

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ПАНЕЛИ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ И СЛЕЖЕНИЕ ЗА НАПРАВЛЕНИЕМ МАКСИМАЛЬНОГО ПОТОКА СВЕТА

К.В. Селиванов

selivanov_kv@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Проанализированы состояние и возможные пути развития альтернативной энергетики. Описаны перспективы развития солнечных электростанций, классификация и области применения. Выявлены проблемы, возникающие при монтаже и эксплуатации солнечных панелей, обозначены причины, уменьшающие эффективность их работы. Проведен анализ способов увеличения эффективности электрогенерации солнечными панелями. Предложено решение для увеличения электрогенерации солнечными панелями за счет их автоматического позиционирования по отслеживаемому максимальному потоку света. Приведено новое устройство позиционирования панелей солнечных батарей, отличающееся от известных возможностью автоматической развертки и принципом позиционирования солнечных панелей по фактическому направлению максимального потока света. Устройство обеспечивает возможную автоматизацию установки и большую эффективность работы солнечных панелей. Новизна устройства защищена патентом. Для подтверждения эффективности и получения количественного значения увеличения электрогенерации солнечными панелями за счет применения разработанного устройства приведены методика сравнения и описание эксперимента. Показаны также принципиальная схема и внешний вид разработанного устройства. Результаты эксперимента обработаны и приведены в виде графика. Подтверждена возможность увеличения электрогенерации солнечными панелями за счет отслеживания максимального потока света и переориентации в его сторону солнечной панели в течение дня, получено количественное значение увеличения электрогенерации.

Ключевые слова

Микроконтроллер, возобновляемые источники энергии, солнечная панель, слежение и автоматическое позиционирование

На основании положительных результатов эксперимента описана возможность использования разработанного устройства для автоматизации процесса развертывания солнечных панелей автономным способом и исключения участия человека в данном процессе. Рассмотрены эксплуатация разработанного устройства на движущемся транспорте и другие способы его применения. Подведены итоги, сделаны выводы и определены возможные дальнейшие направления развития и использования предложенного метода повышения эффективности солнечных панелей и разработанного устройства для улучшения эксплуатационных показателей солнечных панелей

Поступила 16.04.2020

Принята 06.07.2020

© Автор(ы), 2021

Отдельные результаты получены при поддержке Минобрнауки России (проект № 0705-2020-0041)

Введение. Рост числа применяемых солнечных панелей (СП) и увеличение числа регионов, в которых они эксплуатируются, значительно увеличило долю генерируемой ими электроэнергии в общем объеме электрогенерации. Для дальнейшего роста объемов электрогенерации СП необходимо не только внедрять новые солнечные станции, но и совершенствовать эксплуатационные характеристики и повышать эффективность их работы [1–5].

Существуют различные классы СП. Наиболее распространенными являются неподвижные СП, которые, будучи единожды установленными, проводят весь свой срок службы на одном месте и в неизменном положении. Другим классом можно назвать передвижные или мобильные СП. Мобильные СП входят в состав передвижных электростанций. Передвижные электростанции в течение срока службы меняют места своего географического расположения и адаптированы для многократной установки и демонтажа (свертка/развертка). Они эксплуатируются спасателями, геологоразведочными экспедициями, золотоискателями, военными, передвижными рабочими группами и всеми теми, кто нуждается в электроэнергии, но выполняет свои функции в отрыве от централизованных линий электропередач и центров автономного электроснабжения [1, 4–10].

Главная проблема, возникающая при использовании передвижных солнечных электростанций, — это установка и позиционирование СП по направлению к солнцу под оптимальным углом для обеспечения максимальной эффективности. В большинстве случаев на данный момент такая операция выполняется вручную. Ручная установка СП очень трудозатратная, а ориентация редко получается оптимальной и не обеспечива-

ет максимальную эффективность работы СП из-за ошибок при установке за счет неправильного выбора угла азимута и наклона СП. Стационарно стоящие СП в течение дня не обеспечивают максимальной эффективности работы солнечных батарей из-за невозможности переориентации СП в течение дня за движением Солнца [11, 12]. В некоторых случаях отдельно возникает необходимость автоматического позиционирования СП при установке, если невозможно участие оператора. Примером может служить автоматическое зондирование площадей метеозондами, которые сбрасываются с самолета. Автоматическая развертка СП данных зондов в сторону максимального солнечного потока света могла бы значительно увеличить эффективность генерации электроэнергии.

Проработке возможных решений, разработке устройства слежения и автоматического позиционирования панели солнечных батарей по направлению максимального потока света на микроконтроллере (МК) и его испытанию посвящена настоящая статья.

Материалы и методы решения задач, принятые допущения. Первым этапом работы по созданию устройства автоматического позиционирования панели солнечных батарей и слежения за направлением максимального потока света (в дальнейшем — трекер) были анализ и обобщение имеющегося опыта повышения эффективности эксплуатации СП [13, 14].

Основными источниками информации являлись научные статьи, сборники конференций по возобновляемым источникам энергии и интерактивные ресурсы. Задачей проведенного анализа было теоретическое обоснование возможности повышения эффективности работы СП путем изменения их позиционирования в процессе работы. Необходимость проведения анализа имеющегося опыта и новейших разработок вызвана высокой интенсивностью развития альтернативной энергетики. Развитие данной отрасли идет параллельно во многих странах на основании индивидуальных концепций, что не позволяет создать общую аксиоматическую базу по данному направлению. Поэтому дискретизация проведения анализа состояния отрасли должна быть достаточно частой и всеобъемлющей. По результатам анализа проведено обобщение, позволившее исключить специфические и частные решения в области повышения эффективности работы СП, а также выявить общий тренд способов повышения их эффективности и работоспособности [15].

Проблема исследования заключалась в необходимости подтверждения эффективности предложенного решения, а также потребности количественно определить размер увеличения эффективности электрогенерации СП при применении разработанного трекера.

Определить количество повышения эффективности работы СП, установленной на трактор методом моделирования, крайне затруднительно. Для построения достаточной модели процесса генерации электроэнергии СП, установленной на трактор, недостаточно входных данных из-за высокой степени новизны решения. Трудность построения модели увеличивается вследствие необходимости сопряжения моделей механического устройства, работы СП и параметров погоды (солнечность, облачность, температура окружающей среды и т. д.). Указанные обстоятельства делают создание модели работы СП на тракторе нецелесообразными и не позволяют рассчитывать на высокую степень достоверности результатов при ее использовании. Для получения достоверных данных о работе предлагаемого устройства и фактического повышения эффективности СП, установленной на тракторе, необходимо создать опытный образец устройства и провести эксперимент [16, 17].

Постановка эксперимента включала в себя три этапа. Первый этап — создание экспериментального образца предлагаемого устройства, второй — практическое испытание трактора с установленной СП одновременно с классической неподвижной СП, третий этап — обработка полученных результатов, их визуализация и подведение итогов.

Экспериментальный образец трактора разработан в МГТУ им. Н.Э. Баумана. После разработки и изготовления солнечного трактора в рамках эксперимента параллельным методом проведены практические испытания. Экспериментальный трактор с установленной СП и классическая (неподвижная) СП такой же мощности работали одновременно в течение светового дня. Одновременная работа позволила исключить разность входных параметров, которые могли бы внести погрешность в окончательный результат, и получить достоверные измерения. Основным определяемым параметром являлась вырабатываемая мощность СП. Измерения проводились одинаковым оборудованием. Результаты измерений обработаны, сопоставлены, формализованы и для наглядности приведены в качестве графика-сопоставления двух величин в различные промежутки времени.

Среди методов, используемых в настоящей работе, можно обозначить анализ имеющегося опыта использования СП, эксперимент, формализацию его результатов и синтез полученных результатов эксперимента с условиями проведения эксперимента.

Результаты. Солнечные панели необходимо устанавливать под оптимальным углом к падающим солнечным лучам для обеспечения их максимальной эффективности. Солнечные лучи по отношению к земной поверхности меняют свое направление в течение года. Это вызвано дви-

жением нашей планеты относительно Солнца. В течение года угол падения (склонения) солнечных лучей в нашей местности (Московская область) меняется от 38° в полдень зимой до 86° в полдень летом (рис. 1).

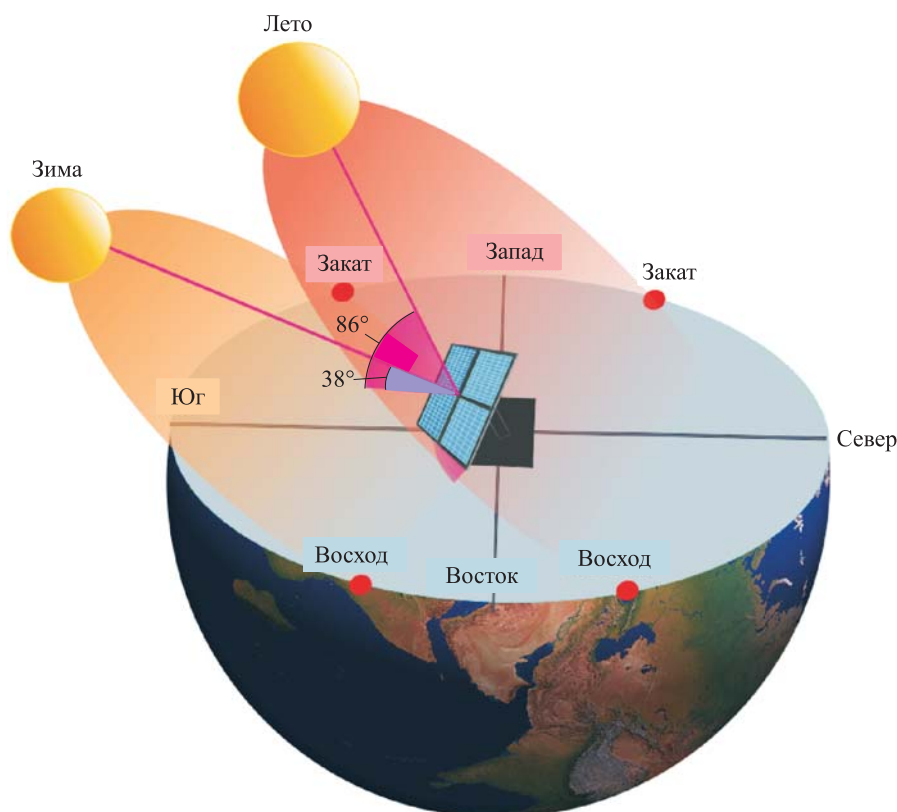


Рис. 1. Изменение угла падения (склонения) солнечных лучей

Угол падения солнечных лучей также изменяется в течение дня за счет перемещения Солнца по небосклону, что вызвано вращением Земли вокруг своей оси [18].

Солнце в течение светового дня проходит порядка 130° по азимуту.

Для компенсации изменения угла падения солнечных лучей и поддержания расположения СП под 90° к ним необходимо разработать устройство, которое должно будет ориентировать СП по двум плоскостям — горизонтальной и вертикальной. Для достижения максимальной эффективности СП должна находиться под углом, близким к 90° по отношению к падению солнечных лучей [19].

Наклон по горизонтальной оси СП будет компенсировать годовые изменения угла инсоляции потока света. Вращение СП вокруг вертикальной оси скомпенсирует движение Солнца в течение дня.

Один из первых методов изменения положения СП относительно Солнца — это ручное изменение угла солнечной батареи в зимний и летний периоды. Данный метод является трудозатратным, требует присутствия человека и в целом не получил широкого распространения за исключением отдельных маломощных частных электрогенерирующих солнечных электростанций.

В настоящее время применяется управление электроприводом СП МК на основании данных привязки к географическим координатам положения и данным месяца, числа и времени из загруженного календаря. Микроконтроллер использует данные из назначенных таблиц положений СП и в зависимости от месяца, даты и времени, а также с учетом данных позиционирования МК поворачивает СП по заданному вертикальному и горизонтальному положениям. Географическое позиционирование в систему заносится вручную либо считывается при наличии GPS-модуля со спутника.

Данный метод несовершенен по следующим причинам:

- возможные ошибки определения позиционирования через GPS или при ручном вводе;
- несовершенство таблицы позиционирования, ее рассогласование с календарем и данными позиционирования;
- отсутствие учета неровности рельефа и отсутствие начального угла установки;
- устройство не учитывает погодные и другие условия, работает и проводит коррекцию при отсутствии генерации (облачность, дождь и т. д.).

Основными «врагами» СП по-прежнему остаются птицы, враждебно настроенные дикие животные и экстремальные климатические явления — ураганный ветер, сильный дождь, град и др.

Проведенное патентное исследование показало, что уже разработаны некоторые модели автоматических солнечных трекеров. Известно устройство для ориентации приемника солнечной энергии [20]. Основным недостатком данного устройства можно считать отсутствие автоматического динамического регулирования по световому потоку и использование жидкости, что делает невозможным применение данного устройства при минусовых температурах. Другой вариант — это устройство для автоматической ориентации солнечной батареи [21]. Недостатком устройства является ограничение возможности автоматической фокусировки на солнечный свет только по одной оси, а первоначальные наладочные работы при эксплуатации выполняются вручную.

Хорошим решением является устройство автоматической ориентации солнечных батарей [22]. Фактором, ограничивающим применение данного устройства, является необходимость определения направления светового потока по индуцируемому напряжению солнечными батареями. Это менее точный способ, чем специализированные датчики, и вносит дополнительные погрешности ввиду старения, загрязнения или других факторов, влияющих и (или) зависящих от функционирования солнечных батарей.

В настоящий момент ни один метод ориентирования СП относительно Солнца не получил широкого распространения. В первую очередь из-за отсутствия автоматизации разворачивания и необходимости настройки работы аппаратуры на месте с участием человека. Стоимость систем позиционирования солнечных батарей не обеспечивает достаточное повышение их энергоэффективности для уверенной экономической окупаемости данного метода при классических способах использования СП.

В результате патентных исследований, проведенных автором, разработано и предложено новое устройство автоматической ориентации панели солнечных батарей по направлению потока света, не имеющее недостатков приведенных моделей и отличающееся большей степенью автоматизации, повышенной эффективностью и патентной чистотой [23].

Предложенный солнечный трекер повышает надежность и эффективность работы СП, смонтированной на нем. Рабочие качества СП повышаются за счет ее расположения на автоматизированном электромеханическом приводе, управляемом МК, отслеживающим направления максимального потока света посредством сигналов с имеющихся фоторезисторов.

Устройство, автоматически ориентирующее СП по направлению потока света, установленное на поворотном механизме, дополнительно содержит четыре датчика света, центральное управляющее устройство, связанное с датчиками света и шаговыми двигателями, установленными на основании, а поворотный механизм выполнен с возможностью обеспечения автоматического поворота по двум степеням свободы.

Схема устройства автоматической ориентации панели солнечных батарей по направлению потока света приведена на рис. 2. Четыре цифровых датчика света 1 крепятся в центре панели 2, на которой также расположены солнечные батареи 3. Панель 2 с солнечными батареями 3 и четырьмя датчиками света 1 расположена на поворотном механизме 4 с двумя степенями свободы, к которому прикреплены два шаговых двигателя 5. Шаговые двигатели 5 и датчики света 1 связаны с центральным управляющим устройством 6, которое вместе с поворотным механизмом 4 закреплено на основании 7.

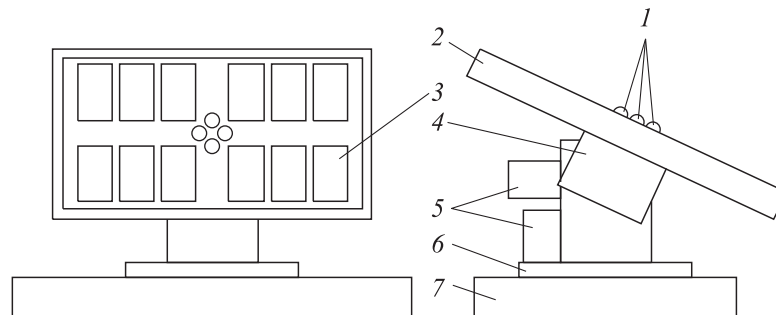


Рис. 2. Устройство автоматической ориентации панели солнечных батарей по направлению потока света

Устройство работает следующим образом: солнечный свет попадает на цифровые датчики света 1, после чего каждый датчик посылает цифровой сигнал об интенсивности падающего на него светового потока на центральное управляющее устройство 6. В центральном управляющем устройстве 6 происходит сравнение поступивших сигналов, и после выявления наиболее интенсивного принимается решение о корректировке панели 2 с солнечными батареями 3 в сторону максимального потока света. Солнечные батареи 3, расположенные на панели 2, питают вырабатываемой электроэнергией все системы устройства и могут быть подключены к внешнему потребителю электроэнергии. После определения направления максимального потока света центральное управляющее устройство 6 посылает управляющие команды на шаговые двигатели 5 для придания движения поворотному механизму 4 с целью сориентировать СП по направлению максимального потока света. Опорой всего устройства является основание 7. Корректировка направления СП выполняется через определенный временной интервал, заложенный в алгоритм работы центрального управляющего устройства 6.

Электротехническая схема созданного устройства приведена на рис. 3.

Произведенный опытный образец солнечного трекера показан на рис. 4. Для определения направления максимального потока света применены четыре датчика. В качестве датчиков света использованы фоторезисторы (рис. 5), которые изменяют свое сопротивление в зависимости от освещенности. Сигналы с фоторезисторов поступают и обрабатываются МК ATmega328, в качестве отладочной платы использована Arduino Uno (рис. 6).

Микроконтроллер после получения и обработки сигналов с фотодатчиков подает управляющие сигналы на два шаговых двигателя, которые изменяют положение СП в сторону минимизации разности подавае-

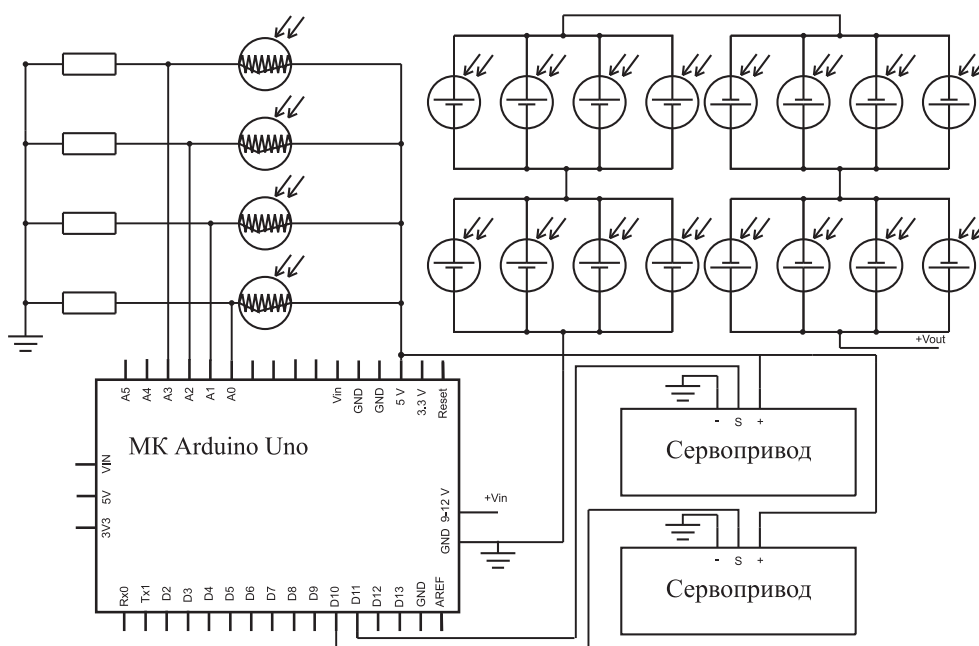


Рис. 3. Схема устройства автоматической ориентации панели солнечных батарей по направлению потока света

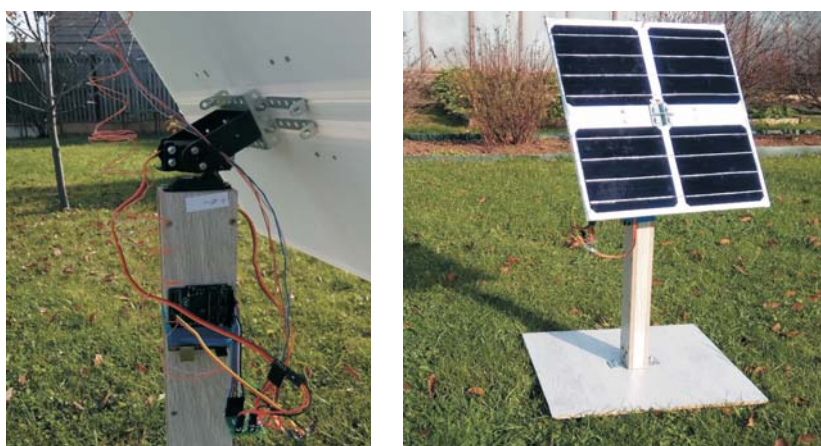


Рис. 4. Разработанный опытный образец солнечного трекера (фото автора)

мых сигналов с фоторезисторов, таким образом разворачивая СП по направлению света под углом, стремящимся к 90° . Данное решение позволило исключить необходимость расчета оптимального угла расположения СП относительно опорной поверхности и горизонтальной плоскости. Стал проще процесс позиционирования и возросла точность ориентации СП за счет исключения погрешностей, вносимых формулой расчета и различными коэффициентами.

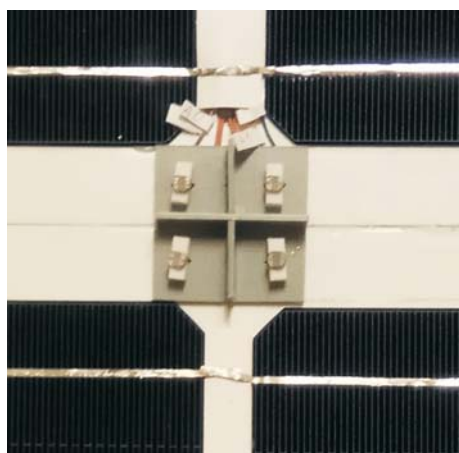


Рис. 5. Датчики освещенности
(фото автора)



Рис. 6. Микроконтроллер
Arduino Uno (фото автора)

Повышение эффективности панелей солнечных батарей за счет применения разработанного устройства экспериментально проверено 12 сентября 2019 года. День был солнечный, небо ясное, место проведения эксперимента — Московская область, д. Жостово. Световой день — с 7:00 до 18:30. В течение светового дня снималась вырабатываемая мощность с двух СП. Классическая, неподвижная СП установлена на открытой местности по направлению на юг и наклоном 40° . Другая СП такой же мощности смонтирована на предлагаемом устройстве (солнечном трекере) и меняла свое положение в течение дня. Изменения положения были в целях придания перпендикулярного положения СП в сторону максимального потока света. Полученные данные по генерируемым мощностям обеими СП приведены на рис. 7.

В течение генерации были небольшие провалы по мощности, которые можно объяснить заходом Солнца за облака. На графике данные провалы отображены не были из-за скоротечности и одинакового воздействия на СП. Влияние данных провалов было исчезающе малым в общем объеме электрогенерации каждой СП. Отметим, что для чистоты эксперимента солнечный трекер был запитан от стороннего источника питания и никаким образом не повлиял на общий объем сгенерированной электроэнергии второй СП.

Результаты эксперимента показали увеличение эффективности СП, установленной на трекер, на 22...27 % по отношению к стационарной СП. Для увеличения точности эксперимента стационарная СП установлена

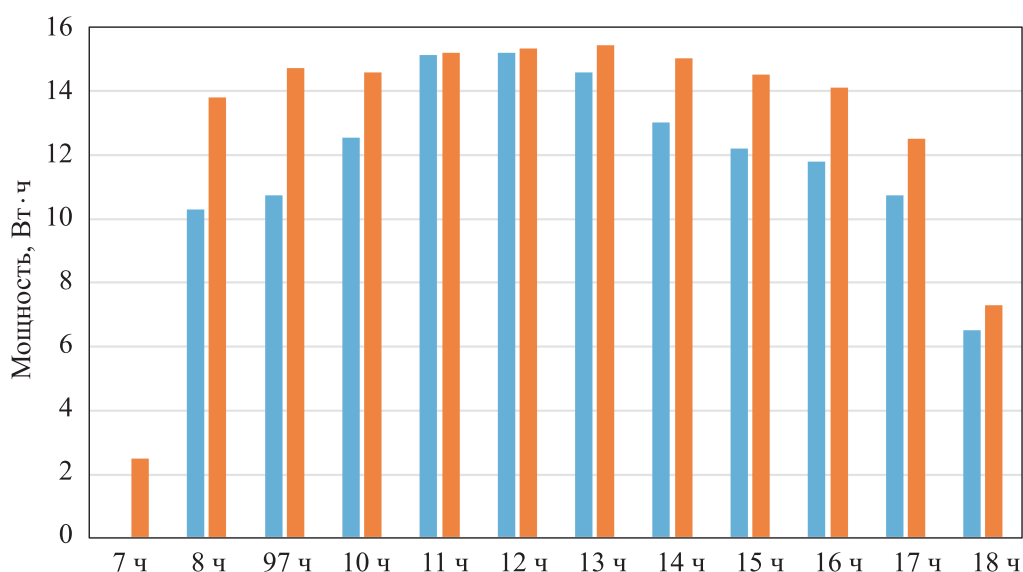


Рис. 7. Сопоставление выработанной мощности классической СП и СП, изменяющей свое положение под управлением МК

под максимально эффективным углом по вертикали для сентября. Обычно на практике СП устанавливаются по усредненному углу, который уменьшает разницу в объемах генерации в зимний и летний периоды, но тем самым и увеличивает общий объем генерации за год. Таким образом на практике эффективность стационарной СП еще ниже, чем в эксперименте, что еще больше повысит эффект от применения предложенного устройства.

Возможность трекера изменять позиционирование СП по вертикали и горизонтали под углом 90° в сторону максимального потока света позволяет компенсировать ошибки, которые могут возникнуть при ручной установке СП или при неровности рельефа местности, на которой происходит установка. Разработанный трекер можно изначально поставить в любом положении. После запуска трекер автоматически развернет СП в направлении максимального потока света. Программа, загруженная в МК, который управляет солнечным трекером, может предусматривать принудительный поиск потока света в случае его отсутствия. Поиск потока света осуществляется вращением СП на 360° и фиксацией изменения освещенности фоторезисторами с последующим позиционированием СП по направлению максимального светового потока. Новизна предложенного устройства подтверждена патентом [23].

Обсуждение полученных результатов. Результаты эксперимента подтверждают эффективность предложенного устройства автоматиче-

ского электромеханического привода слежения под управлением МК для увеличения объема генерации электроэнергии СП. Повышение эффективности СП, установленной на предложенном устройстве, увеличивается за счет автоматического их позиционирования относительно потока света под оптимальным углом. Только при падении солнечных лучей под оптимальным углом на СП возможно достичь их максимальную эффективность, заявленную производителем.

Не до конца проработанной остается надежность разработанного устройства. Поскольку в эксперименте участвовал MVP (minimum viable product — минимальный жизнеспособный продукт), на имеющемся опыте его применения сложно оценить его надежность. В течение эксперимента нештатных ситуаций в работе устройства не возникло. Безусловно, необходимо доработать корпусирование электронных ячеек данного устройства, рассчитать и доработать его прочностные показатели, а также мощностные показатели используемых сервоприводов. Высокие температуры воздуха не оказали видимого отрицательного воздействия на устройство. Отдельным вопросом для проработки остается улучшение ветроустойчивости и противодействия граду, чего можно добиться доработкой алгоритма программы. Программа в случае наступления неблагоприятных условий может поворачивать СП ребром к направлению ветра/града.

Решение о применении электроприводов с автоматическим управлением МК на основании обратной связи от фоторезисторов является весьма перспективным и одним из первых в целом направлении динамического позиционирования и автоматизации при использовании СП (солнечной электроэнергетики).

Заключение. Предложенное устройство является эффективным для увеличения эффекта генерации электроэнергии СП, не изменяющих своего географического местоположения в процессе работы. Однако трекер также может быть применен для монтажа СП, установленных на движущихся объектах (машине, судне и т. д.). В процессе движения эффективность электрогенерации СП достигается путем динамического отслеживания направления максимального потока света и автоматического изменения положения СП перпендикулярно потоку света для максимальной электрогенерации.

Разработанное устройство может быть применено для автоматизации позиционирования СП на дистанционно устанавливаемых автономных устройствах (радиомаяках, метеозондах и т. д.). Электромеханический привод слежения, управляемый МК, автоматически ориентирует солнечную батарею в направлении Солнца после приземления модуля независимо

от его положения. Оптимальное позиционирование СП при автоматическом дистанционном изменении положения автономно устанавливаемого модуля позволяет обеспечить эффективное электроснабжение потребителя.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Gebreslassie B., Kelam A., Zayegh A. Energy saving in commercial building by improving photovoltaic cell efficiency. *Proc. AUPEC*, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1109/AUPEC.2017.8282493>
- [2] Selivanov K.V. Development trend of electrification and small-scale power generation sector in Russia. *LNEE*, 2020, vol. 641, pp. 409–416.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-39225-3_44
- [3] Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. СПб., Изд-во Политехн. ун-та, 2016.
- [4] Гарифулина М.Р., Власов А.И., Макаrchук В.В. и др. Модель элемента солнечной батареи типа CIGS. *Инженерный вестник*, 2012, № 8, с. 12.
URL: <http://ainjournal.ru/doc/479044.html>
- [5] Селиванов К.В. Малая распределенная энергетика как средство обеспечения энергобезопасности России. *Мат. Междунар. науч.-практ. конф «Лесной комплекс сегодня. Экономика. Взгляд молодых исследователей»*. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017, с. 217–220.
- [6] Иванченко В.Т., Гражданкин А.А. Уточнение солнечного климата г. Краснодара для эффективной работы солнечных батарей в жилых зданиях. *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*, 2017, № 4, с. 47–51.
- [7] Селиванов К.В., Люминарская Е.С. Экономические и другие аспекты эффективности использования малой распределенной энергетике в России. *Сб. мат. Общерос. науч.-практ. конф. «Перспективы устойчивого развития лесопромышленного комплекса РФ»*. Красноярск, Научно-инновационный центр, 2018, с. 240–243.
- [8] Степанов В.М., Горелов Ю.И., Пахомов С.Н. Анализ способов повышения эффективности функционирования солнечных батарей. *Известия ТулГУ. Технические науки*, 2018, № 12, с. 17–23.
- [9] Васильев И.А., Люминарская Е.С., Селиванов К.В. Автономная система энергоснабжения с микропроцессорным управлением. *Электроника и электрооборудование транспорта*, 2019, № 2, с. 21–25.
- [10] Васильев И.А., Люминарская Е.С., Селиванов К.В. Гибридная энергетика как способ электрификации географически изолированных потребителей. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*, 2018, № 4-2, с. 154–161.
- [11] Казанцев Ю.М., Гордеев К.Г., Пекарев А.Ф. и др. Токовый преобразователь энергии солнечной батареи в системе электропитания космических аппаратов. *Известия Томского политехнического университета*, 2011, т. 319, № 4, с. 149–153.

- [12] Харченко В.В., Никитин Б.А., Майоров В.А. и др. Влияние расположения солнечного диска на небосводе относительно поверхностей солнечных батарей на их энергетическую эффективность. *Вестник аграрной науки Дона*, 2015, № 1, с. 53–59.
- [13] Кужель А.В. Метод обобщений в математическом творчестве. В: Математика сегодня. Киев, Высшая школа, 1983, с. 68–88.
- [14] Кобёрн А. Современные методы описания функциональных требований к системам. М., Лори, 2002.
- [15] Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. М., ФИЗМАТЛИТ, 2004.
- [16] Круг Г.К., Сосулин Ю.А., Фатуев В.А. Планирование эксперимента в задачах идентификации и экстраполяции. М., Наука, 1977.
- [17] Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М., Наука, 1976.
- [18] Еремин Д.И., Понятов Ю.А., Кемешева Д.Г. Определение оптимального угла расположения солнечной панели в течение дня для повышения эффективности ее работы. *Мат. III Междунар. науч.-практ. конф. «Современные научные исследования: методология, теория, практика»*. Красноярск, Инспаер, 2014, с. 131–140.
- [19] Ногай А.С., Ящук В.В. Повышение коэффициента полезного действия солнечных фотоэлементов с помощью систем слежения. *Наука, образование и культура*, 2017, № 8, с. 5–8.
- [20] Бычкунов Г.А., Кондрашов Б.Н., Салдина Е.А. Устройство для ориентации приемника солнечной энергии. Патент РФ 2516595. Заявл. 03.09.2012, опубл. 20.05.2014.
- [21] Султанов В.В. Устройство для автоматической ориентации солнечной батареи. Патент РФ 171448. Заявл. 20.05.2016, опубл. 01.06.2017.
- [22] Багич Г.Л. Способ автоматической ориентации солнечных батарей и устройство для его осуществления. Патент РФ 2516511. Заявл. 05.12.2011, опубл. 20.05.2014.
- [23] Селиванов К.В. Устройство автоматической ориентации панели солнечных батарей по направлению светового потока. Патент РФ 180765. Заявл. 10.10.2017, опубл. 22.06.2018.

Селиванов Кирилл Владимирович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, корп. 1).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Селиванов К.В. Автоматическое позиционирование панели солнечных батарей и слежение за направлением максимального потока света. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2021, № 2 (135), с. 115–132.

DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3933-2021-2-115-132>

SOLAR PANEL AUTOMATIC POSITIONING AND MAXIMUM LIGHT FLUX DIRECTION TRACKING

K.V. Selivanov

selivanov_kv@mail.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The paper analyzes the state and possible ways of development of alternative energy, describes the prospects for the development of solar power plants, their classification and areas of application. Within the research, we revealed the problems that arise when installing and operating solar panels and identified the reasons that reduce their efficiency. Consequently, we analyzed the ways to increase the efficiency of power generation by solar panels and suggested solar panel automatic positioning and maximum light flux direction tracking as a possible solution to the problem. The study introduces a new device for positioning solar panels, which is distinguished by the automatic deployment and positioning of solar panels according to the actual direction of the maximum light flux. The device provides possible automation of the installation and greater efficiency of solar panels. The novelty of the device is protected by a utility model patent no. 180765 RF. To confirm the efficiency and to obtain a quantitative value of the increase in power generation by solar panels due to the use of the developed device, we present the comparison methodology and a description of the experiment. The schematic diagram and external view of the developed device are also shown. The experimental results are processed and shown in a graph. The possibility of increasing power generation by solar panels by tracking the maximum light flux and reorienting the solar panel towards it during the day has been confirmed, and a quantitative value of the increase in power generation has been obtained. Based on the positive results of the experiment, the possibility of using the developed device for automating the process of deploying solar panels in an autonomous way and excluding human participation in this process is described. The operation of the developed device on a moving vehicle and other methods of its application are considered. The results are summed up, conclusions are drawn and possible further

Keywords

Microcontroller, renewable energy sources (RES), solar panel, tracking and automatic positioning

directions for the development and use of the proposed
method for increasing the efficiency of solar panels and
the developed device for improving the performance of
solar panels are identified

Received 16.04.2020

Accepted 06.07.2020

© Author(s), 2021

*Some results were obtained with the support of the Ministry of Education
and Science of the Russian Federation (project no. 0705-2020-0041)*

REFERENCES

- [1] Gebreslassie B., Kelam A., Zayegh A. Energy saving in commercial building by improving photovoltaic cell efficiency. *Proc. AUPEC*, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1109/AUPEC.2017.8282493>
- [2] Selivanov K.V. Development trend of electrification and small-scale power generation sector in Russia. *LNEE*, 2020, vol. 641, pp. 409–416.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-39225-3_44
- [3] Elistratov V.V. *Vozobnovlyaemaya energetika [Renewable energy]*. St. Petersburg, Polytechnic Univ. Publ., 2016.
- [4] Garifulina M.R., Vlasov A.I., Makarchuk V.V., et al. Model of a CIGS-type solar cell. *Inzhenernyy vestnik: elektronnyy nauchno-tekhnicheskyy zhurnal [Engineering Bulletin]*, 2012, no. 8, p. 12 (in Russ.). Available at: <http://ainjournal.ru/doc/479044.html>
- [5] Selivanov K.V. [Small distributed energetics as a means of ensuring energy security in Russia]. *Mat. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Lesnoy kompleks segodnya. Ekonomika. Vzglyad molodykh issledovateley"* [Proc. Sc.-Pract. Conf. "Forest complex today. Economy. Young researchers' eye"]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2017, pp. 217–220 (in Russ.).
- [6] Ivanchenko V.T., Grazhdankin A.A. Reconciliation of solar climate of Krasnodar for effective work of solar batteries in residential buildings. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova [Bulletin of Belgorod State Technological University n.a. V.G. Shukhov]*, 2017, no. 4, pp. 47–51 (in Russ.).
- [7] Selivanov K.V., Lyuminarskaya E.S. [Economical and other efficiency aspects of small distributed energetics in Russia]. *Sb. mat. Obshcheros. nauch.-prakt. konf. "Perspektivy ustoychivogo razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa RF"* [Proc. Russ. Sc.-Pract. Conf. "Prospects for sustainable development of the Russian timber industry"]. Krasnoyarsk, Nauchno-innovatsionnyy tsentr Publ., 2018, pp. 240–243 (in Russ.).
- [8] Stepanov V.M., Gorelov Yu.I., Pakhomov S.N. Analysis of the ways of improving the efficiency of the operation of solar batteries. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki [News of the Tula State University. Technical Sciences]*, 2018, no. 12, pp. 17–23 (in Russ.).
- [9] Vasil'yev I.A., Lyuminarskaya E.S., Selivanov K.V. Autonomous system of power supply with microprocessor control. *Elektronika i elektrooborudovanie transporta [Electronics and Electrical Equipment of Transport]*, 2019, no. 2, pp. 21–25 (in Russ.).

- [10] Vasil'yev I.A., Lyuminarskaya E.S., Selivanov K.V. Hybrid energy as a method of electrification of geographically isolated consumers. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii* [Fundamental and Applied Problems of Technics and Technology], 2018, no. 4-2, pp. 154–161 (in Russ.).
- [11] Kazantsev Yu.M., Gordeev K.G., Pekarev A.F., et al. Current converter of solar battery energy in a spacecraft power supply system. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University], 2011, vol. 319, no. 4, pp. 149–153 (in Russ.).
- [12] Kharchenko V.V., Nikitin B.A., Mayorov V.A., et al. Influence of the solar disk position in the sky relative to the solar cells surfaces on their energy efficiency. *Vestnik agrarnoy nauki Dona* [Don Agrarian Science Bulletin], 2015, no. 1, pp. 53–59 (in Russ.).
- [13] Kuzhel' A.V. Metod obobshcheniy v matematicheskom tvorchestve [Method of generalizations in mathematical art]. V: Matematika segodnya [In: Mathematics Today]. Kiev, Vysshaya shkola Publ., 1983, pp. 68–88 (in Russ.).
- [14] Cockburn A. Writing effective use cases. Boston, Addison-Wesley, 2000.
- [15] Kolmogorov A.N., Fomin S.V. Elementy teorii funktsiy i funktsional'nogo analiza [Elements of function theory and functional analysis]. Moscow, FIZMATLIT Publ., 2004.
- [16] Krug G.K., Sosulin Yu.A., Fatuev V.A. Planirovanie eksperimenta v zadachakh identifikatsii i ekstrapolyatsii [Design of experiments in problems of identification and extrapolation]. Moscow, Nauka Publ., 1977.
- [17] Adler Yu.P., Markova E.V., Granovskiy Yu.V. Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nykh usloviy [Planning an experiment at search for optimal conditions]. Moscow, Nauka Publ., 1976.
- [18] Eremin D.I., Ponyatov Yu.A., Kemesheva D.G. [Determining a solar panel optimal angle during the day to improve its efficiency]. *Mat. III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Sovremennye nauchnye issledovaniya: metodologiya, teoriya, praktika"* [Proc. III Int. Sc.-Pract. Conf. "Modern Scientific Studies: Methodology, Theory, Practice"]. Krasnoyarsk, Inpaer Publ., 2014, pp. 131–140 (in Russ.).
- [19] Nogay A.S., Yashchuk V.V. Increasing the efficiency coefficient of solar cells using tracking systems. *Nauka, obrazovanie i kul'tura* [Science, Education and Culture], 2017, no. 8, pp. 5–8 (in Russ.).
- [20] Bychkunov G.A., Kondrashov B.N., Saldina E.A. Ustroystvo dlya orientatsii priemnika solnechnoy energii [A device for orienting a solar energy receiver]. Patent RU 2516595. Appl. 03.09.2012, publ. 20.05.2014 (in Russ.).
- [21] Sultanov V.V. Ustroystvo dlya avtomaticheskoy orientatscii solnechnoy batarei [A device for automatic orientation of the solar battery]. Patent RU 171448. Appl. 20.05.2016, publ. 01.06.2017 (in Russ.).
- [22] Bagich G.L. Sposob avtomaticheskoy orientatsii solnechnykh batarey i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya [A method for automatic orientation of solar cells and a device for its implementation]. Patent RU 2516511. Appl. 05.12.2011, publ. 20.05.2014 (in Russ.).

[23] Selivanov K.V. Ustroystvo avtomaticheskoy orientatsii paneli solnechnykh batarey po napravleniyu svetovogo potoka [Device for automatic orientation of a solar panel in direction of light flow]. Patent RU 180765. Appl. 10.10.2017, publ. 22.06.2018 (in Russ.).

Selivanov K.V. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Electronic Equipment Design and Technology, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5/1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Selivanov K.V. Solar panel automatic positioning and maximum light flux direction tracking. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Instrument Engineering*, 2021, no. 2 (135), pp. 115–132 (in Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3933-2021-2-115-132>