ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВУСТОРОННИХ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ КАЗАХСТАНА

Куатова Анар Сталовна
Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан г. Астана
E-mail: anarkuatova2019@dmail.com
Мехтиев Али Джаваншрович
Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Республика Казахстан, г. Караганда
E-mail: barton.kz@mail.ru
Шукуралиев Аброр Шукурали ўғли
Андижанский государственный технический институт, Республика Узбекистан, г. Андижан
E-mail: abrorbekshukuraliyev7@gmail.com
Комилжонов Мухаммадюсуф Тўлқин ўғли
Андижанский государственный технический институт, Республика Узбекистан, г. Андижан
E-mail: mkomiljonovedu@gmail.com

Аннотация. Интерес к двусторонней фотоэлектрической технологии возрос за последние годы из-за ее потенциальной способности получение более высокой эффективности по сравнению с традиционными односторонними модулями. Таким образом, цель данной работы состоит в том, чтобы представить экспериментальное исследование эффективности двусторонних солнечных модулей.

Ключевые слова: солнечные панели, эффективность, солнечные модули, энергетическая система, двусторонняя солнечная панель.

Annotatsiya. So‘nggi yillarda ikki tomonlama fotovoltaik texnologiyaga qiziqish anэanaviy bir tomonlama modullarga qaraganda yuqori samaradorlikka erishish salohiyati tufayli ortdi. Shuning uchun, ushbu maqolaning maqsadi ikki tomonlama quyosh modullarining samaradorligini eksperimental o‘rganishni taqdim etishdir.

Kalit so‘zlar: quyosh panellari, samaradorlik, quyosh modullari, energetik tizim, ikki tomonlik quyosh paneli.

Abstract. Interest in bifacial photovoltaic technology has increased in recent years due to its potential to achieve higher efficiencies than traditional single-facing modules. Therefore, the objective of this paper is to present an experimental study of the efficiency of bifacial solar modules.

ISSN 3030-3907

Keywords: solar panels, efficiency, solar modules, energy system, bifacial solar panel.

ВВЕДЕНИЕ.

Солнечные энергетические системы с двусторонними (двусторонними) солнечными панелями, которые собирают солнечный свет с двух сторон вместо одной, являются наиболее экономически эффективными на сегодняшний день.

Двусторонние панели могут захватывать солнечный свет не только с их солнечных сторон, но и свет, отраженный от земли на нижней стороне. Глобальная система позиционирования одновременно позволила бы им наклоняться вокруг оси, чтобы всегда быть направленными под оптимальным углом, чтобы поймать солнечные лучи.

Одним из самых больших преимуществ двусторонних солнечных панелей является их эффективность. Согласно исследованиям, проведенным как LONGi (двусторонний производитель солнечных панелей), так и Национальной лабораторией возобновляемых источников энергии, двусторонние солнечные панели могут производить до 27% больше энергии, чем традиционные солнечные панели.

Одним из хороших примеров использования двусторонних модулей для производства электрической энергии является проект в Японском городе Асахикава [3], это самый холодный город страны, здесь отмечена самая низкая температура в стране — минус 41°С, при это толщина снежного покрова около 70 см, это даже больше, чем среднее значение в Казахстане, при это снег тает дольше, чем в других регионах страны. Мощностью электростанции 1,25 мВт. В принципе погодные условия схожи по своей суровости, что позволяет учитывать данный опыт в своей работе. Есть схожая проблема, связанная с выпадением снега на поверхность солнечного модуля, при его работе, даже в сильный мороз, температура повышается на 20 – 30^0 С, что обеспечивает таянье снега, но если снег покрывает больше половины площади модуля, то ее поверхность остывает и она перестает работать. В данном случае требуется очистка поверхности от снега. Солнечные батареи располагаются на высоте 1,8-2 метра над землей с углом наклона равным 40° относительно земли. Скопившейся снег убирается специальной техникой. В летнее время для увеличения эффективности панелей грунт под ними выстилают белым материалом, который увеличивает процент отраженных солнечных лучей. Все эти обстоятельства мы учли в своей работе при проведении исследований.

ISSN 3030-3907

ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ И НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. У двухсторонних модулей есть одно важное преимущество, их можно располагать не под углом наклона к солнцу с учетом географической широты, а вертикально относительно земли под углом 90^0, при этом значительно снижается уровень загрязнения солнечных панелей снегом и пылью. Проведенные нами исследования в условиях зимы северной и центральной части Казахстана при значительном уровне снеговых осадков, данные панели остаются всегда практически чистыми, если они расположены вертикально и подняты на высоту 0,7 – 1 метр. Средняя толщина снежного покрова 30 см в Казахстане, но в местах скопления и переметах, в различные годы, может достигать в высоту более метра. Тот же эффект достигается по отношению к оседанию пыли на их поверхностях. Наличие снегового покрова под солнечным модулем может поднять его эффективность на 1-2% в зависимости от его чистоты в месяца года. В летнее время поверхность земли с тыльной стороны окрашивалась белой краской для повышения эффективности отражения солнечных лучей на тыльную сторону панели. При наклонном расположении двусторонние панели работают мене эффективно в среднем до 30% в зависимости от расположения поверхностей отражения солнечных лучей.

Для проведения экспериментальные исследование эффективности двусторонних солнечных модулей в климатических условиях центрального Казахстана, нами была создана экспериментальная СЭС, расположенная на территории Карагандинского государственного политехнического университета (КарГТУ), для проведения исследований привлекались магистранты проходящие обучение по образовательной программе «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии». Конструктивно СЭС разделена на две независимые части и выполнена, так чтобы можно было испытывать любые солнечные модули путём их монтажа на металлический каркас. Наблюдения проводились в течении 2023 года непрерывно. Город Караганда [4] расположена в центральном Казахстане, с резко континентальным умеренным климатом, географическое положение: 49°48′ с. ш. 73°07′ в. д. Для экспериментов нами приобретены четыре монокристаллических солнечных модуля с двусторонней чувствительностью типа ФСМ-185Д (производитель России). Основные технические характеристики по данным производителя [2]. Производитель гарантирует сохранение 90% от номинальной мощности – в течение 10 лет, сохранение 80 % от номинальной мощности – в течение 25 лет. Эффективность преобразования солнечного излучения на лицевой стороне такого

ISSN 3030-3907

фотоэлемента на несколько процентов выше, чем на тыльной стороне и достигает значения 19%. Эффективность фотоэлемента с тыльной стороны – 14-15%. С тыльной стороны СЭС на земле нанесена светоотражающая краска белого цвета.

Таблица-1

Технические характеристики ФСМ-185Д

Параметры	Лицевая сторона модуля	Тыльная сторона модуля
Мощность Pmax , Вт	186	102
Оптимальное рабочее напряжение (Vmp), В	34,0±2,5	
Оптимальный рабочий ток (Imp), А	5,47	2,48
Ток короткого замыкания, А	5,6	2,65
Напряжение холост. хода, В	43,8	
Коммутационное напряжение, В	24	
КПД	18%	
Габаритные размеры, мм	1568 x 808 x 43	
Масса, кг	17,0	

KZ PV 270 M72

Мощность Pmax , Вт	280
Оптимальное рабочее напряжение (Vmp), В	35.4
Коммутационное напряжение, В	24В
Оптимальный рабочий ток (Imp), А	7.9
Ток короткого замыкания, А	8.2 А
Напряжение холост. хода, В	44.2 В
КПД	16%
Габаритные размеры, мм	1649x992x40 мм
Масса, кг	28 кг

ISSN 3030-3907



Рисунок-1. Внешний вид солнечно электростанции с двусторонними модулями ФСМ-185Д

СЭС состоит из четыре фотоэлектрических модуля типа KZ PV 270 M72 и четыре фотоэлектрических модуля типа солнечных модуля ФСМ-185Д. Угол наклона составляет 50^0 относительно земли и равен углу географической широты местности. Поворотная система не использовалась, ориентация солнечных панелей выполнена на Юг, фиксированная установка позволит оценить эффективность панелей без системы слежения за перемещением за солнцем. ФСМ-185Д меньше по мощности KZ PV 270 M72 в 1,45 раз по сравнению лицевой стороны, но двусторонняя панель, способна вырабатывать электроэнергию тыльной стороной, поэтому проверим на практике, как это работает.

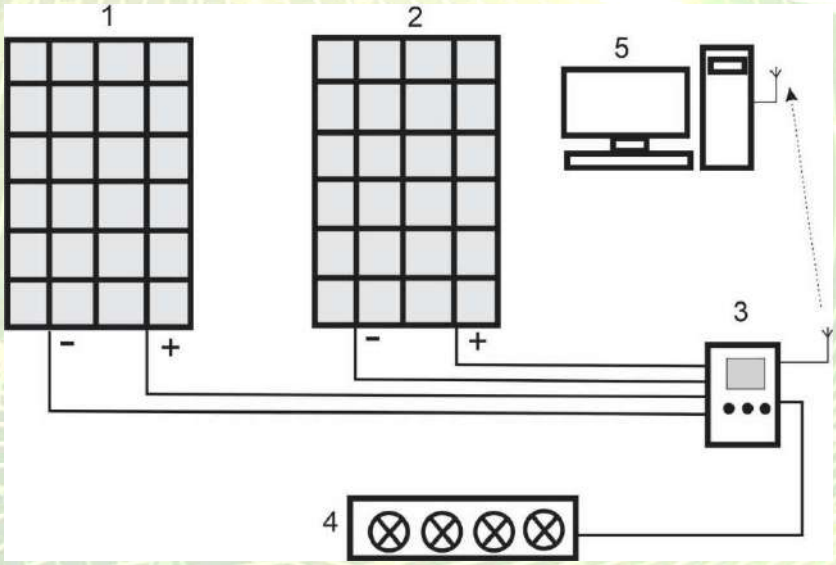


Рисунок-2. Условная схема электрических соединений солнечных модулей

ISSN 3030-3907

Сравнение производилось с солнечно электростанцией без системы ориентации с четырём фотоэлектрическими модулями типа KZ PV 270 M72 производства компании «Astana Solar». Основные технические данные: установленная мощность 270 Ватт; номинальное напряжение 24 В; номинальный ток 7,5 А; тип кремниевых пластин - поликристаллические 6'' (156x156 мм), количество - 6 колонн по 12 ячеек; габаритные размеры 1,967x992x40 мм, допустимое отклонение -0/+5W; КПД от 16%.

Для присоединения солнечных модулей использовался стандартный провод для постоянного тока 24 В. Для имитации электрической нагрузки на СЭС мы использовали лампы накаливания. Использовалась многоканальная система учета параметров электроэнергии постоянного тока. Схема СЭС нами была упрощена, не имеет инвертора, контролера заряда и аккумуляторов. Основной целью исследований было оценка эффективности двух разных типов модулей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Полученные результаты исследований представлены на рисунке 3 – 5. Проведен статистический анализ информации с оценкой параметров распределения и критериями для обработки результатов научного эксперимента. Выполнен корреляционный и регрессионный анализ. При обработке данных использовался «Метод наименьших квадратов» (расчёт коэффициентов). Описательная статистика и математические методы выполнены с использованием электронных таблиц MS Excel. Нами была разработанная компьютерная модель имитирующая СЭС модель четыре фотоэлектрических модуля типа KZ PV 270 M72 и четыре фотоэлектрических модуля типа солнечных модуля ФСМ-185Д, при помощи которой мы получили теоретические усреднённые значения количества произведенной энергии, кВтч/сутки, а фактические значения получили путем реальных измерений параметров СЭС в течении года. Можно отметить, что анализируя полученные значения, на лицо разница в полученных данных, но это объясняется не точностью созданной нами математической модели, в которой трудно учесть ряд внешних факторов влияющих на выработку электрической энергии, например солнечную активность, загрязнение солнечно батареи, прозрачность атмосферы, отражение солнечных луче от снегового покрова, количество солнечных дне в году и многое другое. Количество выработанной энергии СЭС по итогам 2024 года получилась на 12 % больше у блока с четырём солнечными модулями KZ PV 270 M72 по сравнению с ФСМ-185Д (рисунок 5).

ISSN 3030-3907

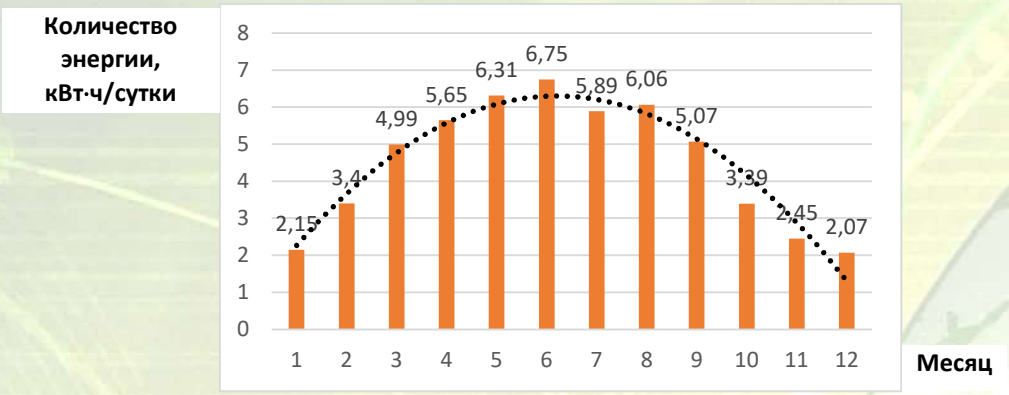


Рисунок-3. Среднее значение кВт·ч/сутки по месяцам для четырёх солнечных модулей KZ PV 270 M72

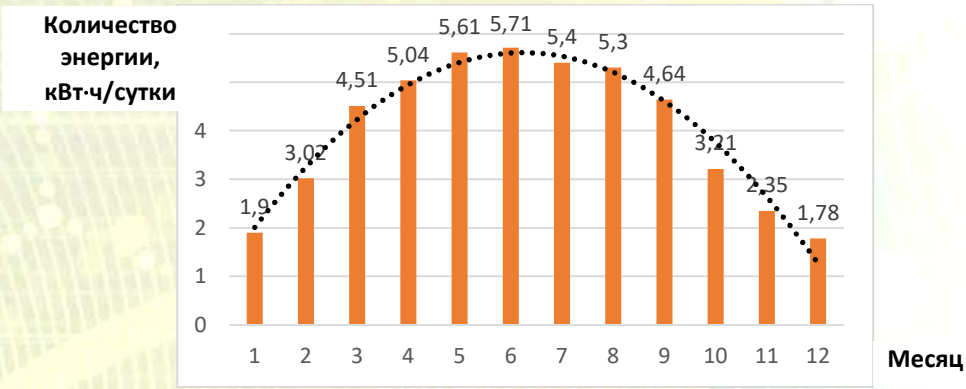
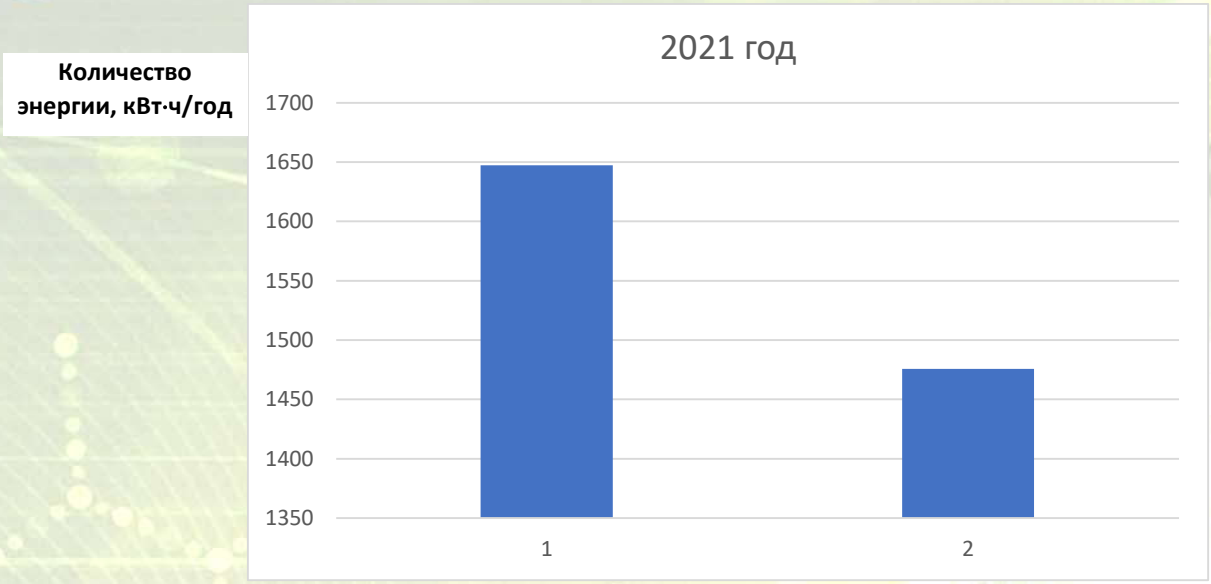


Рисунок-4. Среднее значение кВт·ч/сутки по месяцам для четырёх солнечных модулей ФСМ-185Д

ОБСУЖДЕНИЕ. Солнечные модули произвели примерно ФСМ-185Д на 30 % больше энергии чем односторонние панели мощностью 185 Ватт, с смогли оказать достойную конкуренцию панелям в 1,45 раз превышающих их по мощности лицевой стороны. Наш угол установки в 50^0 обеспечил прирост мощности около 30%, но если использовать угол установки 90^0 в полнее вероятно, можно сказать, опираясь на предварительные исследования, что можно выйти на 50-60% прибавки мощности.

ISSN 3030-3907



1-KZ PV 270 M72; 2- ФСМ-185Д

Рисунок 5 – Количество произведенной энергии СЭС за 2024 год с учетом разделения на односторонние и двусторонние части

По результатам исследования за 2024 год, можно сделать выводы, что использование двусторонние модули лучше адаптированы к условиям центрального Казахстана. В данный год было более 138 солнечных дней, что сыграло положительную роль в общем объеме произведенной энергии. Рекомендована производителем температура при их эксплуатации 25^0 С, поэтому мы произвели замеры температуры поверхности пи соответствующе температуре окружаю стенды в солнечны день апреля 2024 года, при этом поверхность солнечных двусторонних модулей нагрелась до 50^0 С, а односторонних до 60^0 С, по итогам наблюдений за 2024 разница в температуре нагрева поверхности достигала от 8 до 11^0 С в зависимости от месяца года, двусторонние солнечные модули подвержены меньшему нагреву и лучше охлаждаются, что позволит им сохранить свою производительность в пределах 5- 6 % в отличии от односторонних а это дополнительные проценты выработанной энергии. Установлена зависимость, что повышение температуры на 1 ºС от 25 ºС приводит к снижению мощности солнечной панели примерно на 0,5%. При нагреве солнечный модуль теряет часть своей мощности, например, KZ PV 270 M72 теряет при нагреве до 60^0 С, теряет примерно до 40 Вт от своей общей мощности, а ФСМ-185Д теряет до 30 Вт.

ВЫВОДЫ. На основание выше сказанного, можно сделать следующий вывод, что использование двусторонних солнечных модулей на территории Казахстана является весьма перспективным, а при тенденции снижение цены, может стать решающим фактором к их повсеместному использованию.

ISSN 3030-3907

Использование двусторонних солнечных модулей позволит отказаться от систем ориентации и сократить расходы на металлическую конструкцию основания, где размещаются модули. Двусторонние модули рекомендована использовать при углах установки от 30 – 90º, причем наиболее выгодный угол их установки является 90º. Это решает ряд проблем с выпадением и скоплением на поверхности модуля пыли и снега. Двусторонние модули испытаны в условиях центрального Казахстана и показали лучшие показатели снятия мощности с 1 м^2 площади модуля, при этом меньше нагреваются, что тоже является положительным фактором.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. http://gws-energy.ru/solnechnye-batarei/polikristallicheskie-solnechnye-batarei/yingli-solar-yl325p-35b-detail
2. http://www.solarroof.ru/products/51/116/
3. http://www.topclimat.ru/news/field/dvustoronnie_solnechnye_paneli_elektrichestvo_iz_snega.html
4. https://ru.wikipedia.org/wiki
5. http://miraes.ru/aes-mira-top-10-stran-po-kolichestvu-yadernyih-reaktorov/
6. http://astanasolar.kz/ru/proizvodimaya-produkciya
7. Fabio Ricco Galluzzo1, Luca Zumbo1, 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
8. Hui Deng, Quanzhen Sun, Zhiyuan Yang, Wangyang Li1 « Novel symmetrical bifacial flexible CZTSSe thin film solar cells for indoor photovoltaic applications» /NATURE COMMUNICATIONS, 2021, 12:3107 https://doi.org/10.1038/s41467-021-23343-1
9. Кувшинов В.В., Бекировт Э.А., Гусева Е.В. «ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ С ДВУХСТОРОННЕЙ ПРИЁМНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЛЯ УСТАНОВОК МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ», Строительство и техногенная безопасность №20 (72) - 2021

ISSN 3030-3907