

УДК 621.311:620.92
DOI: 10.36979/1694-500X-2024-24-4-89-94

МАКСИМИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУСТОРОННИХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ

Р.А. Мамбетказиев, А.А. Канатбеков, О.Г. Гудкова

Аннотация. Фотоэлектрические станции на основе солнечных батарей становятся все более распространенным решением для производства чистой энергии. Одним из ключевых аспектов эффективности солнечных электростанций является увеличение выходной мощности при меньших затратах на установку и эксплуатацию. В этой связи двусторонние фотоэлектрические модули представляют собой перспективное направление развития. Они позволяют эффективно использовать солнечное излучение как на лицевой, так и на обратной стороне модуля, что способствует увеличению выходной мощности и повышению общей производительности фотоэлектрической станции.

Ключевые слова: фотоэлектрические станции; двусторонние модули; солнечная энергия; эффективность; производство энергии; возобновляемые источники энергии.

ЭКИ ТАРАПТУУ ФОТОЭЛЕКТРИК МОДУЛДАРДЫ КОЛДОНУУ МЕНЕН ФОТОЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫНЫН НАТЫЙЖАЛУУЛУГУН ЖОГОРУЛАТУУ

Р.А. Мамбетказиев, А.А. Канатбеков, О.Г. Гудкова

Аннотация. Күн батареяларына негизделген фотоэлектр станциялары таза энергияны өндүрүү үчүн барган сайын кеңири таралган чечим болуп калды. Күн электр станциясынын натыйжалуулугунун негизги аспектилеринин бири болуп монтаждоо жана эксплуатациялоо боюнча чыгымдарды азайтуу менен электр энергиясын өндүрүүнү көбөйтүү эсептелет. Буга байланыштуу эки тараптуу фотоэлектрдик модулдар өнүгүүнүн келечектүү багытын билдирет. Алар модулдун алдыңкы жана арткы тарабында күн радиациясын натыйжалуу пайдаланууга мүмкүндүк берет, бул чыгаруу кубаттуулугун жогорулатууга жана фотоэлектр станциясынын жалпы иштөөсүн жакшыртууга өбөлгө түзөт.

Түйүндүү сөздөр: фотоэлектр станциялары; эки тараптуу модулдар; күн энергиясы; натыйжалуулук; энергия өндүрүү; кайра жаралуучу энергия булактары.

MAXIMIZING THE EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS USING DOUBLE-SIDED PHOTOVOLTAIC MODULES

R.A. Mambetkaziev, A.A. Kanatbekov, O.G. Gudkova

Abstract: Photovoltaic power plants based on solar panels are becoming an increasingly common solution for the production of clean energy. One of the key aspects of the efficiency of solar power plants is increased power output at lower installation and operating costs. In this context, double-sided PV modules represent a promising development direction. They allow the efficient utilization of solar radiation on both the front and the back side of the module, which contributes to increasing the power output and improving the overall performance of the PV plant.

Keywords: photovoltaic power plants; double-sided modules; solar energy; power engineering; energy production; renewable energy sources.

В настоящее время солнечная энергия становится все более привлекательным источником возобновляемой энергии. Однако односторонние фотоэлектрические модули имеют определенные ограничения в эффективности, так как они могут преобразовывать только солнечное излучение, падающее на их лицевую сторону [1]. В связи с этим, возникает интерес к двусторонним фотоэлектрическим модулям, способным использовать солнечное излучение с обеих сторон, что может значительно повысить эффективность солнечных станций.

Фотоэлектрические станции играют ключевую роль в производстве чистой энергии, превращая солнечный свет в электрическую энергию. Однако поиск новых способов повышения эффективности этих станций все еще остается актуальной задачей. Один из подходов к увеличению производства энергии заключается в использовании двусторонних фотоэлектрических модулей, которые способны захватывать солнечный свет не только сверху, но и снизу.

Что такое двусторонние фотоэлектрические модули?

Двусторонние фотоэлектрические модули представляют собой инновационную технологию, которая может принести значительные преимущества в производстве солнечной энергии. Традиционные фотоэлектрические панели захватывают солнечный свет только с одной стороны, обычно сверху [2]. В отличие от них, двусторонние модули могут захватывать свет и с верхней, и с нижней сторон, что повышает их эффективность в условиях различных освещенных поверхностей.

Принцип работы двусторонних фотоэлектрических модулей основан на использовании отраженного солнечного излучения с поверхности, обращенной к земле или другим объектам. Это позволяет увеличить количество поглощаемой энергии и, следовательно, увеличить выходную мощность фотоэлектрической системы [3]. В таблице 1 приведены сравнительные характеристики солнечных панелей.

Математически принцип работы может быть представлен следующей формулой:

$$P_{total} = P_{front} + P_{back} \quad P_{total} = P_{front} + P_{back} \quad (1)$$

где P_{total} – общая выходная мощность фотоэлектрической станции; P_{front} – выходная мощность, полученная из лицевой стороны модуля; P_{back} – выходная мощность, полученная из обратной стороны модуля.

Производство двусторонних фотоэлектрических модулей включает в себя использование специальных технологий, которые позволяют создавать многослойные структуры с фотоэлектрическим

Таблица 1 – Сравнительные характеристики солнечных панелей

Особенности	Односторонняя солнечная панель	Двусторонняя солнечная панель
Структура солнечных батарей	С непрозрачной задней панелью	Со светоотражающей задней панелью или двойным остеклением
Воздействие солнечных батарей	Только лицевая сторона	И спереди, и сзади
Энергоснабжение	Относительно низкий, обычно меньше, чем у двухпанельных	Относительно высокий, обычно на 5–30 % больше, чем для одной панели
Внешний вид	Металлические сетки в рамке	Обычно безрамочный, без металлической сетки, более эстетичный
Применимые сценарии	Для обычных солнечных систем	Подходит для применений, требующих более высокой эффективности выработки электроэнергии, таких как наземный монтаж, солнечные гаражи и т. д.
Целостность конструкции	Относительно низкий, каркас может повлиять на прочность конструкции	Относительно высокая, отсутствие рамы делает конструкцию более прочной

материалом, способным принимать солнечное излучение с обеих сторон [4]. Примерами технологий производства могут служить гетероструктуры, тандемные солнечные элементы и т. д.

Преимущества двусторонних модулей:

- Увеличение выходной мощности. Захватывая солнечный свет с двух сторон, эти модули могут генерировать больше энергии на единицу площади, что повышает общую эффективность фотоэлектрических станций.
- Улучшенная производительность в условиях низкого освещения. Двусторонние модули могут эффективно работать даже при недостаточном освещении или в условиях диффузного света, что делает их более эффективными в различных климатических условиях и в разное время суток.
- Уменьшение затрат на установку. Благодаря повышенной производительности, двусторонние модули позволяют уменьшить количество требуемых панелей для достижения определенной выходной мощности, что сокращает затраты на установку и эксплуатацию фотоэлектрических станций.

Преимущества использования двусторонних модулей. Размещение и ориентация модулей фотоэлектрических систем играют ключевую роль в их эффективности. Оптимальное размещение модулей позволяет максимально использовать солнечное излучение и повышает общую энергетическую производительность системы (рисунок 1). Для достижения оптимальных результатов следует учитывать несколько факторов:

- Оптимальный угол наклона: угол наклона модулей должен быть настроен таким образом, чтобы максимально использовать солнечное излучение в течение дня и в разных сезонах года. Оптимальный угол наклона зависит от географического положения установки и времени года.
- Ориентация модулей: модули должны быть ориентированы таким образом, чтобы получать максимальное солнечное излучение. В большинстве случаев оптимальное направление – на юг в северном полушарии и на север – в южном полушарии.
- Учет тени: необходимо избегать теневых участков на поверхности модулей, так как они могут значительно снизить эффективность работы системы. Размещение модулей следует планировать таким образом, чтобы минимизировать возможность попадания тени от близлежащих объектов.
- Пространственное размещение: расположение модулей относительно друг друга также имеет значение. Они должны быть размещены с учетом оптимального использования доступной площади и минимизации взаимных теневых затенений.
- Трекинг: для повышения эффективности системы можно использовать механизмы трекинга, которые позволяют модулям поворачиваться в направлении Солнца в течение дня, что увеличивает получение солнечного излучения.



Рисунок 1 – Общий вид двусторонних солнечных панелей

Оптимизация размещения и ориентации модулей является важным аспектом проектирования фотоэлектрических систем и может значительно повысить их производительность и эффективность [5].

Требования к инфраструктуре для установки двусторонних фотоэлектрических модулей могут варьироваться в зависимости от конкретных условий и места размещения. Однако существуют некоторые общие аспекты, которые следует учитывать:

- **Надежное крепление и поддержка:** инфраструктура должна обеспечивать надежное крепление и поддержку для установки двусторонних модулей. Это может включать в себя стойки, крепления к крышам зданий или другие монтажные конструкции.
- **Подходящая ориентация и угол наклона:** для максимальной эффективности солнечной генерации модули должны быть ориентированы таким образом, чтобы получать солнечное излучение как с верхней, так и с нижней стороны. Это может потребовать определенного угла наклона и правильной ориентации модулей на юг или на запад, в зависимости от географического положения.
- **Электрическая инфраструктура:** для подключения фотоэлектрических модулей к электрической сети требуется соответствующая электрическая инфраструктура, включая провода, реле, предохранители и другие компоненты. Это также может включать в себя необходимость установки инверторов или других устройств для преобразования постоянного тока, генерируемого модулями, в переменный ток, используемый в электрической сети.
- **Безопасность:** инфраструктура должна соответствовать нормам и стандартам безопасности, чтобы минимизировать риски для окружающих и обеспечить безопасную эксплуатацию и обслуживание фотоэлектрических модулей.
- **Доступность для обслуживания:** инфраструктура должна обеспечивать легкий доступ для обслуживания и регулярного технического обслуживания модулей, включая возможность проведения инспекций, ремонта и замены компонентов.

Таким образом, перед установкой двусторонних фотоэлектрических модулей для обеспечения их эффективной и безопасной работы необходимо провести тщательное проектирование и подготовку инфраструктуры с учетом перечисленных выше требований.

Размещение и ориентация фотоэлектрических модулей играют важную роль в оптимизации эффективности их работы. Важно правильно выбирать местоположение и угол наклона модулей, чтобы максимально использовать солнечную энергию в зависимости от климатических условий и географического положения [6]. Для обеспечения оптимальной производительности фотоэлектрических модулей, они должны быть установлены таким образом, чтобы максимально использовать солнечное излучение в течение дня.

В общем случае, наилучшим положением для установки модулей является ориентация на юг в северном полушарии и на север – в южном полушарии. При этом угол наклона модулей должен быть приблизительно равен географической широте места установки для максимального улавливания солнечного излучения в течение года. Однако существует несколько факторов, которые могут повлиять на оптимальное размещение и ориентацию модулей:

- **Тени.** Необходимо избегать теней от окружающих объектов, таких как здания, деревья или соседние модули, поскольку они могут значительно снизить производительность модулей.
- **Климатические условия.** В зависимости от климатических условий рекомендуется регулировать угол наклона модулей для оптимизации получения солнечной энергии. Например, в регионах с высокими широтами, где Солнце находится на небольшой высоте над горизонтом, угол наклона модулей может быть увеличен.
- **Сезонные изменения.** Для максимальной эффективности можно регулировать угол наклона модулей в зависимости от времени года, чтобы учесть сезонные изменения в угле падения солнечного излучения.

- *Инженерные ограничения.* Необходимо учитывать инженерные ограничения при установке модулей, такие как прочность крепления, обеспечение вентиляции для охлаждения модулей и доступ для обслуживания и ремонта устройства.

Таким образом, правильное размещение и ориентация фотоэлектрических модулей позволяют максимально использовать потенциал солнечной энергии и обеспечить оптимальную производительность системы.

Экономическая целесообразность внедрения двусторонних фотоэлектрических модулей зависит от нескольких факторов, включая стоимость производства, установки и обслуживания, а также потенциальную выгоду от увеличенной генерации электроэнергии.

Одним из ключевых преимуществ двусторонних модулей является их способность генерировать энергию с обеих сторон, что позволяет увеличить выходную мощность с одной установки. Это может существенно снизить затраты на установку солнечных электростанций на площадях с ограниченным пространством.

Важным фактором является сравнение стоимости двусторонних модулей с традиционными односторонними модулями. Хотя изготовление двусторонних модулей может быть дороже из-за необходимости использования специальных материалов и технологий, потенциальная дополнительная генерация электроэнергии может компенсировать эти дополнительные затраты.

Дополнительно следует учитывать экономические выгоды, связанные с увеличением энергетической эффективности и длительности службы двусторонних модулей. Более высокая производительность может сократить время окупаемости инвестиций и увеличить общую прибыльность проекта.

Важно также учитывать финансовые стимулы, такие как налоговые льготы, субсидии и государственные программы поддержки возобновляемой энергетики, которые могут значительно улучшить экономическую целесообразность внедрения двусторонних фотоэлектрических модулей.

Таким образом, экономическая целесообразность внедрения двусторонних фотоэлектрических модулей может быть обоснована при условии тщательного анализа всех затрат и потенциальных выгод, а также при наличии поддержки государственных программ и инвестиционного климата, способствующего развитию солнечной энергетики.

Перспективы использования:

1. Внедрение двусторонних фотоэлектрических модулей может стать ключевым шагом к повышению эффективности солнечных электростанций. Эта технология обладает большим потенциалом для применения как в крупных коммерческих станциях, так и в небольших домашних системах.

2. Однако для полного раскрытия преимуществ двусторонних модулей необходимо проведение дальнейших исследований, направленных на оптимизацию их производства, улучшение долговечности и снижение затрат. Также важно разработать стандарты и регулирование, которые обеспечат безопасность и эффективность использования этой технологии.

Выводы и перспективы. В данной статье был представлен обзор двусторонних фотоэлектрических модулей, принцип их работы, технологии производства, преимущества перед односторонними модулями, практические аспекты внедрения, а также экономическая целесообразность использования данной технологии.

Было установлено, что двусторонние фотоэлектрические модули обладают значительным потенциалом для увеличения эффективности солнечных электростанций, особенно на площадках с ограниченным пространством. Они позволяют генерировать электроэнергию с обеих сторон модуля, что увеличивает общий выходной поток энергии.

Более того, экономический анализ показал, что внедрение двусторонних модулей может быть экономически целесообразным благодаря увеличению генерации электроэнергии и снижению стоимости установки на единицу производимой энергии.

Перспективы развития и дальнейшие направления исследований. Дальнейшие исследования могут быть направлены на улучшение технологии производства двусторонних фотоэлектрических модулей с целью снижения их стоимости и повышения эффективности.

Также важно продолжить исследования в области практических аспектов внедрения, таких как требования к инфраструктуре, размещение и ориентация модулей, а также адаптация технологии к различным климатическим условиям.

В перспективе, развитие двусторонних фотоэлектрических модулей может способствовать более широкому использованию солнечной энергии и увеличению ее доли в общем энергетическом балансе, что в свою очередь будет способствовать сокращению выбросов парниковых газов и более устойчивому развитию энергетического сектора.

Поступила: 18.03.24; рецензирована: 01.04.24; принята: 03.04.24.

Литература

1. *Александров В.В.* Исследование эффективности двусторонних фотоэлектрических модулей в условиях России / В.В. Александров, В.М. Буров, Е.В. Макарова // Вестник Росс. ун-та дружбы народов. Серия: Технические науки. 2019. № 19(4). С. 502–509.
2. *Баев С.А.* Оценка эффективности применения двусторонних фотоэлектрических модулей в климатических условиях России / С.А. Баев, Д.А. Голиков // Известия Волгоградского гос. техн. ун-та. 2020. № 21(2). С. 57–64.
3. *Воронцов А.А.* Исследование эффективности двусторонних фотоэлектрических модулей в условиях российского климата / А.А. Воронцов, Л.А. Гришина, И.В. Слепова // Электротехника и электротехнология. 2018. № 23(6). С. 18–23.
4. *Максименко Е.В.* Применение двусторонних фотоэлектрических модулей в солнечной энергетике / Е.В. Максименко, В.М. Петров, Е.А. Степанова // Технические науки: от теории к практике. 2017. № 6(24). С. 60–64.
5. *Семенов А.С.* Оценка экономической эффективности двусторонних фотоэлектрических модулей на примере российских условий / А.С. Семенов, Р.А. Ильясов, О.В. Клименко // Энергосбережение и энергоэффективность. 2021. № 7(54). С. 24–30.
6. *Федоров В.П.* Анализ использования двусторонних фотоэлектрических модулей в солнечной энергетике России / В.П. Федоров, Т.С. Иванова, В.П. Куликов // Инженерные системы. 2019. № 26(3). С. 66–71.