

УДК 681.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-1-272-49-53

*А. Ю. Горелова, Е. Е. Камакшин***СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: eugeny.kamakshin@yandex.ru

Рассматривается возможность внедрения программного обеспечения, основанного на математической модели движения Земли вокруг Солнца, для системы управления приводом солнечной панели с целью увеличения КПД солнечной батареи и приближения к применению в промышленных условиях. Описана методика проведения эксперимента о влиянии угла наклона солнечной панели на выходную мощность, а также разработана схема управления шаговым двигателем для ориентации солнечной панели в пространстве.

Ключевые слова: зеленый источник энергии, слежение за солнцем, система управления, солнечные панели, поворотный привод, математическая модель, повышение КПД.

*A. Yu. Gorelova, E. E. Kamakshin***AUTOMATIC TRACKING SYSTEM FOR THE SUN****Volgograd State Technical University**

The possibility of implementing software based on a mathematical model of the Earth's motion around the Sun for a solar panel drive control system is being considered in order to increase the efficiency of the solar battery and bring it closer to application in industrial conditions. The method of conducting an experiment on the influence of the angle of inclination of the solar panel on the output power is described, and a stepper motor control scheme for the orientation of the solar panel in space is developed.

Keywords: green energy source, tracking the sun, control system, solar panels, rotary drive, mathematical model, efficiency improvement.

Современные системы данного класса являются сложными следящими системами, состоящими из датчиков освещенности, датчиков положения, акселерометров, датчиков тока и напряжения, которые в процессе эксплуатации потребляют немалое количество электроэнергии, а также подвергаются существенному

воздействию климатических, механических и других факторов [2].

В ходе исследования были проанализированы существующие следящие системы за солнцем и выявлены их недостатки.

Система, изображенная на рис. 1, состоит из неподвижной рамы, с закрепленными на ней солнечными панелями, из трех приводов актуаторов, которые позволяют позиционировать панели в двух плоскостях, а также блока управления, состоящего из контроллера и ряда датчиков. Система выполнена в виде двух активных датчиков - фоторезисторов.

Основным недостатком такой конструкции является то, что в данной системе используется фоторезистивный датчик слежения за Солнцем, который в условиях пасмурной погоды будет подавать на блок управления ложные показания, что снизит эффективность системы.

Система, изображенная на рис. 2, состоит из подвижной рамы, на которой закреплены солнечные батареи, двух двигателей постоянного тока, блока управления в виде микроконтроллера, принимающего сигналы от датчика тока и напряжения, а также датчики положения вертикального и горизонтального валов. Управление приводами производится через силовой модуль, содержащий транзисторные и релейные ключи.

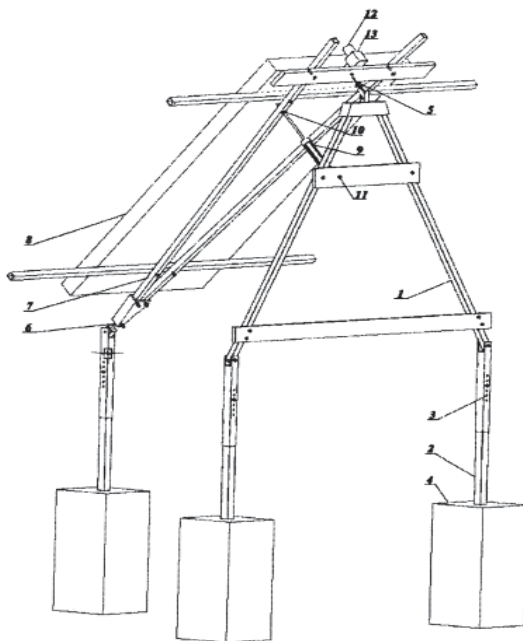


Рис. 1. Устройство слежения за солнцем с фоторезистивным датчиком

Из недостатков можно выделить то, что в системе используются два вида датчиков, которые будут понижать выходной КПД солнечных батарей. Помимо этого, датчик тока и напряжения может отправлять сигналы на блок управления, которые заставят приводы совершать лишние движения и также понижать выходной КПД системы. Система лишена возможности плавного пуска электродвигателей, за счет того, что в блоке управления отсутствует ПИД регулятор или понижающий редуктор для самих двигателей.

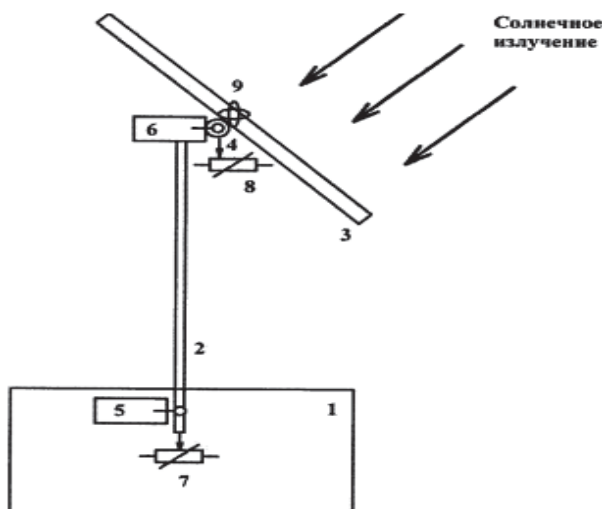


Рис. 2. Устройство слежения за Солнцем

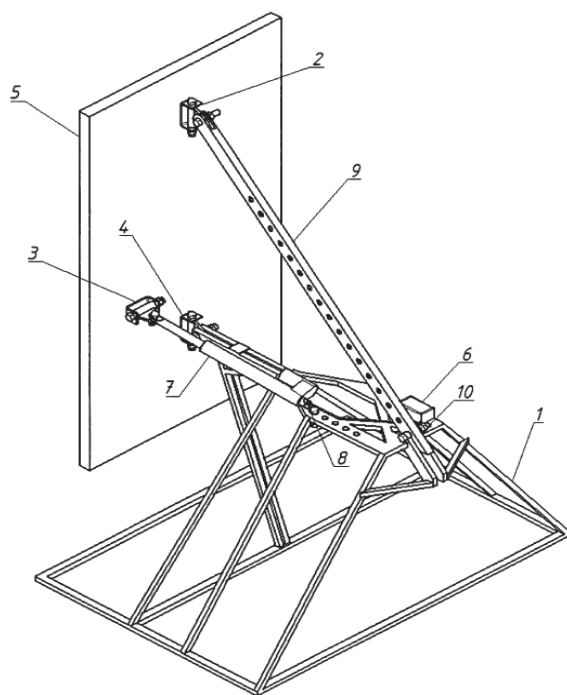


Рис. 3. Поворотное устройство

Система, изображенная на рис. 3, состоит из блока управления с микроконтроллером, в качестве электромеханического привода для азимутального поворота солнечной батареи используется линейный актуатор, для установки зенитального угла используется регулируемая опора.

Основным недостатком такой конструкции является малая энергоэффективность из-за отсутствия второго электродвигателя азимутального поворота солнечной батареи, возможна только ручная регулировка. Использование датчика освещенности обрекает систему на неточное позиционирование солнечной батареи в условиях пасмурной погоды, а также подвержен загрязнению. Все эти системы объединяет один недостаток – все используют датчики с обратной связью. То есть с одной стороны они повышают КПД, но с другой большая часть энергии тратится на работу самой системы. Мы предлагаем решить задачу повышения эффективности солнечных панелей за счет внедрения в систему программного обеспечения, основанного на математической модели движения солнца, которая позволит сократить расход электроэнергии.

Для оценки эффективности подхода необходимо выяснить, как именно влияет освещенность на выходную мощность батареи. Под приведенным углом панели имеется в виду угол, на который нужно будет повернуться солнечной панели относительно солнца так, чтобы она максимально освещена. Для подтверждения этого факта проведен эксперимент, показывающий зависимость влияния положения солнца на выходную мощность солнечных батарей [5].

Влияние положения солнца на мощность солнечных панелей

Приведенный угол α , °	U , В	I , мА	P , Вт
90	14,2	142	2,026
100	14,2	140	1,998
110	14,0	136	1,904
120	13,8	120	1,656
130	13,6	104	1,414
140	13,2	88	1,162
150	12,4	68	0,843
160	11,8	54	0,637
170	10,7	49	0,524
180	9,8	36	0,353

Из результатов данного эксперимента видно что панель вырабатывает максимальную мощность тогда, когда направлена непосредственно на солнце. В качестве панелей использовались маломощные 9-вольтовые панели.

Солнце движется по весьма предсказуемой траектории, его положение на небе можно вычислить математически, с точностью до долей градуса, зная географические координаты наблюдения, направления на север и местное время. Существует возможность задать положение панели программно, не тратя дополнительную энергию на работу датчиков освещенности, например. ПО будет принимать на вход время и координаты (долготу, широту), а на выходе выдавать информацию о солнце: его азимут по времени, возвышение по времени, угол склонения, а также приведенный угол панели [4].

К факторам, которые влияют на интенсивность выработки солнечной электроэнергии от-

носятся азимутальное положение солнечной панели и высота солнца над горизонтом.

Каждый из этих двух параметров можно вычислить математически [6].

1. Высота солнца над горизонтом:

$$h = \arcsin(\sin(\delta)\sin(\varphi) + \cos(\delta) * \cos(\varphi)\cos(t)),$$

где δ – склонение светила; φ – широта точки наблюдателя; t – часовой угол.

2. Угол азимута.

$$A = \arctg(\cos(\delta) \sin(t), \cos(\delta) \sin(\varphi) \cos(t) - \sin(\delta) \cos(\varphi))$$

Для того чтобы иметь представление в каких пределах должны вращаться приводы, были вычислены значения азимута и высоты солнца в дни летнего и зимнего солнцестояния для широты и долготы, соответствующие положению Волгограда, и построены графики зависимости двух параметров от времени (рис. 4, 5).

21 ДЕКАБРЯ 2022 ГОДА

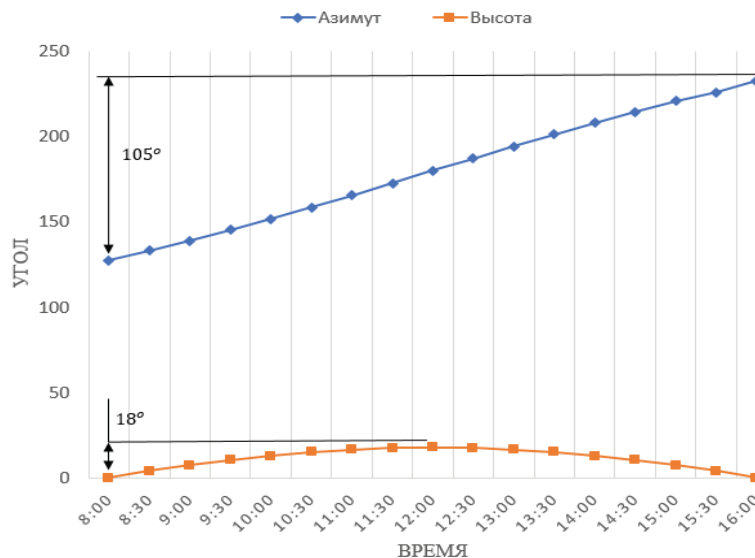


Рис. 4. Зависимость азимута и угла места от времени 21 декабря 2022 года

В ходе исследования разработан макет следящей системы, которая поворачивает панели в одной плоскости. В нем в качестве привода

используется шаговый двигатель NEMA17, драйвер A4988, контроллер ESP 32 [1].

21 ИЮНЯ 2023 ГОДА

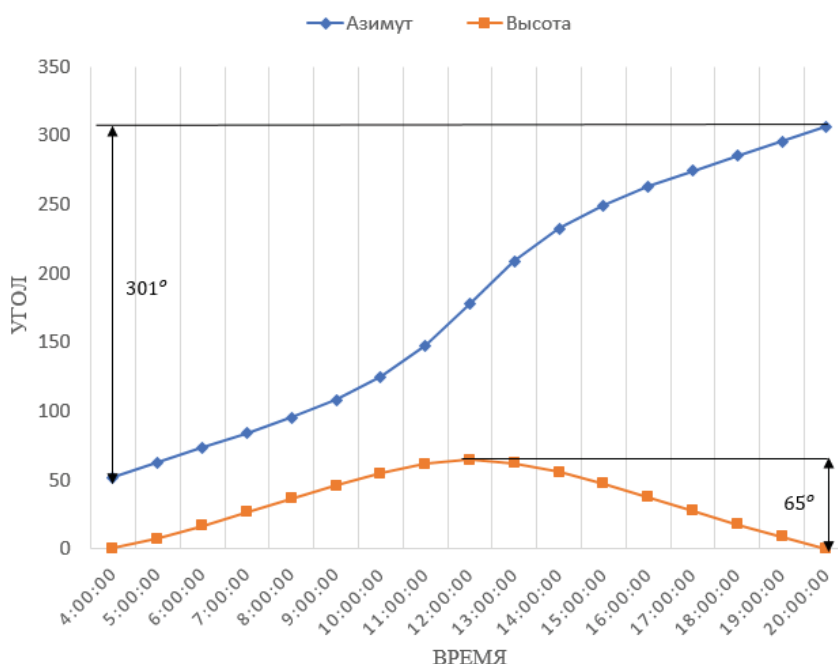


Рис. 5. Зависимость азимута и угла места от времени 21 июня 2023 года

На рис. 6 изображена система слежения за солнцем, которая вращает панели только в одной плоскости. Чтобы получать максимальное количество энергии от солнца необходимо точно ориентировать панели относительно солнца в двух плоскостях, используя два привода. Один будет отвечать за поворот по азимуту, а другой за поворот по высоте солнца [3].

Для того, чтобы система могла работать автономно, чтобы контроллер не выключался периодически от нехватки электроэнергии, необходимо рассчитать, какое количество солнечных панелей будет питать систему [7]. Для макета используются солнечные панели с номинальным напряжением на выходе 9 В. Заявленная мощность составляет 1 Вт.

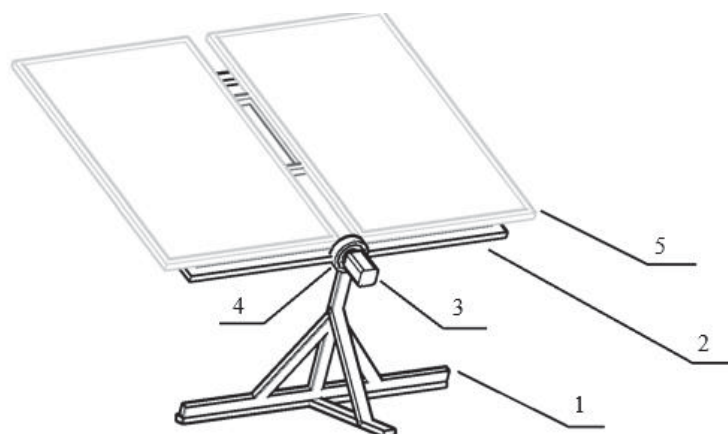


Рис. 6. Макет следящей за Солнцем системы:
1 – стойка; 2 – рама; 3 – привод для азимутального вращения;
4 – подшипник, 5 – солнечные панели

Система управления, состоящая из двигателя, контроллера и драйвера, питаются от напряжения 5 В и потребляет в момент работы:

$$U \times I = 5 \times 0,349 = 1,75 \text{ Вт.}$$

Одна солнечная панель после результатов эксперимента вырабатывают фактическую мощность 2,026 Вт при напряжении 14,2 В, но так как напряжение необходимо снизить до 5В,

установкой стабилизатора, необходимо соединить несколько панелей параллельно для увеличения показания тока [9]. Требуемый ток 0,35А, в то время как одна панель, направленная точно перпендикулярно солнечным лучам, вырабатывает ток 0,142А. Но это значение на практике не всегда будет соответствовать максимальному, потому что разрабатываемый макет подразумевает следование за солнцем через каждые 10 градусов. Причем 10 градусов – это оптимальный угол, который позволит приводу вращаться не всегда, а в определенный момент времени, а также вырабатывать оптимальную мощность [8]. Возьмем средний ток 100мА тогда количество панелей

$$n = \frac{I_{C.Y.}}{I_{C.L.}} = \frac{0.349}{0.1} \approx 4.$$

Системе необходимо знать лишь свои координаты, чтобы осуществлять слежение за солнцем без больших затрат электроэнергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гибилиско, С.* Альтернативная энергетика без тайн / С. Гибилиско. – Москва, 2010. – 368 с.
2. *Глиберман, А. Я.* Кремниевые солнечные батареи / А. Я. Глиберман. – Госэнергоиздат, 1961. – 74 с.
3. *Mukund R. Patel,* Ветровые и солнечные энергетические установки. Проектирование, Анализ и Эксплуатация, 2005. – 472 с. // ISBN: 978-0849315701.
4. *Шехер, Г.* Экономические основы солнечной энергетики / Г. Шехер // Экологический возобновляемый источник энергии будущего, 2004. – 368 с. – ISBN: 978-1844070756.
5. *Наумов, А. В.* Еще раз о развитии солнечной энергетики и рынке кремниевого сырья в 2007–2010 гг. / А. В. Наумов 2007. – 20 с.
6. *Андреев, В. А.* Фотозлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения / В. А. Андреев, В. А. Грилихес, В. Д. Румянцев. – Наука, 1989. – 310 с.
7. *Antonio L. Luque, Antonio L. Luque, Viacheslav M. Andreev,* Concentrator photovoltaics, Springer-verlag Berlin Heidelberg, 2007. – 345 с. ISBN 978-3-540- 68796-2.
8. *Ignacio Luque-Heredia et al.* "The Sun Tracker in Concentrator Photovoltaics" in Cristobal, A.B.,Martí, A.,and Luque, A. Next Generation Photovoltaics, Springer Verlag, 2012. – 332с. ISBN 978-3642233692.