

**Коновалов Юрий Васильевич,**  
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: yrvaskon@mail.ru

**Хазиев Алексей Нурисламович,**  
обучающийся гр. ЭЭ-19-1, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: uxaziewaaa@gmail.com

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ**  
**Konovarov Yu.V., Khaziev A.N.**  
**INCREASING THE EFFICIENCY OF THE USE OF SOLAR PANELS**

**Аннотация.** Предложен способ управления двухосевого солнечного трекера с использованием астрономического алгоритма и микроконтроллера. Рассмотрено практическое решение для достижения максимальной эффективности солнечных панелей, что связано с вычислением положения солнца, определением желаемого угла для солнечного трекера, считыванием текущего угла трекера и регулировкой его положением.

**Ключевые слова:** микроконтроллер ESP8266, солнечный трекер, электроэнергетика.

**Abstract.** A method for controlling a two-axis solar tracker using an astronomical algorithm and a microcontroller is proposed. A practical solution is considered to achieve maximum efficiency of solar panels, which is associated with calculating the position of the sun, determining the desired angle for the solar tracker, reading the current angle of the tracker and adjusting its position.

**Keywords:** ESP8266 microcontroller, solar tracker, electric power industry.

Солнечная энергия является одним из наиболее популярных и устойчивых источников возобновляемой энергии. Однако для достижения максимальной эффективности на солнечные панели должны быть установлены следящие системы, которыми являются солнечные трекеры (от английского «to track» – «отслеживать»). Такие системы становятся все более популярными в секторе возобновляемых источников энергии благодаря их способности повышать эффективность солнечных панелей, постоянно регулируя их положение таким образом, чтобы они были обращены к солнцу так, чтобы в течение дня на их поверхность попадало больше прямых лучей [1].

Солнечные трекеры бывают различных типов. Большая эффективность достигается при использовании двухосевого трекера, благодаря чему есть возможность регулировать угол наклона солнечной панели для отслеживания дневного изменения высоты солнца и осуществлять азимутальный поворот относительно севера. По результатам проведенного анализа опыта использования солнечных трекеров [1-8], выбран астрономический метод отслеживания, который предполагает вычисления, основанные на положении солнца относительно поверхности Земли. Этот метод использует расчет, который учитывает такие факторы, как время суток, широта и долгота места установки и дата. Используя эти входные дан-

ные, алгоритм может определить точное положение солнца на небе. Главное преимущество использования астрономического алгоритма для отслеживания солнечной активности заключается в том, что он отличается высокой точностью и может учитывать изменение положения солнца в течение года.

В целом, реализация двухосевого солнечного трекера с использованием астрономического алгоритма и микроконтроллера предлагает практическое решение для максимизации эффективности солнечных панелей. Эта технология обладает потенциалом для значительного снижения энергозатрат и расширения использования возобновляемых источников энергии [2].

Повышение эффективности работы трекера использованием микроконтроллера обусловлено возможностью дистанционно контролировать работу всех систем трекера, вести учет событий, добавлять новый рабочий функционал, осуществлять гибкую настройку алгоритмов, обработку измерений с датчиков. На сервере хранится статистика работы, показания с датчиков, с помощью web клиента осуществляется управление трекером. Настройка контура управления привода трекера реализована подключением микроконтроллера к компьютеру через com порт подбором пропорционального, интегрального, дифференциального коэффициентов обратной связи, снятие угла текущего положения конструкции реализовано подключением магнитных энкодеров к трекеру [3].

Для реализации этих целей предлагается использовать микроконтроллер ESP8266 – это устройство со встроенным приемником Wi-Fi, что делает его популярным выбором для приложений интернета вещей, имеет возможность выполнять программы из Flash-памяти. Контроллер недорогой, обладает небольшим количеством внешних элементов и имеет следующие технические параметры:

- поддерживает Wi-Fi протоколы 802.11 b/g/n с WEP, WPA, WPA2;
- обладает 14 портами ввода и вывода, SPI, I2C, UART, 10-бит АЦП;
- поддерживает внешнюю память до 16 МБ;
- необходимое питание от 2,2 до 3,6 В, потребляемый ток до 300 мА в зависимости от выбранного режима.

Важной особенностью является отсутствие пользовательской энергонезависимой памяти на кристалле. Программа выполняется от внешней SPI ПЗУ при помощи динамической загрузки необходимых элементов программы [9].

На рисунке 1 отображена схема подключения модулей управления приводом солнечного трекера к плате подетси, включающей в себя микроконтроллер ESP8266. К электронной схеме также подключены RTC часы и 16x2 дисплей по I2C шине к портам D1-D2. Драйвер двигателя подключен к портам D3-D4, D5-D6. Энкодеры подключенные к моторам, подсоединены к портам D7-D8, так как не используется uart к RX и TX.

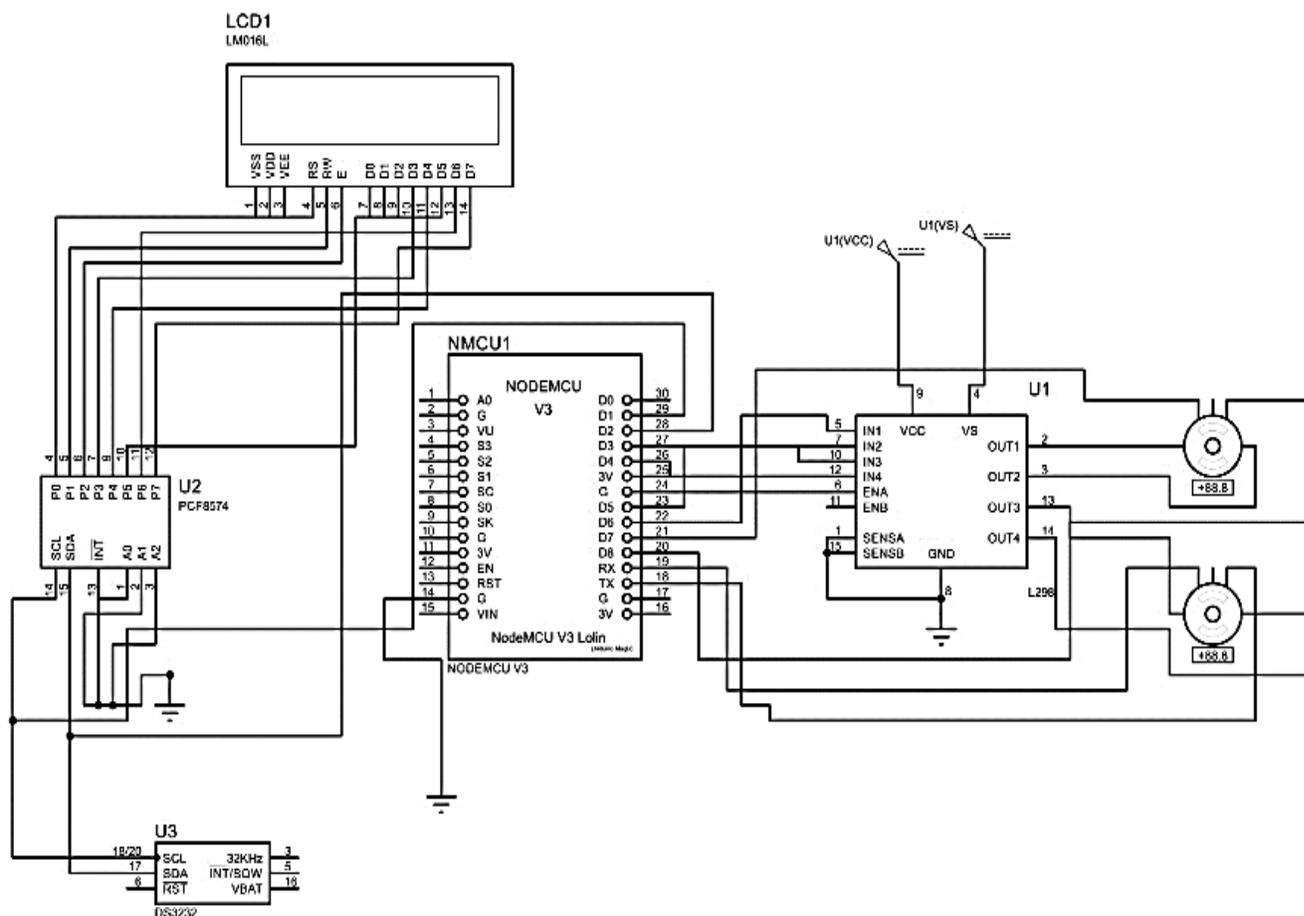


Рисунок 1 – Электронная схема управления трекером

Алгоритм управления солнечным трекером представляет собой систему управления с замкнутым контуром, которая непрерывно регулирует положение солнечного трекера для обеспечения максимального улавливания солнечной энергии, который работает путем вычисления положения солнца, а затем указывает на разницу между рассчитанным углом и углом, полученным с помощью датчика. На рисунке 2 представлена блок-схем, описывающая данный алгоритм.

На блок-схеме выделены этапы, связанные с вычислением положения солнца, определением желаемого угла для солнечного трекера, считыванием текущего угла трекера и регулировкой его положения, чтобы свести к минимуму разницу между желаемым и текущим углами. В процессе реализации алгоритма выполняется расчет текущего положения солнца, используя данные о времени, дате и местоположении.

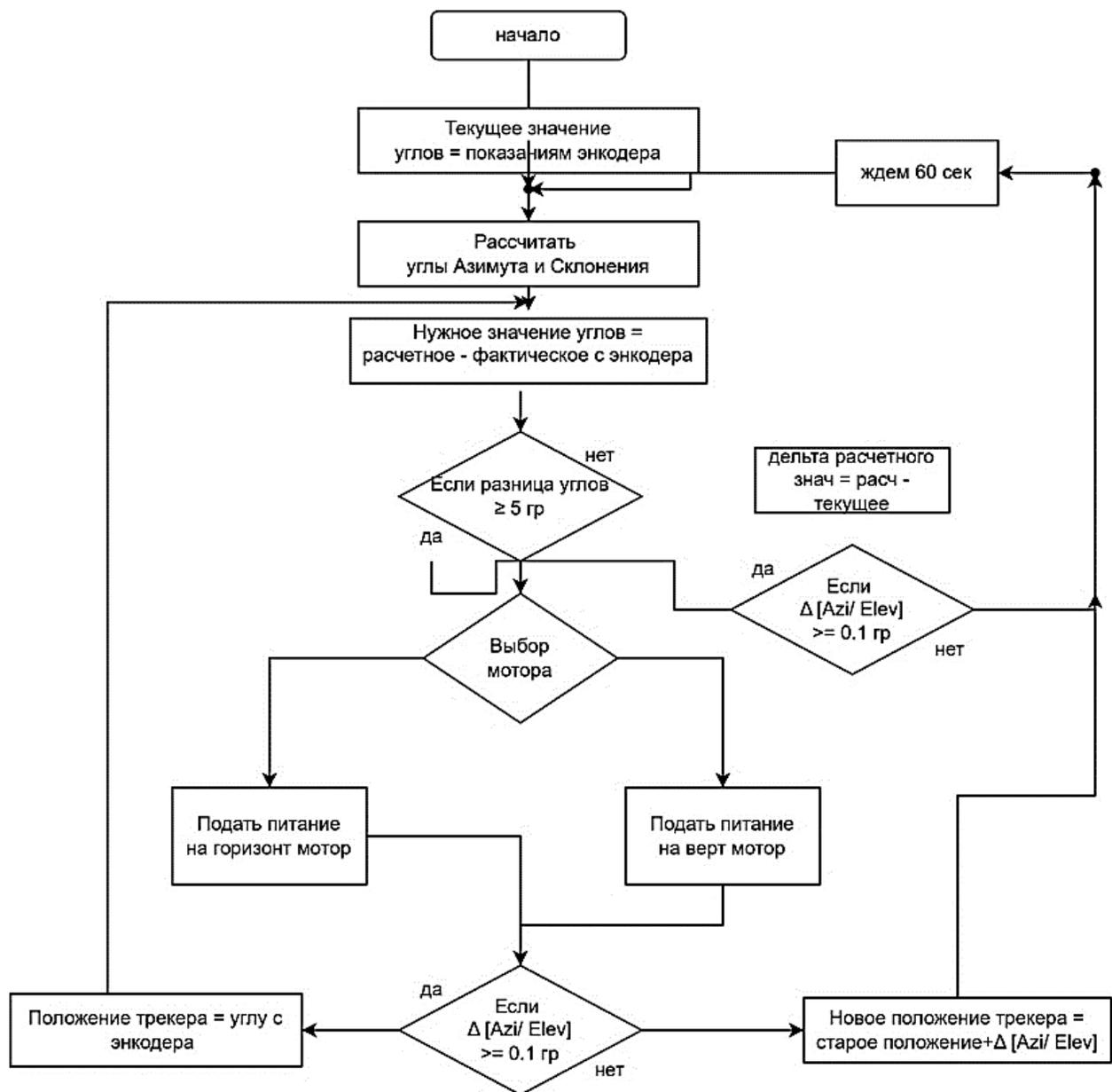


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма работы трекера

Рассматриваемый алгоритм реализует:

- расчет желаемого наклона солнечного трекера для максимального улавливания солнечной энергии на основе положения солнца и геометрии трекера;
- считывание текущего угла наклона трекера с помощью встроенного в привод вращения энкодера;
- вычисление разницы между желаемым углом и текущим углом, полученным с датчиков;

– проверку, не находится ли разница требуемого и фактического углов в пределах заданного значения. Если разница находится в пределах допустимого, переход к предыдущим шагам. Если разница выходит за пределы допустимого значения, подается сигнал на драйвер моторов для изменения положения солнечного трекера, с целью сведения разницы к минимуму;

– переход ко второму шагу по истечении 60 секунд ожидания и непрерывный повтор шагов 2-8 для постоянного отслеживания движения солнца в течение дня.

Алгоритм непрерывно повторяет эти шаги, чтобы отслеживать движение солнца в течение дня и оптимизировать улавливание солнечной энергии.



Рисунок 3 – Модель конструкции солнечного трекера

На рисунке 3 показаны виды модели конструкции трекера, на которых имеется несущая конструкция в виде металлической опоры с болтовым креплением к поверхности. Наклон солнечной панели осуществляется линейным приводом, прикрепленным к опоре под некоторым углом, горизонтальное вращение обеспечивается блоком размещающем в себе привод, реализующий червячную передачу с вала мотора на конструкцию панели. Червячная передача необходима для обеспечения необходимого крутящего момента с учетом веса солнечной панели и ветра, который может создавать значительную нагрузку. Она обеспечивает необходимый крутящий момент для плавного и точного перемещения. Панель крепится на регулируемый поддерживающий каркас из профильных соединений.

Реализация двухосевого солнечного трекера с использованием микроконтроллера ESP8266 может значительно повысить эффективность систем солнечной энергетики. Эта технология предлагает практическое решение для снижения энергозатрат и расширения использования возобновляемых источников энергии. Исследование предоставляет ценную информацию о потенциале микроконтроллеров для автоматизации солнечных трекеров и улучшения параметров процесса

выработки энергии. Эта технология потенциально может сыграть решающую роль в будущем возобновляемых источников энергии и их более широком внедрении.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Kononov Yu.V., Khaziev A.N.** New Technologies in Solar Power Plant Study in the MATLAB Program Applied to the Conditions of Angarsk City. (2021) Lecture Notes in Networks and Systems, 232 LNN S, pp. 760-770.

2. **Rylov A.V., Ilyushin P.V., Kulikov A.L, Suslov K.V.** Testing Photovoltaic Power Plants for Participation in General Primary Frequency Control under Various Topology and Operating Conditions. *Energies*, 2021, vol. 14, issue 16, 5179.

3. **Karamov D.N., Suslov K.V.** Structural optimization of autonomous photovoltaic systems with storage battery replacements. *Energy Reports*, 2021, 7, p. 349–358.

4. **Kononov Yu.V., Zasukhina O.A.** Cloud technologies in energy. *Journal of Physics: Conference Series*, 1680 (2020), статья № 012024, [Электронный ресурс] , URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85098553884&doi=10.1088%2f1742-6596%2f1680%2f1%2f012024&part>, DOI: 10.1088/1742-6596/1680/1/012024, (дата обращения: 18.05.2022).

5. **Мозохин А.Е., Шведенко В.Н.** Анализ направлений развития цифровизации отечественных и зарубежных энергетических систем *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2019. Т. 19. № 4. pp 657–672 Preprint doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-4-657-672.

6. **Jayaram A.** 2017 An IIoT quality global enterprise inventory management model for automation and demand forecasting based on cloud Proc. Int. Conf. on Computing, Communication and Automation (ICCCA) (Greater Noida, India) pp 1258–1263 (Preprint doi: 10.1109/CCAA.2017.8230011)

7. Energy storage for grid-connected and islanded microgrids: an overview of technologies, challenges, and future directions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020, URL: [Электронный ресурс] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120305783>, (дата обращения: 18.05.2022).

8. О цифровой трансформации энергетической отрасли // *Общественно-деловой научный журнал: «Энергетическая политика»* [Электронный ресурс], URL: <https://energypolicy.ru/o-czifrovoj-transformaczii-energeticheskoy-otrasli/neft/2021/19/05/> (дата обращения: 13.03.2022).

9. **Kolban, N.** Kolban's Book on the ESP32 & ESP8266. – 2015. – 436 p.