая способность горизонтальной поверхности под панелью, а также цвет и расстояние вертикальных структур рядом с панелью оказывают заметное влияние на электрические параметры и эффективность системы.

Результаты исследования позволяют сделать вывод о значительной роли отражённого солнечного света и возможности его использования для повышения общей производительности системы. На основании полученных данных могут быть разработаны новые рекомендации по оптимальному размещению и ориентации двусторонних солнечных панелей, а также по выбору соответствующих поверхностей вблизи установки, что особенно важно для различных климатических и архитектурных условий.

Кроме того, исследования подтвердили перспективность применения двусторонних солнечных панелей в сельскохозяйственных угодьях и на открытых территориях с высокой отражающей способностью поверхности, что позволяет повысить общий выход энергии и эффективность эксплуатации таких систем. Полученные результаты открывают возможности для дальнейших научных, технических и проектных исследований, направленных на оптимизацию применения двусторонних ФЭ модулей в различных реальных условиях.

References:

1. A. Mirzaalimov, J. Gulomov, R. Aliev, N. Mirzaalimov, and S. Aliev, "A study of silicon p-n structures with mono-and multifacial photosensitive surfaces," *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, vol. 22, no. 1, pp. 25–32, 2022, doi: 10.17586/2226-1494-2022-22-1-25-32.
2. Fabio Ricco Galluzzo, Luca Zumbo, Gianluca Acciari Experimental Investigation and Characterization of Innovative Bifacial Silicon Solar Cells. // *International journal of renewable energy research*. F. R. Galluzzo et al., Vol.9, No.4, December, 2019. 1995-2002.
3. Claudia Duran Bifacial Solar Cells: High Efficiency Design, Characterization, Modules and Applications. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades des Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat). 2012. -130 p.
4. Zakaria Ait lahouari Innovative designs and performance optimization of bifacial photovoltaic silicon solar panels. Al Akhawayn University. School of science and engineering. Capstone Design. Spring 2018. -69 p.
5. Komilov M. Khonbutaeva D.A. Kakhramonova Sh.Sh. Mirzaalimov A.A. Mirzaalimov N.A. STUDY OF THE DEPENDENCE OF THE BASE THICKNESS OF A DUAL-SIDED SENSITIVE SOLAR CELL ON THE IMPURITY CONCENTRATION // *Universum: технические науки*. 2023. 12(117). DOI - 10.32743/UniTech.2023.117.12.16568.