

УДК 621.311.25

**РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ  
ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ  
УСТАНОВОК**

А.С. Петрусёв, Е.Ж. Сарсикеев, Д.Ю. Ляпунов

Томский политехнический университет  
E-mail: science-alex@mail.ru, sarsikeev@tpu.ru,  
lyapunov@tpu.ru**Петрусёв Александр Сергеевич**, студент Энергетического института ТПУ.  
E-mail: science-alex@mail.ru  
Область научных интересов: солнечная электроэнергетика, механика, привод, радиоэлектроника.**Сарсикеев Ермек Жасланович**, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры электроснабжения промышленных предприятий Энергетического института ТПУ.  
E-mail: Sarsikeev@tpu.ru  
Область научных интересов: возобновляемые источники энергии, устойчивость энергосистем, малая энергетика.**Ляпунов Данил Юрьевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры электропривода и электрооборудования Энергетического института ТПУ.  
E-mail: lyapunov@tpu.ru  
Область научных интересов: возобновляемые источники энергии, силовая электроника, теория автоматического управления.

В настоящее время значительная часть территории нашей страны не охвачена централизованным электроснабжением. В данных районах применяются преимущественно дизельные станции, которые характеризуются относительно высокой себестоимостью вырабатываемой ими электроэнергии. Учитывая достаточный гелиоэнергетический потенциал энергоизолированных регионов, применение солнечной энергии в целях энергоснабжения становится весьма актуальным. В данной работе рассматривается способ и средства повышения вырабатываемой солнечными установками в течение дня электроэнергии. Предлагается использовать разработанный солнечный трекер с активным типом слежения на основе платы управления без микроконтроллеров. Данная особенность позволяет использовать в составе электропривода коллекторный двигатель постоянного тока, что упрощает конструкцию. Рассмотрен принцип расчета параметров и выбора механизма поворота на примере конкретных солнечных панелей.

**Ключевые слова:**

Солнечная установка, солнечный трекер, фотоэлектрические модули, эффективность, электропривод.

На данный момент солнечная энергетика растет по экспоненциальной зависимости – объем введенных в эксплуатацию установок увеличивается с каждым годом на 25–35 %. Данный вид энергии имеет огромные перспекти-

вы, если принять во внимание, что полное количество солнечной энергии, достигающей поверхности Земли за год, составляет величину порядка  $(7,5-10) \cdot 10^{17}$  кВт·ч [1], тогда как нынешнее потребление энергии человечеством – около  $0,0015 \cdot 10^{17}$  кВт·ч в год. В России солнечная энергетика также весьма эффективна, что подтверждают показатели среднегодовых поступлений солнечной энергии на такие области, как Астраханская, Ивановская, Ростовская, в которых они выше, чем в Италии, Испании, Германии (лидерах по объему установленных солнечных мощностей) [1].

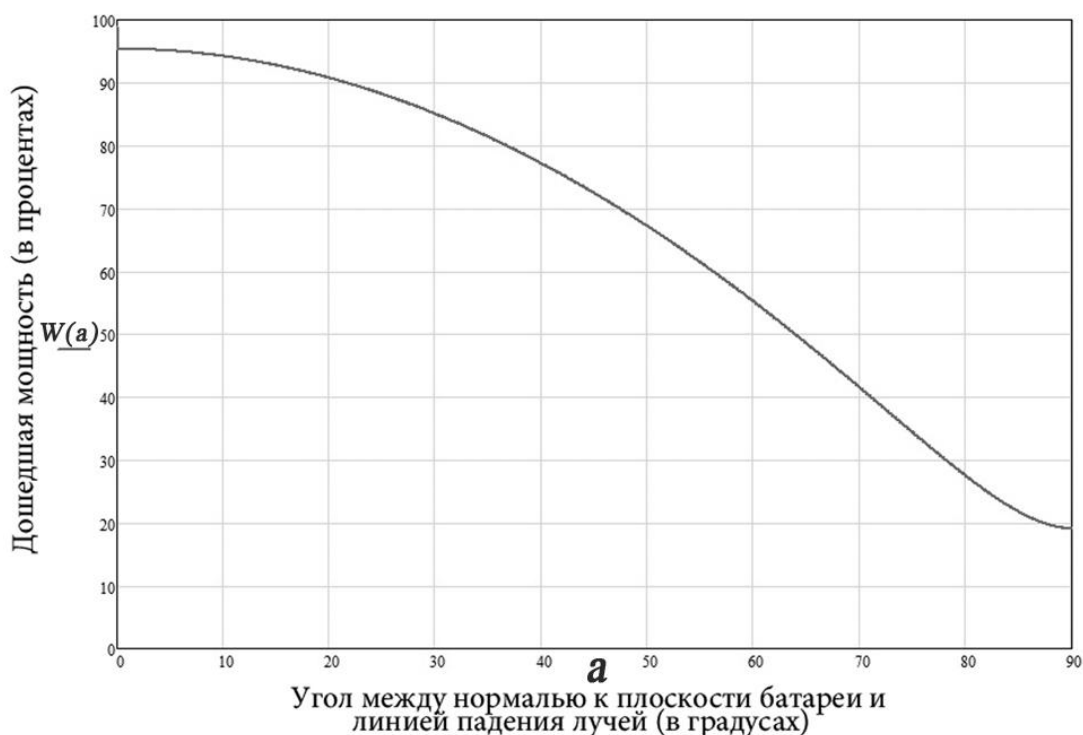
Солнечные установки особенно актуальны в районах с децентрализованным электроснабжением, в которых применяются в основном дизельные установки. На данный момент это 70 % территории нашей страны, на которой проживает 20 млн человек. Стоимость вырабатываемой дизельными станциями электроэнергии крайне высока и достигает 50 руб. за кВт·ч в связи с постоянной потребностью в топливе. Только в Томской области годовое потребление дизельного топлива для дизельных электростанций составляет 25 тыс. тонн [2]. Поэтому в данных районах актуально использовать автономные солнечные электростанции, а также гибридные дизельно-солнечные станции, значительно снижающие потребность в необходимом топливе и аккумулирующих элементах.

К нынешнему моменту стандартные солнечные установки имеют несколько недостатков. К основным можно отнести довольно высокую стоимость солнечных панелей и относи-

тельно невысокую эффективность сбора солнечной энергии в течение дня, особенно в утренние и вечерние часы.

Для решения первой проблемы предложено использовать акриловый концентратор, который описан в [3]. Он позволит снизить приблизительно в 5 раз объем необходимых фотоэлементов при той же выходной мощности, что значительно снизит стоимость системы в целом. Однако для работы данного концентратора необходим солнечный трекер.

Солнечный трекер – устройство, периодически ориентирующее солнечные панели или концентратор на солнце, в результате чего большее количество солнечных лучей достигают поверхности и вырабатывается больше электроэнергии. В [4] проведены расчеты и построения графика зависимости мощности, доходящей до солнечных панелей  $W(a)$ , от угла падения  $a$  на них лучей (рис. 1).



**Рис. 1.** Зависимость мощности панелей от угла падения на них лучей

Из графика можно сделать вывод, что при углах отклонения лучей от нормали к панелям до  $15^\circ$  мощность падает незначительно, но при отклонении в  $90^\circ$  мощность падает уже практически в 5 раз. При использовании солнечного трекера вырабатываемая в течение дня солнечными панелями мощность повышается примерно на 30 % [4]. Особенно заметен прирост в утренние и вечерние часы, которые как раз приходятся на пик электропотребления. Поэтому солнечный трекер эффективен не только для концентраторов, но и для стандартных солнечных панелей.

В работе предложена реализация солнечного трекера, имеющего преимущества в сравнении со своими аналогами. Основные преимущества с аналогами в России и странах СНГ приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Преимущества трекера перед аналогами

Солнечный трекер	Угол поворота, град.	Цена для 3,5 КВт батарей, тыс. долл.	Увеличение мощности, %	Регулировка вручную	Сервисное обслуживание
<b>Наша продукция</b>	<b>&gt; 200</b>	<b>3,4</b>	<b>32</b>	<b>имеется</b>	<b>Дешевое, доступное, раз в 2 года</b>
«Энергия Дисижн» (Челябинск, Омск), ED1500	150	6,8	28	отсутствует	Дорогое, раз в 2 года
Flagma (Санкт-Петербург), HS-1000	150	8,5	28	отсутствует	Дорогое, раз в 2 года
«Байкал-Энергия (Иркутск)	120	8,4	26	отсутствует	Дорогое, раз в 2 года
«Солнечные батареи» (Украина)	180	6,2	30	отсутствует	Дорогое, ежегодно
SAT Control (Словения), ST40M2V3P	100	4,0	20	имеется	Дорогое, Раз в 2 года

Благодаря разработанной управляющей плате без использования микроконтроллеров в качестве электропривода можно использовать коллекторный двигатель постоянного тока, поэтому питание электропривода осуществляется напрямую от аккумуляторной батареи, которая заряжается от солнечных панелей. Отсутствие инвертора для питания трекера делает систему проще и дешевле. На управляющей плате также реализован способ регулировки времени между включениями и ручной настройки панелей в определенном направлении. Предлагаемые для трекера концевые выключатели обеспечивают большой угол поворота, позволяя эффективнее работать в утренние и вечерние часы. При этом простота конструкции и отсутствие программируемых частей задают высокий срок службы с низкой стоимостью сервисного обслуживания.

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований с помощью физической модели солнечной панели [4] ведется работа по созданию полноразмерной установки суммарной мощностью 190 Вт.

Солнечная батарея представляет собой две солнечные панели установленной мощностью 95 Вт каждая. Для панелей сварена опорная рама массой 8 кг (рис. 2). Производство панелей г. Зеленоград, приобретены в компании «АэМэсЭнерго», г. Новосибирск.

**Рис. 2.** Солнечные панели на опорной раме

Основные параметры каждого модуля [5] приведены в табл. 2.

**Таблица 2.** Характеристика панели

Параметр	Значение
Мощность, Вт	95
Напряжение холостого хода, В	22,5
Напряжение при работе на нагрузку, В	18,52
Номинальное напряжение, В	12
Ток при работе на нагрузку, А	5,13
Габариты, мм	1209×539×35
Температура эксплуатации и хранения, °С	-40...+85
Вес, кг	9

### Расчет нагрузок электропривода батареи

Для выбора электропривода поворотного механизма произведен расчет максимального момента вращения используемой солнечной батареи.

Суммарный момент нагрузки будет определяться несколькими составляющими:

$$M = M_{\text{тр}} + M_{\text{дин}} + M_{\text{ветра}}.$$

Момент, обусловленный трением на оси вращения, находится по формуле

$$M_{\text{тр}} = R \cdot K_{\text{тр}} \cdot F_{\text{сум}},$$

где  $R$  – радиус вала вращения, равный для данной установки 0,014 м;  $K_{\text{тр}}$  – коэффициент трения в опоре, равный для условия «сталь по стали» 0,15;  $F_{\text{сум}}$  – суммарная сила, действующая на панель.

Суммарная сила, действующая на панель, определяется по выражению

$$F_{\text{сум}} = \sqrt{F_m^2 + F_{\text{лоб}}^2} = \sqrt{260^2 + 71,4^2} = 269,63 \text{ Н},$$

где  $F_m$  – сила тяжести панелей вместе с опорной рамой, равная 260 Н при массе солнечных панелей 18 кг и опорной рамы 8 кг;  $F_{\text{лоб}}$  – лобовое сопротивление ветра, с учетом работы [6]  $F_{\text{лоб}} = 71,4$  Н.

Таким образом, момент трения будет равен

$$M_{\text{тр}} = R \cdot K_{\text{тр}} \cdot F_{\text{сум}} = 0,014 \cdot 0,15 \cdot 269,63 = 0,57 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Динамический момент, учитывающий влияние инерционной массы, определяется по выражению

$$M_{\text{дин}} = \varepsilon \cdot J,$$

где  $\varepsilon$  – угловое ускорение, для данной установки принимается равным 1 град/с<sup>2</sup>;  $J$  – момент инерции вращающихся частей, определяемый по формуле

$$J = \frac{m \cdot R^2}{6} = \frac{26 \cdot 0,6^2}{6} = 1,56 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Тогда

$$M_{\text{дин}} = 1 \cdot 1,56 = 1,56 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Момент, обусловленный ветровой нагрузкой, с учетом [6], равен

$$M_{\text{ветра}} = \frac{1042}{30,48 \cdot 3,75} = 9,12 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Таким образом, суммарный момент равен

$$M = 0,57 + 1,56 + 9,12 = 11,2 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

С учетом коэффициента запаса прочности в 30%

$$M_{\text{макс}} = 1,3 \cdot 11,2 = 14,56 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Таким образом, выходной вал электропривода должен выдерживать максимальный момент вращения не менее 14,56 Н·м.

### Выбор электропривода

В качестве электродвигателя используется коллекторный двигатель со следующими параметрами:

1) напряжение питания 12В, что обусловлено номинальным напряжением солнечных панелей;

2) скорость вращения выходного вала приблизительно 1 град/сек ( $\approx 0,17$  об/мин) для обеспечения высокой точности ориентации;

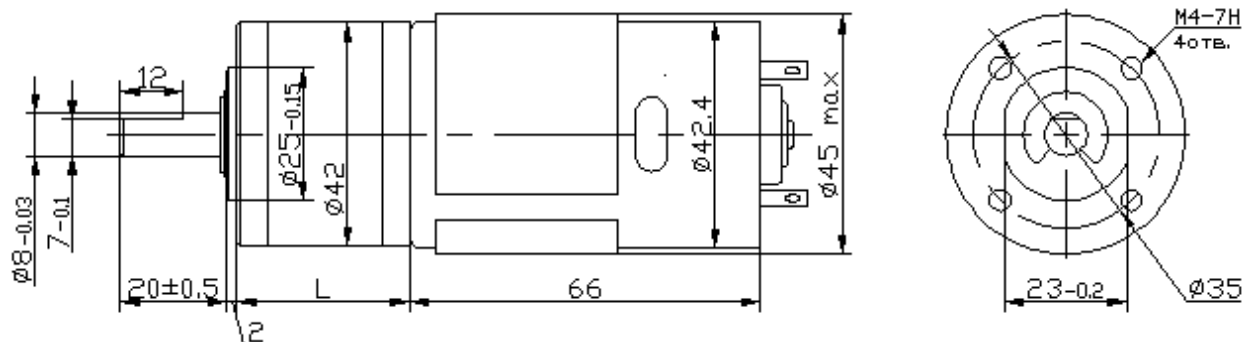
3) мощность электродвигателя должна быть достаточна для создания вращающего момента: не менее 14,56 Н·м, но не более 50 Вт, так как при больших мощностях солнечный трекер начинает терять эффективность в связи с возрастающим избыточным энергопотреблением на поворот системы;

4) прочность выходного вала для выдерживания момента кручения не менее 14,56 Н·м.

Из-за требований к низкой скорости вращения и высокой прочности выходного вала решено использовать мотор-редуктор, соединяющийся с выходным валом через червячный редуктор. Выбран мотор-редуктор IG-42GM компании «Электропривод», г. Санкт-Петербург [7], основные характеристики которого приведены в табл. 3 и габаритные размеры на рис. 3.

**Таблица 3.** Характеристика мотора-редуктора IG-42GM

Параметр	Значение
Мощность, Вт	47
Скорость, об/мин	13,5
Максимальный крутящий момент, Н·м	3
Напряжение питания, В	12
Максимальный ток, А	5,5
Размеры, мм	45×45×141



**Рис. 3.** Габаритные размеры мотора-редуктора

Так как максимальный крутящий момент на валу двигателя 3 Н·м, а скорость 13,5 об/мин, то возникает необходимость использования дополнительного редуктора для снижения скорости вращения выходного вала и повышения крутящего момента.

Выбран червячный редуктор NMRV 30 компании «МехПривод», Москва [8], основные характеристики которого приведены в табл. 4.

**Таблица 4.** Характеристики червячного редуктора NMRV 30

Параметр	Значение
Передаточное отношение	1:80
Максимальный крутящий момент, Н·м	19
Наружный диаметр, мм	14
Внутренний диаметр, мм	10
Размеры, мм	80×97×56

Скорость вращения выходного вала:  $13,5/80 = 0,169$  об/мин  $\approx 1$  град/сек.

Необходимая мощность двигателя при скорости  $n = 0,169$  об/мин  $\approx 0,00282$  Гц:

$$P_{\text{мин}} = M_{\text{макс}} \cdot \omega = M_{\text{макс}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot n = 0,26 \text{ Вт.}$$

Мощность выбранного двигателя значительно больше минимального значения, поэтому основным критерием выбора является максимальный крутящий момент на выходном валу редуктора, равный 19 Н·м.

### Выводы

Таким образом, для солнечной панели, состоящей из двух модулей, достаточно использовать мотор-редуктор марки IG-42GM, червячный редуктор NMRV 30, которые позволят осуществлять оптимальное регулирование поворота в течение светового дня с заданной точностью угла поворота.

Разработанные технические средства обеспечивают точность регулирования и запас прочности с учетом возможного климатического влияния.

*Статья рекомендована к публикации по итогам работы V Международной молодежной конференции "Электроэнергетика глазами молодежи 2014".*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виссарионов В.И., Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова. Солнечная энергетика. – М., 2008 – 317 с.
2. Саврасов Ф.В. Энергоэффективные автономные системы электроснабжения с фотоэлектростанциями. – Томск, 2013. – 21 с.
3. Petrusyov A.S. , Sarsikeev E.Z. , Lyapunov D.Y. Energy-efficient Photovoltaic Installation // Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods and Tehnologies. – 2014. – № 8. – P. 399–404. – URL: <http://www.scientific-publications.net/ru/article/1000188> (дата обращения: 10.01.2015)
4. Петрусёв А.С. , Юрченко А.В. Эффективный способ увеличения мощности солнечных установок // Физика. – 2014. – № 2 (960). – С. 4–8.
5. АЭМС-Энерго. – URL: <http://ams-energo.ru> (дата обращения: 10.01.2015)
6. Сарсикеев Е.Ж., Ляпунов Д.Ю., Бобихов Р.С., Петрусёв А.С. Визуальное моделирование ветровой нагрузки рефлектора параболической антенны связи в программном пакете Comsol Multiphysics // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – С. 1–8. – URL: <http://www.science-education.ru/117-r13668> (дата обращения: 10.01.2015)
7. НПФ «Электропривод». – URL: <http://gearmotor.ru> (дата обращения: 10.01.2015)
8. ООО «СпецТрейдИмпорт». – URL: <http://www.mechprivod.ru> (дата обращения: 10.01.2015)

Поступила 13.02.2015 г.