

СОЛНЕЧНЫЙ ТРЕКЕР С АВТОМАТИЧЕСКИМ НАВЕДЕНИЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Яблонская А.А., Помахо А.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Цявловская Н.В. – магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В рамках школьного исследовательского проекта разработан и изготовлен двухосевой солнечный трекер на базе микроконтроллера *Arduino Uno* с использованием четырёх миниатюрных солнечных панелей в качестве датчиков освещённости. Проведено сравнение выработки энергии трекером и стационарной панелью одинаковой площади (64 см^2) в реальных условиях преимущественно пасмурной погоды. Получен прирост среднего напряжения за день $\approx 28,1 \%$ (среднее $0,205 \text{ мВ}$ против $0,160 \text{ мВ}$). Экстраполяция на 1 м^2 даёт $\sim 125 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$ за 8 солнечных часов. Показано, что трекер позволяет сократить необходимую площадь панелей на $20\text{--}28 \%$ (в ясную погоду – до $40\text{--}50 \%$) для покрытия нужд семьи ($144 \text{ кВт} \cdot \text{ч/мес}$) или гимназии ($5610 \text{ кВт} \cdot \text{ч/мес}$). Обсуждаются конструкция, алгоритм *Ardublock*, энергозатраты привода и направления доработки: фоторезисторы *LDR* вместо панель-датчиков, *MPPT*-контроллер, дискретный режим слежения, астрономическое наведение. Проект подтверждает перспективность трекеров для регионов с умеренной инсоляцией и высокой облачностью, таких как север Беларуси.

Ключевые слова: солнечный трекер, автоматическое слежение за Солнцем, *Arduino*, солнечная панель, возобновляемые источники энергии, энергосбережение, школьный проект, эффективность, Витебская область

Введение. XXI век характеризуется острыми энергетической и экологической проблемами. В Республике Беларусь активно развивается использование возобновляемых источников энергии, включая солнечную [1, 2, 5]. По данным государственного кадастра ВИЭ, в стране функционирует 232 установки на ВИЭ общей мощностью $288,9 \text{ МВт}$, среди которых 14 – солнечные. Витебская область, несмотря на более низкую инсоляцию по сравнению с югом страны, реализует проекты вроде гелиоустановки «Пламя» ($1,6 \text{ МВт}$, Сенненский район) и малых систем в биосферных заповедниках и сельхозобъектах [2].

Стационарные панели достигают максимального КПД лишь около полудня. Солнечные трекеры, отслеживающие положение Солнца, позволяют существенно увеличить выработку энергии [3, 4].

Основная часть. Для изготовления солнечного трекера применена простая конструкция на деревянной раме, усиленной корпусом из МДФ. В качестве датчиков освещённости использованы четыре миниатюрные солнечные панели площадью по 16 см^2 каждая, извлечённые из садовых светильников. Панели размещены по периметру подвижной платформы и оснащены виниловыми заслонками, создающими теневые контрасты для определения направления на источник света. Поворот платформы обеспечивают два сервопривода: один отвечает за азимут с диапазоном около 160° , второй – за высоту с диапазоном до 60° . Управление осуществляется микроконтроллером *Arduino Uno* с платой-расширителем *Sensor Shield V5.0*, питание, программирование и отладка выполняются по *USB* от компьютера. Программная часть реализована в среде *Ardublock*. При включении или отсутствии освещения устройство устанавливается в исходное восточное положение. В рабочем режиме программа непрерывно считывает аналоговые сигналы с четырёх датчиков, вычисляет разности освещённости, определяет направление максимального света и выполняет пошаговый поворот примерно на 1° за цикл до выравнивания показаний всех датчиков. При падении освещённости ниже заданного порога система возвращается в исходное положение.

Для снижения энергопотребления предлагается переход на дискретный режим с поворотом платформы раз в $1\text{--}2$ часа. Эксперимент проводился в преимущественно пасмурную погоду каждые два часа с $8:00$ до $18:00$. Сравнивались две панели одинаковой

суммарной площади 64 см²: одна на трекере, вторая – стационарная с ориентацией на полдень. Диаграмма зависимости напряжения (мВ) солнечных панелей от времени суток в пасмурную погоду представлена на рисунке 1.

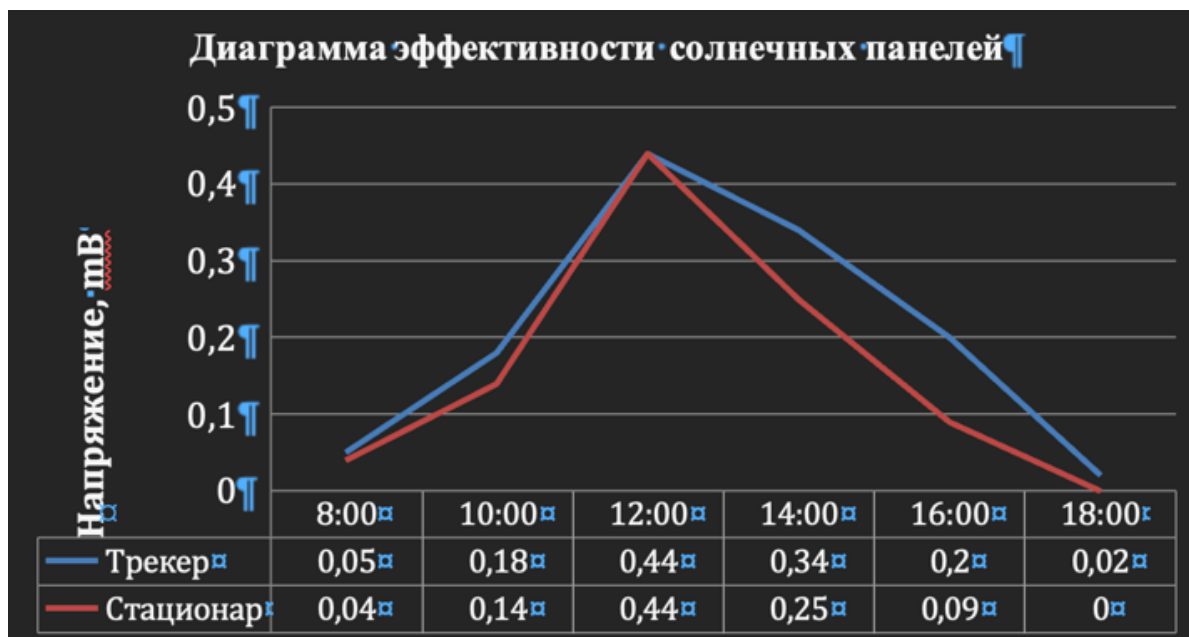


Рисунок 1 – Диаграмма зависимости напряжения от времени суток

В 8:00 трекер показал 0,05 мВ против 0,04 мВ у стационарной (+25 %), в 10:00 – 0,18 мВ против 0,14 мВ (+28,6 %), в 12:00 оба варианта дали 0,44 мВ, в 14:00 – 0,34 мВ против 0,25 мВ (+36 %), в 16:00 – 0,20 мВ против 0,09 мВ (+122 %), в 18:00 – 0,02 мВ против 0 мВ. Среднесуточное напряжение составило 0,205 мВ для трекера и 0,160 мВ для стационарной панели, что соответствует приросту около 28,1 %. Суммарная выработка за период наблюдений достигла 1,23 условных единиц у трекера против 0,96 у.е. у неподвижной панели. Наиболее выраженное преимущество трекера проявилось во второй половине дня. Литературные данные подтверждают полученные результаты: двухосевые трекеры в пасмурную погоду обеспечивают прирост 20–30 %, в ясную – до 40–50 % [3, 4]. Даже в условиях высокой облачности, типичной для северных регионов Беларуси, трекер демонстрирует заметное преимущество [5]. Исходя из условной выработки 125 Вт·ч на 1 м² за 8 солнечных часов, для семьи с месячным потреблением 144 кВт·ч стационарная система требует около 4,8 м² панелей, а применение трекера позволяет сократить площадь до 3,4–3,8 м² (на 20–28 %, в солнечные месяцы – до 40 %) [3]. Для гимназии с расходом 5610,9 кВт·ч в месяц стационарная система потребовала бы около 187 м², тогда как трекер существенно повышает реалистичность размещения установки на крыше здания. Ограничениями текущей конструкции являются заметное собственное энергопотребление при непрерывном слежении, недостаточная точность миниатюрных панелей как датчиков, отсутствие измерения тока и MPPT-контроллера.

Рекомендуемые улучшения включают переход на дискретный или спящий режим, замену датчиков на фоторезисторы, внедрение модуля INA219 и MPPT-контроллера [4]. В планах дальнейшего развития – проведение измерений в ясную погоду, круглогодичный мониторинг, создание масштабированной версии мощностью 100–200 Вт с реальной нагрузкой, расчёт экономической эффективности и добавление Wi-Fi-мониторинга на базе ESP32.

Заключение. Разработанный трекер на доступных компонентах увеличивает выработку энергии на 28,1 % в пасмурных условиях (прогноз до 40–50 % в солнечные дни), что особенно ценно для регионов с высокой облачностью, как Витебская область [5]. Трекеры позволяют сократить площадь панелей на крышах домов и школ, решая проблему ограниченного пространства. Проект может использоваться на уроках физики, информатики и экологии, а

также как демонстрационная модель для популяризации «зелёных» технологий.

Список литературы

1. Борисовский государственный колледж. Энергетическая проблема мирового уровня и Беларуси в частности. URL: <https://clck.ru/EqrN2> (дата обращения: 06.12.2018).
2. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. URL: <http://minpriroda.gov.by> (дата обращения: 06.12.2018).
3. Виссарионов В.И. и др. Солнечная энергетика. Методы расчетов. М.: МЭИ, 2008. 317 с.
4. Губилиско С. Альтернативная энергетика без тайн. М.: Эксмо-Пресс, 2010. С. 289–336.
5. Портал «Соседство ЕС». Всё ясно: как в Беларуси развивается солнечная энергетика. URL: <https://www.euneighbours.eu> (дата обращения: 06.12.2018).

UDC 621.383.51

SOLAR TRACKER WITH AUTOMATIC GUIDANCE TO INCREASE THE EFFICIENCY OF SOLAR PANELS

Yablonskaya A.A.; Pamakha Alesia

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

N.V. Tsyavlovskaya – Senior Lecturer at the Department of Engineering Psychology and Ergonomics, Master of Technical Sciences

Annotation. Within the framework of a school research project, a dual-axis solar tracker was designed and fabricated based on an Arduino Uno microcontroller, utilizing four miniature solar panels as light sensors. A comparative analysis was conducted of energy generation between the tracker and a stationary panel of identical area (64 cm²) under real-world conditions, predominantly cloudy weather. An average daily voltage increase of approximately 28.1% was obtained (mean values: 0.205 mV vs. 0.160 mV). Extrapolation to 1 m² yields approximately 125 Wh over 8 solar hours. It is demonstrated that the tracker enables a reduction in the required solar panel area by 20–28% (and up to 40–50% under clear weather) to meet the energy needs of a household (144 kWh/month) or a gymnasium (5610 kWh/month). The design, Ardublock-based algorithm, drive power consumption, and potential improvements are discussed, including replacement of sensor panels with LDR photoresistors, integration of an MPPT controller, discrete tracking mode, and astronomical positioning. The project confirms the promising potential of solar trackers in regions with moderate insolation and high cloud cover, such as northern Belarus.

Keywords: solar tracker, automatic sun tracking, Arduino, solar panel, renewable energy sources, energy saving, school project, efficiency, Vitebsk region