

УДК 621.383

***НЕОБХОДИМОСТЬ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ  
СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ  
УГЛА ИХ НАКЛОНА***

***Киселёв А.А.***

*студент направления подготовки «Прикладная математика и информатика»,  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна.*

*Высшая школа технологии и энергетики,*

*Санкт-Петербург, Россия*

***Липатов М.С.***

*старший преподаватель кафедры теплосиловых установок и тепловых  
двигателей,*

*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных  
технологий и дизайна.*

*Высшая школа технологии и энергетики,*

*Санкт-Петербург, Россия*

**Аннотация**

Эффективность работы солнечной панели зависит от того, насколько оптимальным является угол её наклона в любой момент времени. При определении такого угла принимается во внимание четыре фактора – азимут, время суток, сезон и географическая широта. Поскольку на практике удерживать панели в оптимальном положении не всегда удастся, задачей владельца альтернативного источника энергии является выбор позиции, потери при которой будут минимальными.

В статье авторами предлагается использовать схему, основанную на двухосевом солнечном трекере. Его управление осуществляется с помощью Arduino Uno,

который представляет собой платформу прототипирования с открытым исходным кодом, основанную на простом в использовании аппаратном и программном обеспечении. Кроме того, этот испытательный стенд предоставляет виртуальную аппаратуру на основе Excel, в которой могут быть записаны и представлены данные солнечного трекера. Применение данного алгоритма повысит эффективность использования солнечных панелей за счет слежения за направлением максимального потока света.

**Ключевые слова:** альтернативная энергетика, солнечные панели, Arduino, солнечный трекер, датчик LDR, MS Excel, оптимальный угол наклона.

***THE NEED TO FIND THE OPTIMAL POSITION OF SOLAR PANELS  
BY CHANGING THEIR ANGLE OF INCLINATION***

***Kiselev A.A.***

*Student of the direction of training "Applied mathematics and computer science",  
St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russia*

***Lipatov M.S.***

*Senior Lecturer of the Department of Heat Power Installations and Heat Engines,  
St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
Higher School of Technology and Energy,  
Saint Petersburg, Russia*

**Abstract**

The efficiency of the solar panel depends on how optimal the angle of its inclination is at any given time. When determining such an angle, four factors are taken into account – azimuth, time of day, season and latitude. Since in practice it is not always possible

to keep the panels in the optimal position, the task of the owner of an alternative energy source is to choose a position at which losses will be minimal.

In the article, the authors propose to use a scheme based on a two-axis solar tracker. It is controlled by the Arduino Uno, which is an open source prototyping platform based on easy-to-use hardware and software. In addition, this test bench provides Excel-based virtual equipment in which solar tracker data can be recorded and presented. The application of this algorithm will increase the efficiency of using solar panels by tracking the direction of the maximum light flow.

**Keywords:** alternative energy, solar panels, Arduino, solar tracker, LDR sensor, MS Excel, optimal tilt angle.

Для обеспечения своей жизнедеятельности человек тратит огромное количество электроэнергии, хотя в большинстве развитых стран идет политика о снижении энергопотребления, ежегодная выработка электроэнергии только увеличивается. Рост потребления электроэнергии с 2019 года по 2021 год составил 1,4% и составляет 27 004,7 тераватт-часов [1]. При всем этом для выработки электроэнергии примерно 80% используется традиционное природное топливо, такое как нефть, газ, уголь и др. Традиционные природные топлива хоть и могут возобновиться в природе, но данный процесс происходит миллионы лет, поэтому традиционные природные топлива кончены. Конечны также и запасы ядерного топлива - урана и тория. Исходя из выше описанного в мире и в России в частности существует проблема с получением энергии. Для её решения необходимо использовать нетрадиционные источники энергии (энергию солнца, ветра, воды и др.). Рассмотрим более детально солнечную энергетику, которая является достаточно перспективной из-за следующих преимуществ: огромное потенциально возможное количество получаемой электроэнергии; доступность в каждой точке мира; экологическая чистота; бесшумность работы; низкие эксплуатационные затраты; высокие гарантии производителей.

Однако, для того чтобы получить большую генерацию энергии из данного альтернативного источника, необходимо оптимально использовать солнечные панели. Для этой цели нужно постоянно поддерживать их грамотное направление к Солнцу [2 - 4].

Для обеспечения условий поглощения солнечной энергии солнечными панелями, его поглощающая поверхность должна быть ориентирована на юг с оптимальным углом наклона  $\beta_{\text{опт}}$ . Для нахождения оптимального угла необходимо учитывать не только широту уместности расположения солнечной панели, но и часовые углы захода (восхода) Солнца [5]. Для этих целей можно использовать данные среднемесячного дневного количество рассеянного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность в рассматриваемом регионе (согласно данным NASA).

Для учебных целей и расчетов в рамках образовательного процесса можно использовать испытательный стенд (рис.1). Он основан на солнечном трекере, который может вращаться автоматически для отслеживания солнца с помощью четырех датчиков LDR и двух серводвигателей (SM1 и SM2) или вручную с помощью потенциометра. Для переключения между двумя режимами (автоматическим и ручным) используется кнопка. Другая кнопка используется для подключения SM1 (серводвигателя вверх-вниз) или SM2 (серводвигателя влево-вправо) к потенциометру для управления их перемещением. Кроме того, компьютер используется в качестве виртуального инструмента для визуализации режима работы, тока, напряжения и мощности фотоэлектрической панели в зависимости от времени в MS Excel. Плата Arduino Uno используется для реализации всех программных требований системы [6].

Как показано на рис. 2, 3D-модель солнечного трекера для автоматизированного проектирования (CAD) разработана в САТІА. Он состоит из фотоэлектрической панели, серводвигателей влево-вправо и вверх-вниз и четырех датчиков LDR. Для горизонтальной оси подшипник закреплен параллельно серводвигателю вверх-вниз для лучшей гибкости. Солнечный Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМІ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

трекер спроектирован таким образом, чтобы иметь две степени свободы: с востока на запад с помощью серводвигателя влево-вправо и с юга на север с помощью серводвигателя вверх-вниз.

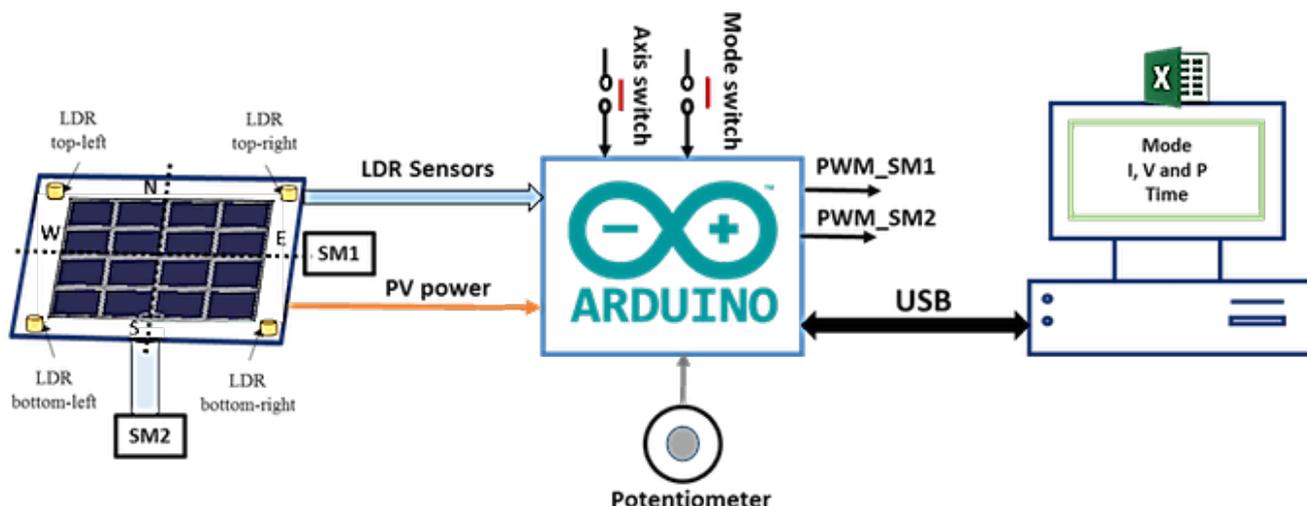


Рис. 1 – Схема испытательного стенда [7; 8]

Датчики LDR размещены в четырех углах фотоэлектрической панели и помещены в темные трубки с небольшим отверстием сверху для определения солнечного освещения. Эти темные трубки также считаются концентратором излучения и используются для повышения надежности солнечного трекера.

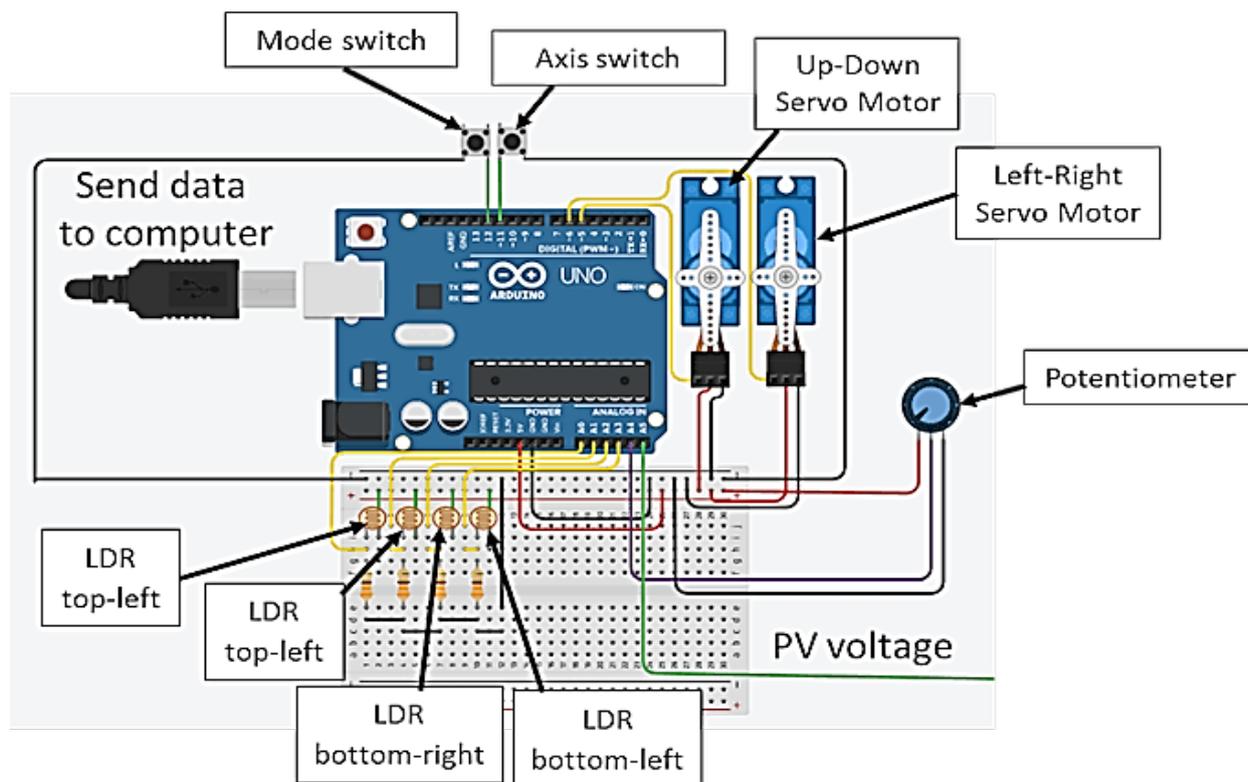


Рис. 2 – Электронная схема солнечного трекера с ручным и автоматическим режимами работы [7; 8]

Схема датчика LDR выполнена в виде схемы делителя напряжения. Изменение интенсивности света пропорционально изменению выходного напряжения делителя. Верхняя часть делителя потенциала равна 5 В, заземление находится на 0 В, а выход делителя напряжения подключен к аналоговому входу (например, 0) микроконтроллера. Впоследствии аналого-цифровой преобразователь (АЦП) микроконтроллера преобразует аналоговое значение, считываемое в цифровое значение между 0 и 1023, потому что АЦП кодируется в 10 битах, и в соответствии с этим значением можно узнать уровень освещенности. Значение резисторов, используемых в делителях напряжения, составляет 330 Ом.

Используются два серводвигателя на 180 градусов. Серводвигатель (MG996R) для управления солнечным трекером в соответствии с вертикальной осью, которая представляет собой лево-правый серводвигатель. И микро-

серводвигатель (SG90) для управления солнечным трекером в соответствии с горизонтальной осью, которая является серводвигателем вверх-вниз. Преимущество серводвигателя заключается в том, что мы можем управлять его остановкой, запуском, направлением вращения и скоростью с помощью одного слаботочного провода, подключенного непосредственно к выходу микроконтроллера, без необходимости использования каких-либо драйверов. Используемые серводвигатели управляются платой Arduino UNO с помощью 3-проводного электрического кабеля, два провода для питания и один провод для ШИМ для управления его положением.

Встроенное программное обеспечение - это часть, которая будет встроена в аппаратное обеспечение (Arduino Uno) для управления и мониторинга испытательного стенда [7; 8]. Встроенное программное обеспечение разработано с учетом следующих требований:

1. Испытательный стенд имеет два режима: ручной и автоматический. Кнопка подключена к контакту 12 для переключения между двумя режимами.

2. Если включен ручной режим, потенциометр может управлять сервомоторами либо с востока на запад для двигателя влево-вправо, либо с юга на север для двигателя вверх-вниз. К контакту 11 подключена кнопка для переключения потенциометра между двумя двигателями, либо она управляет серводвигателем влево-вправо, либо серводвигателем вверх-вниз.

3. Если автоматический режим активен, алгоритм, представленный на рис. 4 будет выполнен. Последний использует аналоговые значения, возвращаемые датчиками LDR. Например, с учетом азимута или вертикальной оси сравниваются средние значения двух правых LDRs и двух левых LDRs, и, если левый набор LDRs получает больше света, солнечный трекер будет двигаться в этом направлении с помощью лево-правого серводвигателя. Последний будет продолжать вращаться до тех пор, пока результат разницы не окажется в диапазоне -10, 10. Этот диапазон используется для стабилизации контроллера, и как только солнечный трекер перпендикулярен солнцу, дальнейшее управление

Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

не выполняется. С другой стороны, если правый набор LDRS получает больше света, солнечный трекер перемещается в этом направлении с помощью лево-правого серводвигателя и будет продолжать вращаться до тех пор, пока результат разницы не окажется в диапазоне от -10 до 10. Тот же способ используется для оси высот. Кроме того, мы также определили среднее излучение между четырьмя датчиками LDR, и если это значение меньше небольшого значения (8: значение, которое было скорректировано и протестировано практически и возвращается, когда излучение равно нулю). То есть, можно сказать, наступила ночь. В этом случае солнечный трекер должен вернуться в положение восхода солнца. Например, если положение восхода солнца можно достичь, установив 0 градусов в сервомоторе влево-вправо и 30 градусов в сервомоторе вверх-вниз. Это можно легко сделать с помощью функции C “servox. запись (угол)” предоставляется Arduino IDE.

4. Напряжение PV, полученное через аналоговый вывод A5, должно обрабатываться и использоваться для вычисления тока и мощности PV. Затем все эти данные и фактический режим должны быть отправлены по USB-кабелю на компьютер, а затем представлены в MS Excel.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующее заключение: максимальное количество генерируемой энергии обеспечивается за счет использования трекера. Выработка установок без трекера, ориентированных грамотно (на юг, с соблюдением угла наклона по широте) по результатам расчетов составляют 70-75 % от выработки установок с трекером. Поэтому поиск оптимального положения солнечных панелей повысит эффективность их использования за счет слежения за направлением максимального потока света.

**Библиографический список:**

1. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2021 году // URL: [https://www.soups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2022/ups\\_rep2021.pdf](https://www.soups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2022/ups_rep2021.pdf) (дата обращения: 21.12.2022).
2. Оптимальный угол установки солнечной батареи для максимальной выработки энергии в северных широтах // URL: <https://moj-mir-otkrytok.ru/vidy-otopleniya/elektrichestvo-ot-solnechnyh-batarej-dlya-doma.html> (дата обращения: 23.12.2022).
3. Новожилов, К. С. Повышение эффективности солнечных модулей за счёт изменения угла наклона приемной площадки / К. С. Новожилов, Д. В. Голубев, Н. И. Энтин // Colloquium-Journal. – 2020. – № 3-1(55). – С. 44-46. – EDN SEYXKM.
4. Радаев, А. Ю. Оценка влияния угла наклона на эффективность солнечной установки / А. Ю. Радаев // Агроинженерия и экономика : материалы студенческой научной конференции, Челябинск, 24–25 апреля 2017 года. – Челябинск: Южно-Уральский государственный аграрный университет, 2017. – С. 159-166. – EDN ZVCHKT.
5. Гаевский, А. Ю. Метод определения оптимального угла наклона и ориентации фотоэлектрических модулей на основе экспериментальных данных солнечной радиации / А. Ю. Гаевский, А. Н. Гаевская // International Scientific Journal Life and Ecology. – 2018. – № 1-2(9-10). – С. 19-20. – EDN FOHLRZ.
6. Асауленко, Е. В. Универсальный оптический модуль для платформы Arduino UNO на основе солнечной батареи / Е. В. Асауленко, К. А. Пронькин // Общество и наука: векторы развития : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Чебоксары, 06 апреля 2022 года / ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова». – Чебоксары: Общество с ограниченной ответственностью "Центр научного сотрудничества "Интерактив плюс", 2022. – С. 90-93. – EDN NURSOM.

7. Аль, Г. З. Х. М. Исследование и разработка двухосевой системы слежения за Солнцем с датчиками с помощью Arduino / Г. З. Х. М. Аль, М. Ф. Мансор // Молодой ученый. – 2020. – № 11(301). – С. 29-32. – EDN OSFJRO.

8. Солнечная панель на Arduino, отслеживающая местоположение Солнца // URL: <https://microkontroller.ru/arduino-projects/solnechnaya-panel-na-arduino-otslezhivayushhaya-mestopolozhenie-solncza/> (дата обращения: 24.12.2022).

*Оригинальность 95%*