

УДК. 662.997.05(043)

СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕММ.В. Китаева, А.В. Юрченко, А.В. Скороходов¹,
А.В. ОхорзинаТомский политехнический университет
¹ Научно-исследовательский институт
полупроводниковых приборов
E-mail: kitaevam@tpu.ru

Описана система слежения за Солнцем для фотоэлектрических модулей и энергетических систем на их основе. Представлены результаты расчетов эффективности применения систем слежения для солнечных энергетических установок и результаты натурных испытаний работы фотоэлектрических модулей с системой слежения в Томске.

Ключевые слова:

Фотоэлектрический модуль, система слежения.

Солнечная энергетика получает все большее развитие в современном мире, она характеризуется максимальной простотой использования, наибольшими ресурсами, экологической чистотой и повсеместным распространением. Эти обстоятельства определяют гелиоэнергетику как одно из наиболее перспективных направлений развития возобновляемой энергетики.

Наиболее актуально применение солнечных энергетических установок (СЭУ) в регионах без стационарной сети электропитания. Замена дизельных генераторов на СЭУ в таких регионах не только помогает облегчить энергетические и экологические проблемы, но и является экономически выгодной.

Применение систем слежения за Солнцем позволит уменьшить срок окупаемости системы и уменьшить стоимость производимой электроэнергии.

Эффективность применения систем слежения

На основе двенадцатилетнего анализа работы ФМ в Сибири и на Дальнем Востоке проведены расчеты приходящей солнечной радиации, и построена модель работы ФМ с применением одно- и двухосевых систем слежения.

Величиной, оказывающей влияние на интенсивность облучения ФМ, является *угол падения* солнечных лучей на её поверхность. Применение *систем слежения* позволит изменять угол в зависимости от положения Солнца, что увеличит количество пришедшей мощности на поверхность ФМ.

Для расчета интенсивности потока солнечного излучения, поступающего на наклонную лучепоглощающую поверхность, необходимо знать углы падения солнечных лучей на нее [1].

Китаева Мария Валерьевна, аспирант Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: kitaevam@tpu.ru

Область научных интересов: солнечная энергетика, системы слежения за Солнцем.

Юрченко Алексей Васильевич, заведующий лабораторией Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: niipr@inbox.ru

Область научных интересов: физика солнечных элементов, возобновляемая энергетика.

Скороходов Антон Валентинович, инженер-конструктор ОАО «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов», г. Томск.

E-mail: kitaevam@tpu.ru

Область научных интересов: системы контроля параметров энергетических комплексов на основе возобновляемых источников энергии.

Охорзина Алена Витальевна, магистрант Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: ameba_89@mail.ru

Область научных интересов: системы слежения за Солнцем.

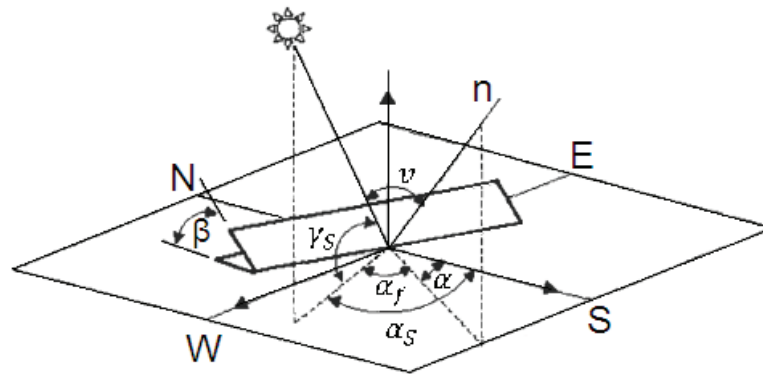


Рис. 1. Движение солнца по небосводу

На рис. 1 обозначены следующие величины: n – нормаль к поверхности ФМ; γ_s – солнечная высота, град; α – азимут, град; α_s – солнечный азимут, град; α_f – горизонтальный угол тени, град; $v(\beta, \alpha)$ – угол падения солнечных лучей по отношению к нормали, град; β – угол наклона фотоэлектрического модуля к горизонту, град.

В общем виде излучение, идущее от солнца, представляет собой сумму падающего и рассеянного излучения

$$G_h(\beta, \alpha) = B_h(\beta, \alpha) + D_h(\beta, \alpha) + R_{gh}(\beta, \alpha). \quad (1)$$

Внеземной поток излучения на горизонтальную поверхность в определенный период определяется по формуле (1), возьмем период равный 1 ч:

$$G_h = I_0 \varepsilon \left(\frac{1}{2\pi} \left[\sin \varphi \cdot \sin \delta \left(\frac{\pi}{12} \right) + \cos \varphi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) \right] \right),$$

где I_0 – солнечная постоянная $I_0 = 1367 \text{ Вт/м}^2$; ε – поправка к среднему солнечному расстоянию в день; J ; T – период обращения Земли; φ – широта местности, град; δ – склонение, град; ω_s – часовой угол заката, град; J – номер дня по Юлианскому календарю; ω_1 и ω_2 – часовые углы на концах промежутка.

Падающий поток на наклонную поверхность:

$$B(\beta, \alpha) = B_n \cos v(\beta, \alpha).$$

Напрямую определить падающий поток не представляется возможным, поэтому его определяют как разность внеземного и рассеянного излучения, приведенного к углу склонения в определенный интервал времени:

$$B_{nh} = \frac{(G_h - D_h) \cdot \Delta T}{\sin \gamma_s}.$$

Таким образом,

$$B_h(\beta, \alpha) = \frac{(G_h - D_h) \cdot \Delta T}{\sin \gamma_s} \cos v(\beta, \alpha).$$

Рассеянное излучение берется как известная величина.

Определим G_{nh} , для этого рассчитаем все необходимые величины по следующему алгоритму:

$$\varepsilon = 1 + 0.03344 \cos(J' - 0.048869),$$

где J' – день в градусах;

$$\delta = \sin^{-1} 0.3978 \sin [J' - 1.400 + 0.0355 \sin(J' - 0.0489)],$$

где

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta),$$

$$\gamma_s = \sin^{-1}(\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega),$$

$$a_F = a_S - a,$$

$$v(\beta, \alpha) = \cos^{-1}(\cos \gamma_s \cos a_F \sin \beta + \sin \gamma_s \cos \beta).$$

На основе данного алгоритма расчета построим графики, отображающие эффективность применения систем слежения для Томска и других городов России [2]. Расчеты показали, что применение одноосевой системы слежения позволит увеличить эффективность отбора мощности ФМ на 30 %, а применение двухосевой – на 40 % для Западной Сибири. Хотя введение второй оси слежения и увеличивает вырабатываемую мощность ФМ на 7...10 %, это значительно усложняет механику конструкции и ощутимо увеличивает стоимость системы. Угол перемещения Солнца относительно горизонта в течение года изменяется незначительно, в отличие от эклиптики, меняющейся в течение дня, поэтому рентабельнее использовать одноосную систему и раз в 2–3 месяца вручную устанавливать угол наклона относительно горизонта.

Для оценки эффективности применения систем слежения построена модель работы энергосистемы с использованием системы слежения в Томске в течение года. Результаты приведены на рис. 2. Также была определена эффективность применения систем слежения в различных городах, находящихся на различных широтах (рис. 3).

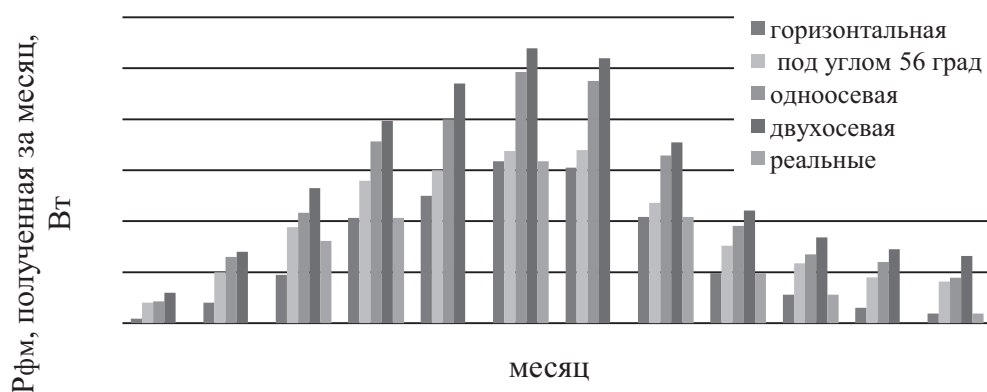


Рис. 2. Эффективность применения систем слежения в Томске

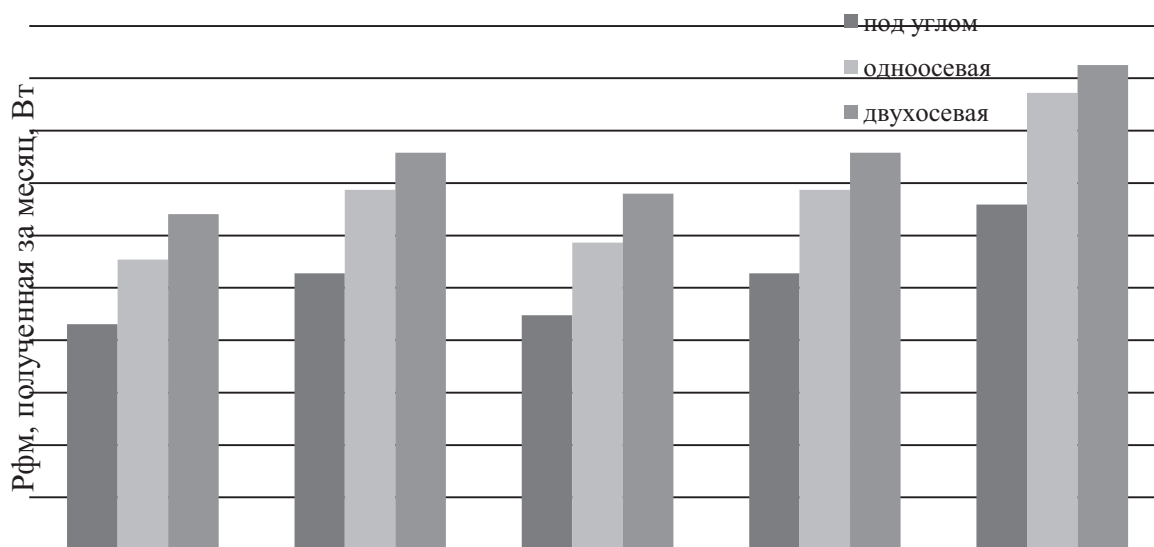


Рис. 3. Эффективность применения систем слежения в разных городах

Фотоэлектрический датчик

На сегодняшний день существует большое количество решений для датчиков положения Солнца на небосводе: датчики на фотодиодах, фоторезисторах, фотоэлектрических преобразователях, термочувствительных элементах.

На основе проведенного анализа датчиков для систем слежения разработан фотоэлектрический датчик (ФЭД), позволяющий исключить влияние фонового излучения, решить проблему запуска системы утром, отличающийся низкой ценой и простотой конструкции. Проведены математические расчеты конструкции датчика, которые были подтверждены его натурными испытаниями в г. Томске (широта: $56^{\circ}30'N$, долгота: $84^{\circ}58'E$). Результаты позволили оптимизировать датчик и увеличить его чувствительность.

В качестве фоточувствительных элементов выбран кремниевый фотоэлектрический преобразователь (ФЭП). Датчик состоит из трех чувствительных элементов (рис. 4). Два лицевых элемента А и В для определения положения Солнца, третий тыловой элемент (С) – для исключения влияния рассеянного излучения и для запуска системы.

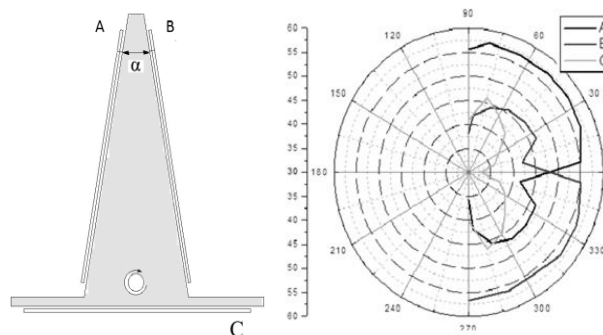


Рис. 4. Фотоэлектрический датчик и его диаграмма направленности

Элементы А и В установлены на разные стороны перегородки, что позволяет скомпенсировать влияние разности температур. Также перегородка служит токопроводящим элементом. Элемент С необходим для измерения рассеянного излучения, исключения его влияния на два других датчика и запуска системы в утренние часы. Он расположен так, чтобы его плоскость была повернута от Солнца, таким образом, он измеряет только фоновое излучение. Утром, в то время как лицевые элементы отвернуты от Солнца, тыльный ориентирован на него, что воспринимает блок контроллера и подает команду поворота ФМ на восток.

Особенности разработанного датчика:

1. Использование ФЭП в качестве активного элемента и добавление в конструкцию тылового ФЭП для измерения фонового излучения и запуска систем в утренние часы.
2. Данная конструкция обеспечивает единую температуру элементов датчика и электрические соединения тыловых контактов элементов датчика.
3. В качестве регулирующего сигнала используется ток короткого замыкания $I_{кз}$ ФЭП, т. к. зависит от интенсивности солнечного излучения и не зависит от температуры.

Главными преимуществами данного метода являются точность наведения, необходимая для ФМ и простота использования.

Для оптимизации конструкции датчика проведены математические расчеты и его натурные испытания при использовании разных углов между элементами А и В, которые показали, что максимальная чувствительность датчика достигнута при угле 20° , что видно на приведенной диаграмме направленности и графике зависимости чувствительности датчика от угла наклона между элементами (рис. 5). Как мы видим, при выбранном угле разница между сигналами А и В максимальна [3].

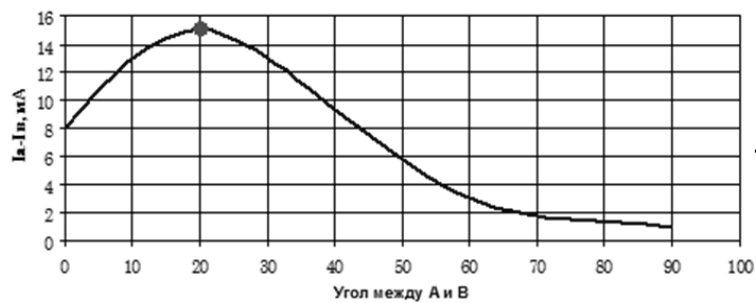


Рис. 5. Зависимость отклика ФЭД в зависимости от угла между элементами А и В

Система слежения на основе ФЭД

На основе ФЭД разработана система слежения за Солнцем. Создан пилотный образец энергосистемы мощностью 50 Вт и проведены ее натурные испытания в течение года.

Система слежения за Солнцем должна иметь в своём составе:

- первичный преобразователь светового потока в ток (ФЭД);
- устройства обработки сигналов с датчика и выработки управляющих сигналов для двигателя (блок контроллера);
- двигатель, обеспечивающий поворот ФМ.

Схема системы слежения за Солнцем (рис. 6) состоит из ФЭД, преобразователя ток–напряжение (I/U), операционного усилителя (ОУ), микроконтроллера (МК) Atmega8L, устройства управления шаговым двигателем (УУШД), и шагового двигателя (ШД).

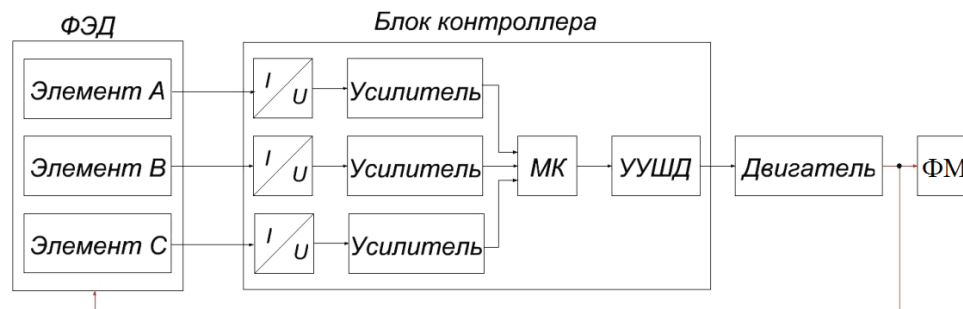


Рис. 6. Структурная схема системы слежения

На основе структурной схемы разработана принципиальная схема блока контроллера. По принципиальной схеме разработана печатная плата блока контроллера с возможностью питания от аккумулятора ФМ, сконструирован корпус для блока контроллера. Создан алгоритм работы программы МК, позволяющий ориентировать систему на Солнце.

Работоспособность системы слежения подтверждена практически: создан экспериментальный макет системы для ФМ мощностью 50 Вт (рис. 7). Были проведены натурные испытания одноосевой системы и двухосевой.



Рис. 7. Экспериментальный макет системы слежения

На рис. 8 и 9 приведены результаты работы ФМ в г. Томске установленного горизонтально, под углом 56° к горизонту и с применением одно- и двухосевой систем. Из рис. 8 видно, что значительный выигрыш по сбору мощности летом относительно горизонтально расположенного ФМ наблюдается при использовании систем слежения. Разница в выработанной мощности небольшая, двухосная система позволяет собрать больше мощности в утренние и вечерние часы. Выигрыш при использовании систем слежения относительно стационарного ФМ, закрепленного под углом к горизонту, составит порядка 50 %.

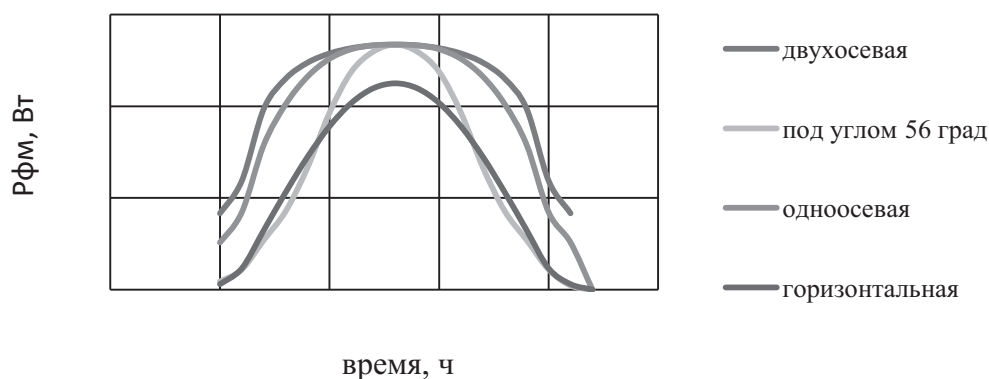


Рис. 8. График зависимостей вырабатываемой мощности ФМ в Томске (июнь): расположенного горизонтально, установленного под углом 56° к горизонту и с применением одноосевой и двухосевой систем слежения

Из рис. 9 видно, что максимальный выигрыш по сбору мощности зимой относительно горизонтально расположенного ФМ наблюдается при использовании двухосной системы, сбор мощности увеличивается в 4 раза. Разницы между использованием следящей одноосевой и стационарно установленной под углом (равным широте) к горизонту систем практически не наблюдается, но их использование позволяет увеличить сбор мощности относительно горизонтальной в 2,5 раза.

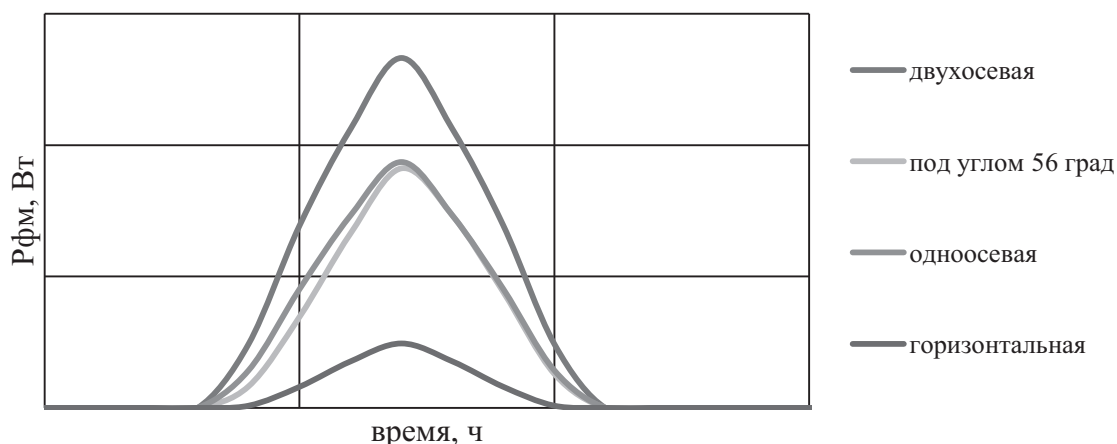


Рис. 9. График зависимостей вырабатываемой мощности ФМ в Томске (декабрь): расположенного горизонтально, установленного под углом 56° к горизонту и с применением одноосевой и двухосевой систем слежения

Установка одноосевой системы слежения позволит повысить эффективность фотоэлектрической установки на 20...30 % в зависимости от региона, уменьшить срок окупаемости системы на 3–5 лет. Стоимость производимой электроэнергии в этом случае уменьшится с 0,20 \$/Вт до 0,15 \$/Вт. Добавление второй координаты слежения позволит увеличить мощность на 7...10 %, но значительно повысит стоимость системы, стоимость электроэнергии составит 0,12...0,13 \$/Вт.

Таким образом, можно создавать не только более эффективные солнечные энергоустановки, но и модифицировать уже имеющиеся. Это немаловажный фактор, так как срок эксплуатации солнечной батареи превышает 15 лет.

Выводы:

1. Проведен расчет эффективности применения систем слежения за Солнцем, который показал, что их применение увеличит вырабатываемую мощность и уменьшит срок окупаемости энергосистемы.
2. Разработан ФЭД, создан макет и проведена его оптимизация. Разработаны структурная и принципиальная схемы блока контроллера для системы слежения, его печатная плата, разработан алгоритм программы для микроконтроллера.
3. Создан экспериментальный образец разработанной системы, доказавший работоспособность разработанной системы. Проведены натурные испытания, доказавшие рентабельность использования систем слежения: одноосная система увеличит сбор мощности на 23 %, а двухосная – на 32 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Markvart T., Castaner L. Practical handbook of photovoltaics: fundamentals and applications. – NY: ELSEVIER, 2003. – 1020 p.
2. Yurchenko A.V., Kozlov A.V. The long-term prediction of silicon solar batteries functioning for any geographical conditions // Proceedings of XXII European PV Solar Energy Conference and Exhibition. – Milan, 3–7 September 2007. – P. 3019–3022.
3. Юрченко А.В., Китаева М.В., Охорзина А.В., Скороходов А.В. Автономная система слежения за Солнцем для солнечной энергосистемы // Контроль, измерение, информатизация: Материалы XII Междунар. научно-техн. конф. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. – С. 179–183.

Поступила 11.01.2012 г.