

## ПОВЫШЕНИЯ КПД АВТОНОМНАЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА

Мамадалиев Жахонгир Хамиджон угли

Докторант Наманганский инженерно-технологический институт

Иззатуллаев Иномжон Хусанбой угли

Преподаватель Наманганский инженерно-технологический институт

<https://doi.org/10.5281/zenodo.8034716>

**Аннотация:** Приведены результаты проектирования автономной фотоэлектрической энергетической установки с максимальной выходной мощностью 1,5 кВт с экстремальным регулированием мощности солнечных батарей и их автоматическим слежением за солнцем.

**Ключевые слова:** Автономная фотоэлектрическая энергетическая установка, солнечная батарея, аккумуляторная батарея, энергетическая эффективность, экстремальное регулирование мощности, автоматическое слежение за солнцем.

## INCREASED EFFICIENCY AUTONOMOUS PHOTOVOLTAIC INSTALLATION

**Abstract:** The results of designing an autonomous photovoltaic power plant with a maximum output power of 1.5 kW with extreme regulation of the power of solar panels and their automatic tracking of the sun are presented.

**Keywords:** Stand-alone photovoltaic power system, solar panel, battery, energy efficiency, extreme power control, automatic tracking at the sun.

### ВВЕДЕНИЕ

Создание высокоэффективных автономных фотоэлектрических энергетических установок (АФЭУ) в первую очередь определяется использованием источников тока (солнечных и аккумуляторных батарей) с улучшенными технико-экономическими показателями. Однако даже при самых совершенных источниках энергии, энергетическая установка может обладать невысокими энергетическими характеристиками из-за нерационального использования их возможностей. Поэтому, при проектировании высокоэффективных автономных фотоэлектрических энергетических установок, должна решаться задача как разработки (использования) солнечных батарей (СБ) с повышенным КПД и аккумуляторных батарей (АБ) с улучшенными техническими характеристиками, так и задача системного проектирования фотоэлектрических систем и энергетических установок с целью повышения их энергетической эффективности [1].

В статье [2] показано, что основными способами повышения энергетической эффективности АФЭУ являются реализация режима отбора мощности в оптимальной рабочей точке вольт-амперной характеристики солнечной батареи в течение всего срока эксплуатации (реализация режима экстремального регулирования мощности солнечных батарей) и реализация режима непрерывного (непрерывно-дискретного) автоматического слежения солнечных батарей за Солнцем. Одновременная реализация этих способов регулирования позволяет повысить энергетическую эффективность АФЭУ не менее чем на 30 %. Степень повышения энергетической эффективности зависит от широты местоположения, а также текущих условий эксплуатации энергетической установки (освещенности и температуры солнечных батарей).

Основные детали конструкции: рама с четырьмя фотоэлектрическими модулями КСМ-160 (КСМ-170 или КСМ-180, имеющие одинаковые размеры); подвижный каркас;

неподвижный каркас; два редуктора; два шаговых двигателя типа ШД-5Д; два датчика положения Солнца, четыре конечных выключателя. Неподвижный каркас установки состоит из стальной сварной рамы, состоящей из четырех уголков и профильных трубчатых элементов с четырьмя угловыми опорами и одной центральной опоры, в которой установлен вращающийся вал. Вращение вала обеспечивается за счет шагового двигателя через червячный редуктор и цилиндрическую зубчатую передачу. Подвижный каркас установки состоит из стальной сварной рамы, с закрепленной на ней ведомой шестерней, которая связана с центральным валом нижнего опорного узла шпоночным соединением для обеспечения вращения установки вокруг вертикальной оси. На этом же каркасе закреплены две дуги, на которых установлена ось вращения рамы, которая через муфту и редуктор соединена с шаговым двигателем, обеспечивающим поворот рамы по углу места.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве силовых механизмов обеспечивающих поворот фотоэлектрической установки используются червячные редукторы с передаточными отношениями 1:250 (по азимуту) и 1:1000 (по углу места), что позволяет использовать шаговые двигатели с номинальным вращающим моментом нагрузки 0,1 Н·м. Червячные редукторы позволяют исключить самопроизвольное изменение положения установки под действием ветровой нагрузки. Ограничение предельных (заданных по техническому заданию) углов поворота АФЭУ по азимуту и углу места обеспечивается конечными выключателями, закрепленными на раме неподвижного каркаса установки и программным обеспечением контроллера наведения на Солнце.

Функциональная схема автономной фотоэлектрической энергетической установки приведена на рис. 2, где СБ – солнечная батарея; КЗРАБ – контроллер заряда-разряда АБ; И – инвертор; АБ1, АБ2 – аккумуляторные батареи; М1, М2 – шаговые двигатели; Р1, Р2 – редукторы; ДШД1, ДШД2 – драйверы управления шаговыми двигателями; ДПС1, ДПС2 – датчики положения Солнца; КНС – контроллер наведения на Солнце; КВ1–КВ4 – конечные выключатели.

В энергетической установке используется: инвертор с синусоидальным выходом типа TS 1500–224 (номинальная выходная мощность 1500 Вт) и два последовательно соединенных аккумулятора типа FIAMM 12SP 235 (номинальная емкость каждого 235 А·ч). Следящая система автоматического управления состоит из двух датчиков положения Солнца, контроллера наведения на Солнце, двухшаговых двигателей с редукторами, двух силовых драйверов шагового двигателя и четырех конечных выключателей. Используемый в установке датчик положения Солнца разработан и изготовлен в ТПУ и ОАО НИИ ПП (г. Томск) и состоит из трех одинаковых фотоэлементов, два из которых стоят наклонно друг к другу, а третий соединяет их снизу. Фотоэлементы датчика называют: правый, левый и тыловой.

Контроллер наведения на Солнце состоит из микроконтроллера Atmega16, преобразователя постоянного напряжения, шести операционных усилителей, микросхемы, обеспечивающей связь по протоколу RS 485 с внешней ЭВМ. Микроконтроллер выдает на вход драйверов шагового двигателя следующие сигналы: направление вращения шаговых двигателей по координате X (азимуту) (сигнал DIR1) и по координате Y (углу места) (сигнал DIR2), количество импульсов, которое необходимо обработать драйверами (шаговыми двигателями) по координате X (сигнал CP1) и по координате Y (сигнал CP2). Контроллер наведения на Солнце принимает сигналы с четырех конечных

выключателей (КВ1–КВ4): X1, Y1 и X2, Y2 – начальные и конечные положения рамы по координате X и Y.

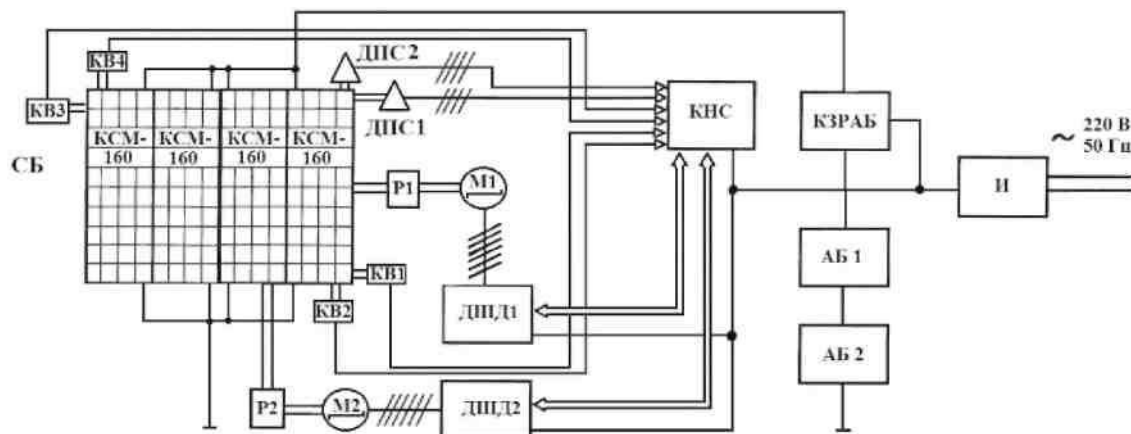


Рис. 1. Функциональная схема АФЭУ

В контроллере реализованы два режима работы: режим ручного регулирования положения рамы от внешней ПЭВМ и режим автоматического слежения за Солнцем. В режиме ручного регулирования от внешней ПЭВМ любое положение рамы по обеим координатам передается в контроллер по протоколу RS 485. При этом перемещение возможно по азимуту на  $360^\circ$ , а по углу места  $180^\circ$ . Это отладочный режим.

В режиме автоматического слежения за Солнцем осуществляется точное наведение рамы на Солнце, путем измерения токов в фотоэлементах датчиков положения Солнца и перемещения рамы с помощью шаговых электроприводов по обеим координатам. Если правый и левый фотоэлемент выдают одинаковый ток, то перемещать раму с СБ не требуется, а если есть отличие, то необходимо перемещение в таком направлении, чтобы скомпенсировать эту разницу по току. Если три фотоэлемента у датчика показывают одинаковый ток, то фотодатчик (и соответственно СБ) находится в тени и перемещение рамы производить не требуется. Если тыловой фотоэлемент выдает самый больший ток, то Солнце светит с обратной стороны рамы. В этом случае необходимо развернуть раму в направлении Солнца. Указанные выше перемещения соответствует алгоритму, приведенному в таблице.

Перемещения происходят дискретно через  $3^\circ$  по обеим координатам, пока не выровняются сигналы в обеих плоскостях в каждом фотодатчике по обеим координатам. Допустимая погрешность (порог срабатывания) между сигналами в наклонных плоскостях фотоэлементов датчика, при которой необходимо проводить перемещение по координатам, составляет 5% (эта величина может устанавливаться в контроллере). Введение порога срабатывания позволяет экономить энергию при перемещении рамы и предотвращать ненужный реверс в шаговых двигателях. На рис. 3 приведено рабочее окно программы управления контроллером наведения на Солнце в режимах отладки.

Таблица. Алгоритм наведения СБ на Солнце

Наведение по координате X	Направление перемещения рамы
$I_A - I_B > 0,05 I_A$	Влево
$I_A - I_B < 0,05 I_A$	Вправо
$-0,05 < I_A - I_B < 0,05 I_A$	Нет перемещения
$I_A = I_B = I_C$	Нет перемещения (СБ в тени)

$I_C > I_B, I_C > I_A$	Перемещение в начальное положение
Наведение по координате Y	Направление перемещения рамы
$I_D - I_E > 0,05I_D$	Вверх
$I_D - I_E < 0,05I_D$	Вниз
$-0,05 < I_D - I_E < 0,05I_D$	Нет перемещения
$I_D = I_E = I_F$	Нет перемещения (СБ в тени)
$I_F > I_E, I_F > I_D$	Перемещение в начальное положение

*Примечание:  $I_A, I_D$  и  $I_B, I_E$  - токи в правой и левой частях датчиков;  $I_C, I_F$  - в тыловой части датчиков.*

В моменты отсутствия перемещения шаговые двигатели не потребляют энергии. Для уменьшения рывков и качаний при перемещении рамы в программном обеспечении контроллера заложен режим позиционирования, то есть в шаговом электроприводе идет ограничение по скорости и ускорению при перемещении рамы от одного положения к другому.

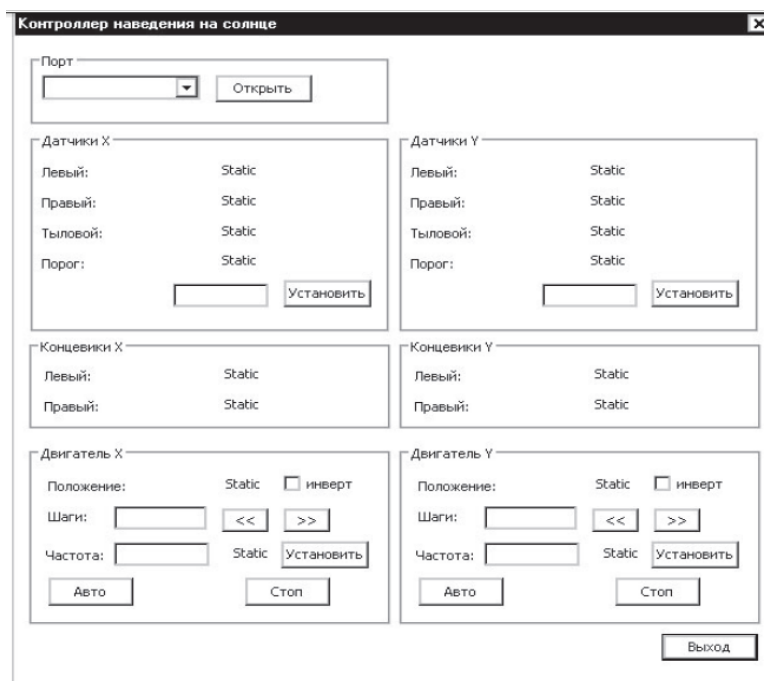
### РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты экспериментальных исследований энергетики шаговых электроприводов на АФЭУ показали следующее: время перемещение по углу места ( $80^\circ$ ) составляет 56 с, а по азимуту ( $180^\circ$ ) 35 с при скорости вращения шаговых двигателей 200 об/мин. При этом выполняется половина суточного цикла перемещений на АФЭУ. Измеренная потребляемая мощность одного шагового двигателя ШД-5Д с силовым драйвером на установке составляет 50 Вт (мощность шагового двигателя ШД5Д по паспорту 36 Вт). Суммарная потребляемая энергия электроприводами на установке при перемещении по азимуту и углу места с начального положения и до максимального положения и возвращения до начального положения (суточный цикл) составляет 7100 Вт·с или 1,97 Вт·ч, что не превышает 1 % от суточного значения выработанной энергии.

В драйвере ДШД используется микроконтроллер STM32F103. Обмотки шагового двигателя ШД-5Д соединены в звезду и подключены к трехфазному мосту, который образован полевыми транзисторами. Драйвер ДШД задает величину минимального шага и амплитуду импульса тока в шаговом двигателе, осуществляет защиту от коротких замыканий в двигателе и выдает на контроллер наведения на Солнце сигналы готовности RDY1, RDY2 – готовность по координатам X и Y. Минимальный шаг в двигателе можно задать 0,03 градуса.

Контроллер заряда-разряда аккумуляторной батареи (КЗРАБ) реализует экстремальное регулирование мощности СБ, имеет незначительное энергопотребление и повышает эффективность использования солнечной батареи до 98,0...99,5 %. В контроллере применена схема понижающего преобразователя напряжения. Основным критерием, принятым при разработке схемы контроллера является достижение максимального КПД, т. е. обеспечение минимума потерь мощности.

В результате теоретических расчетов и экспериментальных исследований определено, что оптимальная частота преобразования, позволяющая получить приемлемые массогабаритные показатели фильтров преобразователя при минимальных потерях находится в области 40...50 кГц.



**Рис. 3. Рабочее окно программы управления контроллером наведения на Солнце**

Таким образом, элементом, определяющим время переходных процессов, является выходной дроссель. Поэтому при разработке программы между введением управляющего воздействия и измерением выходных параметров введена пауза длительностью более 10 мс.

### **ВЫВОДЫ**

1. Спроектирована автономная фотоэлектрическая энергетическая установка с учетом требованием полной автономности функционирования и максимальной выходной мощностью 1,5 кВт с экстремальным регулированием мощности солнечных батарей и их автоматическим слежением за Солнцем.

2. Теоретически показано, что эффективность использования солнечной батареи по энергии при оптимальной освещенности должна быть не менее 95% с учетом регулирования экстремума мощности.

3. Разработанный контроллер заряда-разряда аккумуляторной батареи с экстремальным регулированием мощности имеет малое энергопотребление и повышает эффективность использования солнечной батареи до 98,0...99,5 %.

4. Контроллер наведения на Солнце, совместно с шаговыми электроприводами и датчиками положения Солнца, обеспечивает режим непрерывно-дискретного автоматического слежения за Солнцем. Для обеспечения минимального потребления энергии электроприводами дискретность перемещения выбрана  $3^\circ$ , а точность наведения на Солнце -  $0,1^\circ$ .

*Работа выполнялась в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. (мероприятия 1.1, 1.2.1, 1.2.2).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шиняков Ю.А. Экстремальное регулирование мощности солнечных батарей автоматических космических аппаратов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева. – 2007. – Вып. 1 (12). – С. 123–128.
2. Шиняков Ю.А., Шурыгин Ю.А., Аркатова О.Е. Повышение энергетической эффективности автономных фотоэлектрических энергетических установок // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2010. – № 2 (22). – Ч. 2. – С. 102–107.
3. Solar Engineering of Thermal Processes. / Duffie J. A., Beckman W. A.: Wiley, 2011.
4. Кувшинов В.В. Пат. 150121 Российская федерация; МПК Н 01 L 31/00. Фототермопреобразователь солнечной энергии / Кувшинов В. В., Башта А.И., Сафонов В. А.; патентообладатель Кувшинов В. В. – Заявка № 2014149414/93; заявл. 17.10.2014; опубл. 27.01.2015, Бюл. № 3.
5. Кувшинов В.В. Методы расчета и повышения эффективности использования теплофотоэлектрических установок / В.В. Кувшинов // Сборник научных трудов СНУЯЭ и П – 2013. – Вып. 3 (47) – С.166 - 172.
6. В.В. Кувшинов, Какушина Е.Г., Чванова Д.А. Использование фотоэлектрической установки для обеспечения бесперебойной работы автономных потребителей. Энергетические установки и технологии, Том 2, № 1., стр. 3-12, 2016.