

Ш. ВЭЙ, студентка гр. П-288 (ЮУрГУ (НИУ))
Научный руководитель И.М.КИРПИЧНИКОВА, д.т.н.,
профессор (ЮУрГУ (НИУ))
г. Челябинск

СРАВНЕНИЕ РАБОТЫ БИФАЦИАЛЬНЫХ И МОНОФАЦИАЛЬНЫХ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ЭНЕРГИИ

Развитие солнечной энергетики сопровождается появлением новых конструкций, технологий и способов монтажа солнечных энергоустановок. Основным типом фотоэлектрических модулей, которые применяются как в частных домохозяйствах, так и на крупных солнечных электростанциях, являются классические односторонние (монофациальные) модули. У таких модулей одна рабочая поверхность, покрытая защитным стеклом. Задняя сторона модуля обычно закрыта полимерным материалом. Солнечные элементы, из которых изготовлены модули, поглощают свет только с одной стороны, отражённый или рассеянный солнечный свет практически не используется.

В последнее время для повышения эффективности использования солнечного света начали применять двухсторонние (бифациальные) модули. Они имеют две рабочие поверхности: переднюю и заднюю, обе стороны защищены специальным прозрачным покрытием, чаще всего стеклом.

Благодаря двустороннему покрытию такие модули способны получать энергию солнца как непосредственно от прямого излучения, так и от отражённого света, попадающего на обратную сторону модуля. Эффективность их работы зависит от условий установки и окружающей среды, особенно важен белый грунт или снег, отражающие большое количество солнечного света.

И те и другие модули имеют свои особенности, преимущества и недостатки, показанные в таблице 1.

Выбор между этими двумя типами солнечных модулей определяется условиями эксплуатации, бюджетом проекта и ожидаемой производительностью системы. Для крупных промышленных объектов или районов с высоким уровнем отраженного света предпочтительны бифациальные модули. Однако для бытовых нужд или бюджетных проектов лучше подходят классические монофациальные решения.

Выработка электроэнергии W_1 односторонним модулем определяется по формуле:

$$W_1 = S_M \cdot E \cdot \eta \cdot T,$$

где S_M – рабочая площадь солнечного модуля, m^2 ; E – солнечная инсоляция, kWh/m^2 в день; η – эффективность преобразования солнечных лучей в электроэнергию; $T=365$ – количество дней в году.

Например, для площади модулей $20 m^2$, средней инсоляции $5 kWh/m^2$ в день и эффективности системы 15% (или $0,15$) выработка электроэнергии массивом модулей составит $5475 kWh$ в год.

При расчете выработки энергии бифациальными модулями учитывается общая площадь рабочей поверхности (передняя и задняя), а также альбедо (коэффициент отражения поверхности). Чем выше альбедо, тем больше дополнительной энергии может произвести тыльная сторона модуля.

Альбедо зависит от вида подстилающей поверхности, где установлен модуль. Например, чистый снег имеет высокое альбедо, светлый бетон или асфальт – среднее альбедо с хорошим отражением, тёмная почва, трава, грязь имеют низкое альбедо.

Чистый снег с альбедо до 90% дает значительный прирост выработки энергии зимой.

В идеальных условиях (высокое альбедо, оптимальный монтаж), прирост выработки может достигать $20\text{--}30\%$ и даже более. В реальных условиях средний прирост обычно составляет $5\text{--}20\%$ [2].

Бифациальные модули эффективны на открытых пространствах с высоким альбедо: поля, снежные районы, песчаные или каменистые поверхности, над светлыми крышами, водоёмами.

Таблица 1

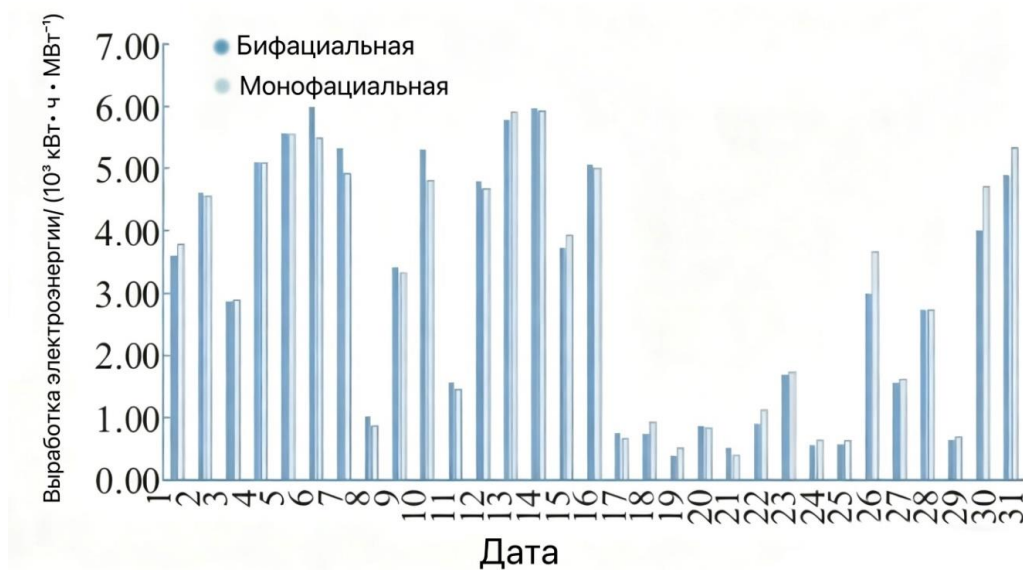
Преимущества и недостатки монофациальных (МФ) и бифациальных (БФ) фотоэлектрических модулей [1]

Вид	Преимущества	Недостатки
Монофациальные	Низкая стоимость производства, проверенная технология, широкая доступность	Меньшая эффективность использования солнечной энергии, ограниченность площади захвата излучения
Бифациальные	Повышенная производительность благодаря захвату света с двух сторон, увеличение выработки электроэнергии при правильном расположении панелей, устойчивость к внешним воздействиям	Высокая цена, необходимость учитывать условия монтажа (блики, отражение света, равномерность освещения обеих поверхностей)

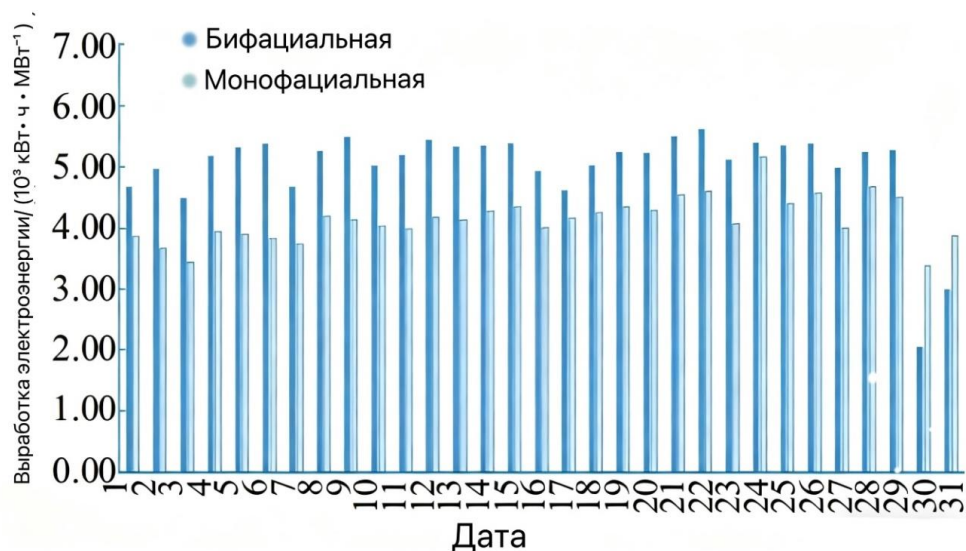
В работе проведено сравнение двух действующих солнечных электростанций, работающих в Китае. Эти две системы расположены в разных городах округа Юган, но их ежемесячные тенденции освещенности и температуры окружающей среды в основном совпадают. На одной СЭС установлены солнечные батареи из МФ модулей, на другой – БФ модули [3]. Фотоэлектрические модули на электростанциях ориентированы на юг и

наклонены к горизонту под углом 28° , что соответствует географической широте местности ($28^{\circ}41'44''$ с.ш).

Для данного округа январь и август — месяцы с самой низкой и самой высокой освещённостью в году соответственно. Эти два месяца, характеризующиеся зимним и летним периодами, являются типичными для сравнения. Суточная выработка электроэнергии двусторонними и односторонними фотоэлектрическими системами в январе и августе показана на рисунке 1.



(а) Январь



(б) Август

Рис. 1. Суточная выработка электроэнергии БФ и МФ фотоэлектрическими системами в январе (а) и августе (б)

На рисунке 1(а) показано, что выработка электроэнергии как двусторонними, так и односторонними фотоэлектрическими системами в январе была крайне нестабильной и характеризовалась значительными колебаниями. В середине-начале января суточная выработка электроэнергии фотоэлектрическими системами была высокой: БФ система достигла максимума в 5964 кВт·ч/МВт, а односторонняя, МФ — 5924 кВт·ч/МВт, что на 0,67% меньше, чем бифациальная. В данном случае кВт·ч/МВт означает количество выработанной энергии за время, выраженное в киловатт-часах (кВт·ч), по отношению к установленной мощности электростанции в мегаваттах (МВт).

В конце января суточная выработка электроэнергии обеими фотоэлектрическими системами была низкой, минимальная составила всего 392 кВт·ч/МВт. Что касается средней суточной выработки электроэнергии, то в январе БФ и МФ фотоэлектрические системы выработали 3019 кВт·ч/МВт и 3044 кВт·ч/МВт соответственно, то есть бифациальная система выработала на 0,82% меньше электроэнергии.

Это, в первую очередь, связано с более высокой средней солнечной радиацией в месте расположения односторонней фотоэлектрической системы, чем в месте расположения двусторонней фотоэлектрической системы. Обе фотоэлектрические системы пережили период в 0,5 месяца, когда их суточная выработка электроэнергии была ниже средней, особенно в конце января, когда она оставалась почти полностью ниже средней.

Рисунок 1(б) показывает, что из-за благоприятных погодных условий и более сильной солнечной радиации выработка электроэнергии обеими фотоэлектрическими системами оставалась относительно стабильной в августе. Бифациальная фотоэлектрическая система вырабатывала 5007 кВт·ч/МВт ежедневно, что превышало средний показатель в 70% случаев. Монофациальная фотоэлектрическая система поддерживала стабильную суточную выработку электроэнергии на уровне 4146 кВт·ч/МВт, что на 17,1% меньше, чем у бифациальной системы.

Таким образом, результаты исследования показали, что средняя энергетическая освещенность двух фотоэлектрических систем не превышала 200 Вт/м² в январе и превысила 500 Вт/м² в августе. Солнечное излучение оказывает значительное влияние на производительность бифациальной фотоэлектрической системы.

В январе суточная выработка бифациальной фотоэлектрической системы была аналогична суточной выработке монофациальной фотоэлектрической системы, максимальная разница составила 703 кВт·ч/МВт. Однако в августе выработка электроэнергии двумя фотоэлектрическими системами существенно различалась: максимальная суточная выработка БФ фотоэлектрической системы превысила выработку МФ на 1555 кВт·ч/МВт.

Таким образом, проведенные сравнения показали, что бифациальная фотоэлектрическая система дает значительный прирост в выработке электрической энергии при одинаковых условиях эксплуатации.

Список литературы:

1. Aydan, Garrod, Aritra, Ghosh. A review of bifacial solar photovoltaic applications, November 2023. – Frontiers in Energy 17(6):1-23. DOI: 10.1007/s11708-023-0903-7.
2. О двусторонних (бифациальных) солнечных модулях. – URL: <https://sunriselab.ru/articles/entsiklopediya-ses/o-dvustoronnikh-bifatsialnykh-solnechnykh-modulyakh/> (дата обращения: 15.10.2025).
3. Li, Y., Zhao, X., Zhang ,H. Performance comparison between bifacial and monofacial PV modules under different environmental conditions. // Solar Energy Materials & Solar Cells, 2023. – Vol. 238. – Article ID 111684.

Информация об авторах:

Вэй Шуянь, студентка гр. П-288, ЮУрГУ (НИУ), 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, д. 76, weishuyan45@gmail.com

Кирпичникова Ирина Михайловна, д.т.н., профессор, ЮУрГУ (НИУ), 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, д. 76, kirpichnikovaim@susu.ru