

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 4 (2023)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/SMUR2431>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.
к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *д.т.н., профессор*
Алиферов А.И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Кошеков К.Т., *д.т.н., профессор*
Приходько Е.В., *к.т.н., профессор*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD*
Омарова А.Р., *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/ZUNP4311>

***Н. Б. Құттыбай¹, М. А. Кусаин², Н. Ж. Қошқарбай³,
Ш. Б. Айтбекова⁴, Б. Е. Есен⁵**

^{1,2,3,4,5}Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби,
Республика Казахстан, г. Алматы

*e-mail: nurjigit.10.93@gmail.com

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНЫХ ТРЕКЕРОВ

Солнечная энергетика продолжает расти в значимости и актуальности, и ее развитие играет важную роль в переходе к более устойчивой и экологически чистой энергетике. Повышение эффективности фотоэлектрических установок является одной из приоритетных задач в сфере возобновляемых источников энергии. Повышение эффективности фотоэлектрических систем на сегодняшний день осуществляется следующими методами: посредством изменения структуры солнечного элемента и применения различных механических конструкций фотоэлектрической системы. Целью исследования является изучение и оптимизация процесса преобразования солнечной энергии в электрическую энергию с использованием солнечных трекеров. В данной работе разработаны и исследованы системы слежения за Солнцем. Смоделированы и построены конструкции одноосных и двухосных солнечных трекеров. Собирается электронный блок управления на основе микроконтроллера. Алгоритм работы трекеров основан на астрономических вычислениях координат движения Солнца. Экспериментально измерена мощность солнечных панелей в различных погодных условиях при использовании двухосных и одноосных систем слежения за Солнцем. В результате проведенных исследований было установлено, что солнечные трекеры производят в среднем на 13-16 % больше энергии по сравнению со стационарной установкой в зависимости от погодных условий.

Ключевые слова: солнечная энергетика, солнечный трекер, микроконтроллер, радиомодуль, мониторинг.

Введение

Рост численности населения в мире приводит к большому потреблению энергии и большим нагрузкам на энергетический сектор. Сегодня углеводородные ресурсы истощаются весьма быстрыми темпами. Кроме того, следует учесть и антропогенное воздействие путём сжигания органического топлива, которое уже привело к ухудшению экологической ситуации на нашей планете. Учитывая вышеперечисленные проблемы, сегодня развитие экологической чистой энергетики является актуальной задачей во всем мире. Одним из наиболее перспективных вариантов развития альтернативной энергетики в промышленном, хозяйственном и частном секторе является солнечная энергетика [1].

Солнечные батареи позволяют напрямую преобразовывать солнечное излучение в электричество. Но, выпускающиеся сегодня в промышленном масштабе солнечные элементы имеют низкий КПД (в основном кремниевые). Кроме физических ограничений генерации электрической энергии солнечными элементами, обусловленных структурой и материалом самого кристалла, так же существует и проблема неэффективного использования падающих солнечных лучей вследствие других факторов [2].

На сегодняшний день существуют различные методы и технологии, повышающие эффективность работы автономных фотоэлектрических систем. Системы слежения за Солнцем являются одним из таких методов и делятся на две основные группы в зависимости от степеней свободы механизма: одноосные трекеры и двухосные трекеры. Одноосная система имеет одну степень свободы и обычно отслеживает движение солнца с востока на запад. Двухосная система следует за движением солнца с востока на запад и может изменять угол в вертикальной плоскости вслед за высотой Солнца. Оба трекера повышают эффективность при преобразовании солнечной энергии в электрическую по сравнению со стационарными фотоэлектрическими системами [3].

Методы контроля и управления для установки систем слежения за Солнцем в оптимальное положение используют датчики солнечного излучения или системы управления с микропроцессором на основе даты и местного времени [4].

Для управления системой слежения за Солнцем используются различные типы датчиков: фоторезисторы (LDR), оптические датчики света и датчики интенсивности света. В большинстве работ применяются фоторезисторы (LDR) в качестве датчиков для определения положения Солнца [5–9]. Однако такие системы управления не всегда являются эффективными для систем слежения за Солнцем. На оптические датчики может воздействовать отраженный или рассеянный свет, исходящий от окружающих препятствий.

В случае изменения погодных условий такие системы потребляют дополнительную энергию при поиске Солнца. Такие системы слежения позволяют отслеживать положение Солнца только в ясный день [10–14].

Второй тип управления системами слежения за Солнцем основан на расчетах движения Земли вокруг Солнца. В различных исследованиях солнечный трекер управлялся микроконтроллерным блоком (MCU) и вспомогательными устройствами, которые включают в себя энкодер и систему глобального позиционирования (GPS), которые определяют точный угол поворота трекера и точную координату положения трекера [15]. В микропроцессор заранее программируются математические формулы для расчёта положения Солнца в любой момент времени [16]. Основное преимущество таких трекеров по сравнению с трекерами на основе фотодатчиков является его точная ориентация к Солнцу в любых погодных условиях [17].

Таким образом в данной статье разработаны и изготовлены солнечные трекеры с одной осью вращения и двумя осями вращения. Проведены эксперименты для сравнения выходных мощностей разработанных установок и стационарной солнечной панели при различных погодных условиях. Для эффективной работы солнечных трекеров в различных погодных условиях был применён трекер с временным алгоритмом работы. Были сравнены работы стационарной установки, одноосного и двухосного трекеров, произведена оценка стабильности и эффективности работы системы.

Материалы и методы

Установка состоит из трёх одинаковых солнечных панелей SAKOPOLY-60W как показано на рисунке 1 в блоке под номером 1, каждая панель установлена на металлический каркас. Первая панель установлена стационарно под оптимальным углом 45° к горизонту. Вторая панель установлена на механизм одноосного солнечного трекера. Третья панель установлена на механизм двухосного солнечного трекера. Конструкции исследуемого одноосного и двухосного трекеров схожи между собой. Алгоритм слежения за Солнцем основан на нахождении координаты Солнца по астрономическим расчётам. В блоке под номером 2 расположены датчики тока и напряжение, которые производят измерения тока и напряжения до преобразования; в блоке номер 3 расположены MPPT контроллер и коммерческий ШИМ контроллер; в блоке 4 находятся датчики тока и напряжения, измеряющие электрические величины на выходе контроллеров; блок 5 представляет собой аккумулятор с ёмкостью 120 Ач в качестве нагрузки фотоэлектрической системы; блок 6 – это блок управления общей системой и обработки данных, получаемых от датчиков для дальнейшей

передачи через беспроводной модуль; 7 блок является беспроводным модулем LoRa E32 для передачи данных.

Математические расчеты и электронные блоки управления солнечными трекерами приведены ниже.

Трекеры с временным алгоритмом рассчитывают траекторию движения Солнца исходя из законов движения Земли вокруг Солнца. С этой целью рассчитывается угол склонения δ (1), высота Солнца α (2), а также азимутальный угол положения Солнца β (3) [18]. Рассчитанные координаты Солнца для каждого дня в течении года записываются во внешнюю карту памяти, слот для которой находится в электронном блоке управления системы.

$$\delta = \sin^{-1} \left(\sin(23.45^\circ) \sin \left(\frac{360}{365} (d - 81) \right) \right) \quad (1)$$

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\sin(\delta) \sin(\phi) + \cos(\delta) \cos(\phi) \cos(15^\circ(LST - 12)) \right) \quad (2)$$

$$\gamma = \sin^{-1} \left(\frac{\sin(\delta) \sin(\phi) + \cos(\delta) \cos(\phi) \cos(15^\circ(LST - 12))}{\cos(\alpha)} \right) \quad (3)$$

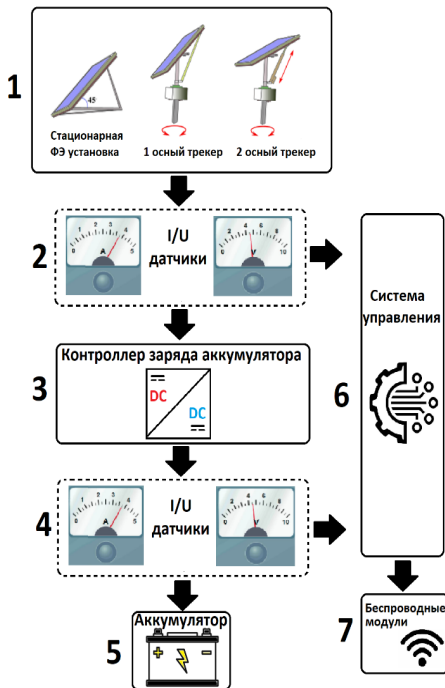


Рисунок 1 – Общая блок схема фотоэлектрической установки

На рисунке 2 показан электронный блок управления солнечного трекера. Обе системы работают схожим образом. Различие между трекерами заключается в добавлении датчика наклона панели в вертикальной плоскости и второго мотора для ориентации панели в вертикальной плоскости. Все компоненты питаются от аккумулятора с номинальным напряжением 12 В (Bat 12V). Датчики и микроконтроллер подключены к источнику питания через стабилизатор напряжения на 5 В (VR 7805). Внешний накопитель (SD card) данных подключен через стабилизатор напряжения на 3,3 В (AMS1117). Система определяет дату и время с помощью установленных часов реального времени (DS1307). Вращение механизмов трекера в горизонтальной плоскости осуществляется с помощью мотора постоянного тока (M1), вращение панели в вертикальной плоскости осуществляется с помощью линейного актуатора с выдвижным штоком M2 (используется в двухосном трекере). Оба мотора работают через драйвер (L298N). Угол поворота панели по азимуту определяется с помощью энкодера (E). Для

двухосного трекера угол наклона панели определяется с помощью гироскопа (GY-521). Система использует два датчика напряжения, с разрешением до 20 В, выполненные на основе делителей напряжения R4, R5 и R11, R12. Так же используются два датчика тока ACS712 с разрешением до 20 А (ACS712). Одна пара датчиков тока и напряжения подключена к выходу солнечной панели, другая пара датчиков тока и напряжения подключена к выходу МРРТ/ШИМ контроллеров. Измеренные значения отправляются к диспетчеру через беспроводной модуль (LoRa E32-1W).

Теперь рассмотрим алгоритм работы систем слежения за Солнцем. На рисунке 3 показана блок-схема алгоритма работы системы слежения за Солнцем. Система является автономной.

После включения системы микроконтроллер обращается к датчику реального времени DS1307 для определения точной даты (d) и времени (t). Далее обращается к SD card для того, чтобы найти соответствующее расписание углов поворота мотора. В случае если во время включения Солнца нет, то система остается в начальном положении, если время восхода прошло, то по времени определяется азимутальный угол Солнца (β) и производится поворот трекера к нужному углу. Одновременно с мотором постоянного тока включается и цифровой компас для измерения азимутального угла трекера. Поворот трекера производится до тех пор, пока цифровой компас не показывает нужный угол. После установки в нужное положение, система измеряет ток (I1) и напряжение (U1) от солнечной панели, выходной ток (I2) и напряжение (U2) от контроллера заряда аккумулятора. Микроконтроллер эти данные отправляет в диспетчерский центр через беспроводной модуль LoRa E32-1W. Затем система уходит в спящий режим на 15 мин. Рабочий цикл повторяется до тех пор, пока микроконтроллер не определит заход Солнца. Если Солнце зашло, то система определяет угол восхода Солнца на следующий день и устанавливает трекер в начальное положение. Для двухосного трекера производятся аналогичные запросы высоты Солнца α , измерение угла наклона производится с помощью гироскопа.

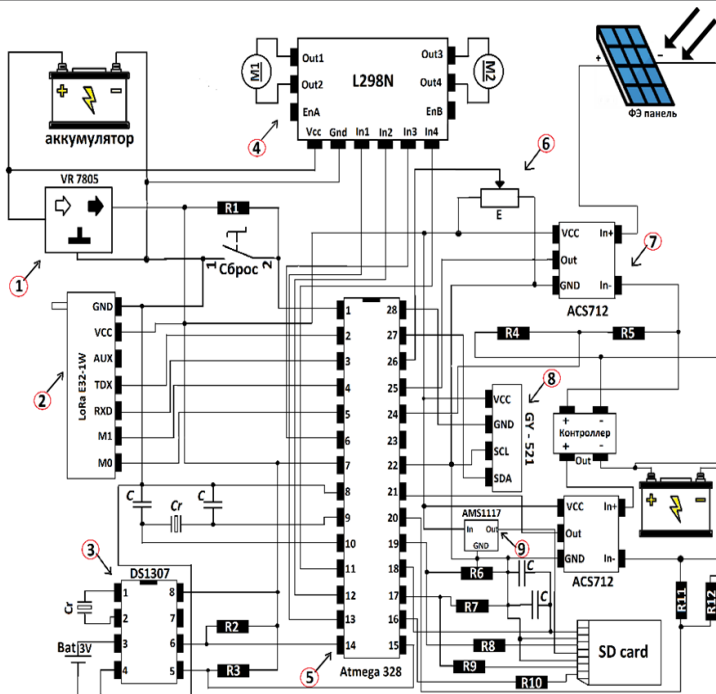


Рисунок 2 – Принципиальная электрическая схема блока управления солнечного трекера (1 – стабилизатор напряжения на 5 В VR 7805; 2 – беспроводной модуль LoRa E32-1W; 3 – часы реального времени DS1307; 4 – драйвер L298N; 5 – микроконтроллер Atmega328); 6 – энкодер E; 7 – датчик тока ACS712; 8 - гироскопа GY-521)

Результаты и обсуждение

Экспериментальные работы проводились на территории КазНУ им. аль-Фараби, Алматы. Целью исследования было сравнение эффективности работы разработанных солнечных трекеров в различных погодных условиях. На рисунке 4 показано исследуемая экспериментальная установка. Здесь: 1 – стационарная фотоэлектрическая установка, 2 – двухосный трекер, 3 – одноосный трекер, 4 – электронный блок управления и аккумуляторные батареи подключенные к выходу контроллеров заряда батареи в качестве нагрузки.

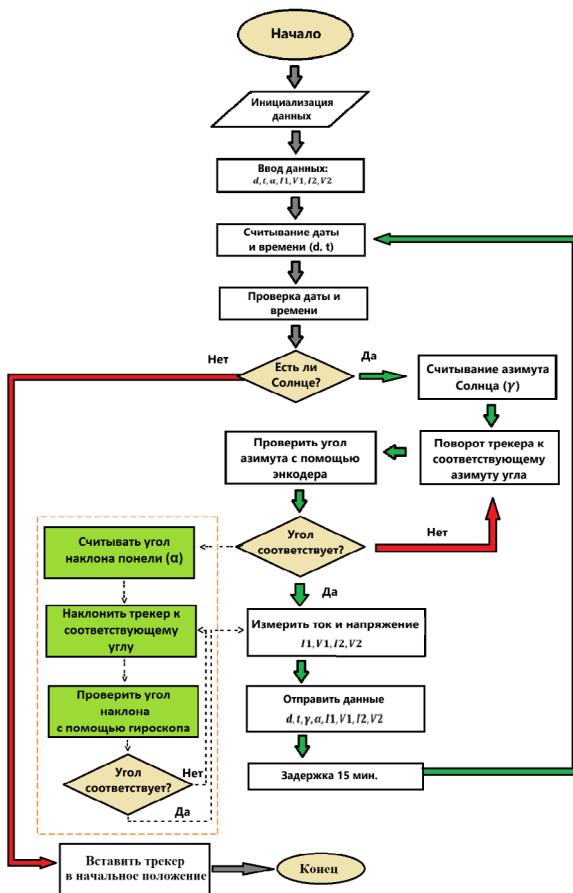


Рисунок 3 – Алгоритм работы солнечных трекеров на основе астрономической времени

Экспериментальные работы проведены в ясные дни и при переменной облачности. 28 сентября была солнечная погода с небольшой дымкой, 29 сентября была переменная облачность. На рисунке 5 показаны графики выходных мощностей стационарной солнечной панели с одноосным трекером (рисунок 5а) и двухосным трекером (рисунок 5б), также одноосного и двухосного трекера (рисунок 5в).

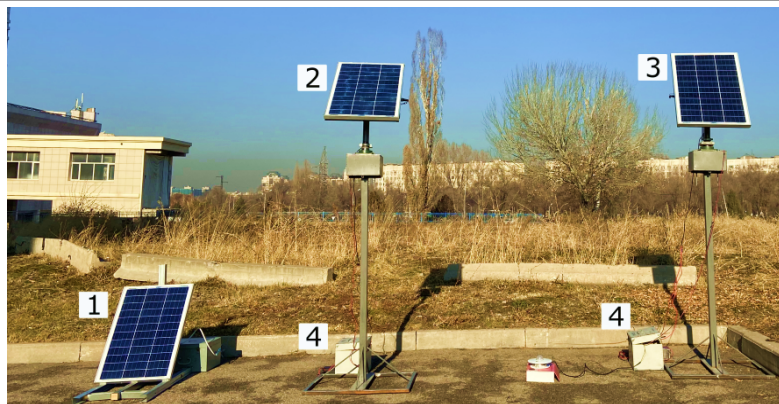


Рисунок 4 – Экспериментальная установка

Рисунок 5 – Сравнение выходной мощности стационарной солнечной панели с одноосным трекером (а) и двухосным трекером (б), также трекеров между собой (в)

Выходная средняя мощность одноосного трекера на 13 % (28.09) и 12 % (29.09) больше, чем у стационарной системы. Выходная мощность двухосного трекера на 16 % (28.09) и 15 % (29.09) больше, чем у стационарной системы. По сравнительным данным, одноосного и двухосного трекера, было определено, что вторая система на 3% (28.09) и 4 % (29.09) производит больше энергии (рисунок 6).

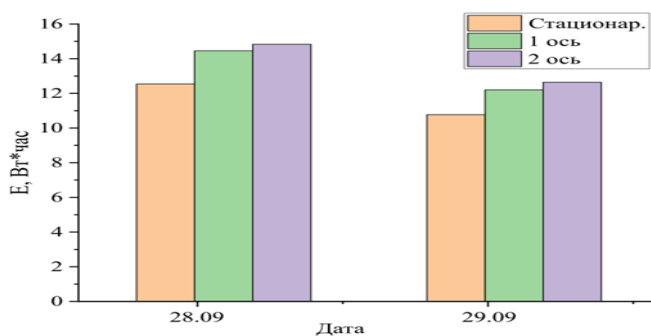


Рисунок 6 – Сравнительная диаграмма произведение энергии фотоэлектрических установок

В данной статье сконструированы фотоэлектрические установки со стационарным, одноосным и двухосным механизмом. Собраны электронные блоки управления систем слежения за Солнцем. Разработан алгоритм работы трекеров на основе управления по времени. Произведено сравнение стационарной солнечной панели, одноосного трекера и двухосного трекера в различных погодных условиях. В результате экспериментальных работ было выявлено, что одноосные и двухосные трекеры производят энергию соответственно на 13 % и 16 % больше по сравнению со стационарной фотоэлектрической установкой. Производительность двухосного солнечного трекера больше на 4 % по сравнению с одноосным. В солнечных, ясных погодных условиях эти сравнительные показания могут увеличиться намного больше. Исследуемые фотоэлектрические системы могут применяться в различных сферах нуждающихся в электрической энергии.

REFERENCES

- 1 **Islam M. T. et al.** A comprehensive review of state-of-the-art concentrating solar power (CSP) technologies: Current status and research trends //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018. – Vol. 91. – P. 987-1018. – <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.097>
- 2 **Ocloń P. et al.** Modeling and experimental validation and thermal performance assessment of a sun-tracked and cooled PVT system under low solar irradiation //Energy Conversion and Management. – 2020. – Vol. 222. – P. 113289. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113289>
- 3 **Singh, R. et al.** An imperative role of sun trackers in photovoltaic technology: A review //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018. – Vol. 82. – P. 3263–3278. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.018>
- 4 **Nadia A. L. R., Isa N. A. M., Desa M. K. M.** Advances in solar photovoltaic tracking systems: A review // Renewable and sustainable energy reviews. – 2018. – Vol. 82. – P. 2548–2569. – <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.077>
- 5 **Al-Mohamad, A.** Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a Sun-tracking system // Applied Energy. – 2004. – Vol. 79. – №. 3. – P. 345-354. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2003.12.004>
- 6 **Sefa I., Demirtas M., Çolak I.** Application of one-axis sun tracking system //Energy conversion and Management. – 2009. –Vol. 50. – № 11. – P. 2709–2718. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.06.018>
- 7 **Chin, C. S., Babu A., McBride, W.** Design, modeling and testing of a standalone single axis active solar tracker using MATLAB/Simulink // Renewable Energy. – 2011. – Vol. 36. – №. 11. – P. 3075–3090. – <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.026>.

8 **Barsoum, N. et al.** Fabrication of dual-axis solar tracking controller project //Intelligent Control and Automation. – 2011. – Vol. 2. – № 02. – P. 57. [doi:10.4236/ica.2011.22007](https://doi.org/10.4236/ica.2011.22007)

9 **Hoffmann, F. M. et al.** Monthly profile analysis based on a two-axis solar tracker proposal for photovoltaic panels //Renewable energy. – 2018. – T. 115. – P. 750–759. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.08.079>

10 **Ahmed, R. et al.** Computer vision and photosensor based hybrid control strategy for a two-axis solar tracker–Daylighting application // Solar Energy. – 2021. – Vol. 224. – P. 175–183. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.05.077>

11 **Tudorache, T., Kreindler L.** Design of a solar tracker system for PV power plants //Acta Polytechnica Hungarica. – 2010. –Vol. 7. – №. 1. – P. 23–39.

12 **Pattanasethanon, S.** The solar tracking system by using digital solar position sensor //Am. J. Eng. Applied Sci. – 2010. – Vol. 3. – P. 678–682.

13 **Ghassoul, M.** A dual solar tracking system based on a light to frequency converter using a microcontroller //Fuel Communications. – 2021. – Vol. 6. – P. 100007. <https://doi.org/10.1016/j.fueco.2020.100007>

14 **Ghassoul, M.** Single axis automatic tracking system based on PILOT scheme to control the solar panel to optimize solar energy extraction //Energy Reports. – 2018. – Vol. 4. – P. 520–527. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2018.07.001>

15 **Gregor, R. et al.** Biaxial solar tracking system based on the MPPT approach integrating ICTs for photovoltaic applications //International Journal of Photoenergy. – 2015. – Vol. 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/202986>

16 **Huang, B. J., Ding, W. L., Huang, Y. C.** Long-term field test of solar PV power generation using one-axis 3-position sun tracker //Solar energy. – 2011. – Vol. 85. – №. 9. – P. 1935–1944. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.05.001>

17 **Şenpinar, A., Cebeci, M.** Evaluation of power output for fixed and two-axis tracking PVarrays //Applied Energy. – 2012. – Vol. 92. – P. 677–685. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.07.043>

18 **Kuttybay N. et al.** Optimized single-axis schedule solar tracker in different weather conditions //Energies. – 2020. – Vol. 13. – №. 19. – P. 5226. <https://doi.org/10.3390/en13195226>

Принято к изданию 28.11.23.

*Н. Б. Құттыбай¹, М. А. Қусаин², Н. Ж. Қошқарбай³, Ш. Б. Айтбекова⁴,
Б. Е. Есен⁵*

^{1,2,3,4,5}Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

Басып шығаруға 28.11.23 қабылданды.

КҮН ТРЕКЕРЛЕРІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ФОТОЭЛЕКТРЛІК ЖҮЙЕЛЕРДІҢ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ

Күн энергиясының маңыздылығы мен өзектілігі артып келеді және оның дамуы тұрақты және таза энергияға көшуде маңызды рөл атқарады. Фотоэлектрлік қондырғылардың тиімділігін арттыру жақартылатын энергия көздері саласындағы басым бағыттардың бірі болып табылады. Фотоэлектрлік жүйелердің тиімділігін арттыру бүгінгі күні келесі әдістерді қолдану арқылы жүзеге асырылады: өндірілген күн батареясының құрылымын өзгерту және фотоэлектрлік жүйенің әртүрлі механикалық құрылымдарын қолдану арқылы. Зерттеудің мақсаты – күн трекерлерінің көмегімен күн энергиясын электр энергиясына түрлендіру процесін зерттеу және оңтайландыру. Бұл жұмыста күнді бақылау жүйелері жасалып, зерттелді. Бір осьті және екі осьті күн трекерлерінің конструкциялары үлгіленді және салынды. Микроконтроллерге негізделген электронды басқару блогы құрастырылды. Трекерлердің жұмыс алгоритмі Күн қозғалысының координаталарының астрономиялық есептеулеріне негізделген. Тәжірибе жұмыстары әртүрлі ауа райы жағдайында, ашық және бұлтты күндері жүргізілді. Күн батареяларының өндірілген электрлік сипаттамалары есептелді, ал алынған мәліметтер негізінде графикалық көрсеткіштер құрастырылды. Салыстырмалы зерттеулер нәтижесінде күн трекерлері ауа райы жағдайына байланысты стационарлық қондырғымен салыстырғанда орташа есеппен 13–16 % көп энергия өндіретіні анықталды.

Кілтті сөздер: күн энергиясы, күн трекері, микроконтроллер, радиомодуль, мониторинг.

**N. B. Kuttybay¹, M. A. Kussain², N. J. Koshkarbay³, Sh. B. Aitbekova⁴, B. Ye. Yessen⁵*

^{1,2,3,4,5}Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan, Almaty.

Accepted for publication on 28.11.23

IMPROVING THE EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS USING SOLAR TRACKERS

Solar energy continues to grow in importance and relevance, and its development plays a significant role in the transition to more sustainable and clean energy. Increasing the efficiency of photovoltaic systems is one

of the priorities in the field of renewable energy sources. Increasing the efficiency of photovoltaic systems today is carried out using methods: changing the structure of the manufactured solar cell and using various mechanical structures of the photovoltaic system. The purpose of the study is to study and optimize the process of converting solar energy into electrical energy using solar trackers. In this work, solar tracking systems have been developed and studied. The designs of single-axis and dual-axis solar trackers were modeled and built. An electronic control unit based on a microcontroller has been assembled. The trackers' operating algorithm is based on astronomical calculations of the coordinates of the Sun's movement. Experimental work was carried out in various weather conditions, on clear and cloudy days. The electrical characteristics of solar panels were calculated, and graphs were constructed based on the data obtained. As a result of comparative studies, it was determined that solar trackers produce on average 13–16 % more energy compared to a stationary system, depending on weather conditions.

Keywords: solar energy, solar tracker, microcontroller, radio module, monitoring.

Теруге 28.11.2023 ж. жіберілді. Басуға 29.12.2023 ж. кол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4175

Сдано в набор 28.11.2023 г. Подписано в печать 29.12.2023 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4175

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz