

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).

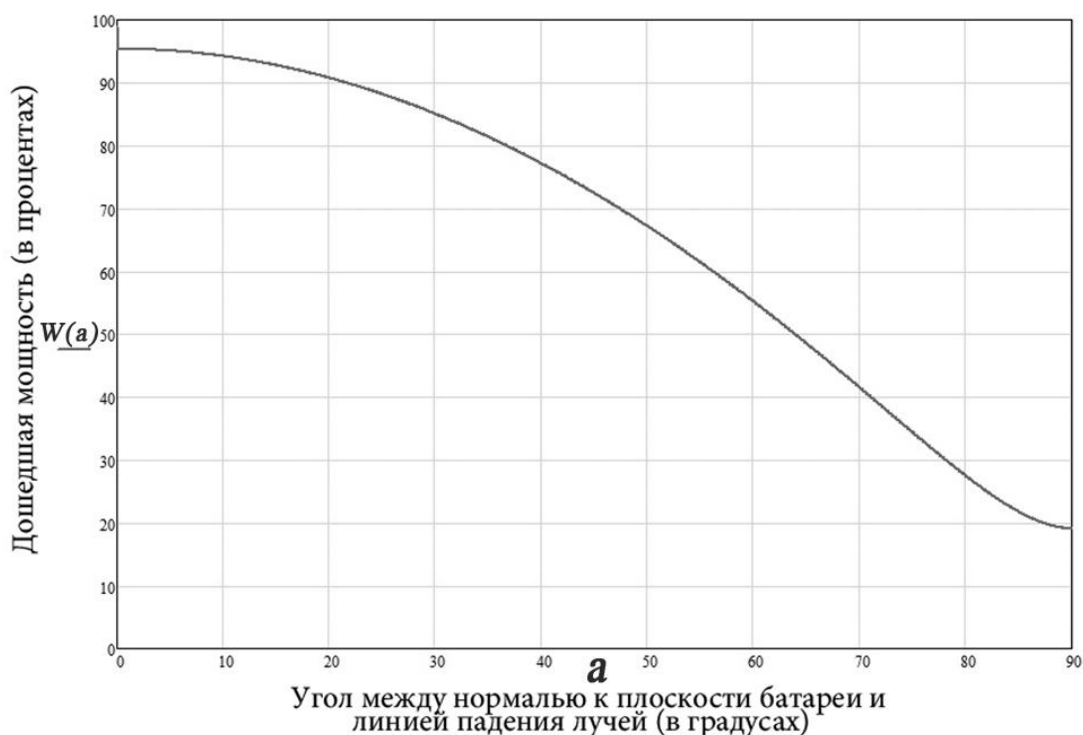


Рис. 1. Зависимость мощности панелей от угла падения на них лучей

Из графика можно сделать вывод, что при углах отклонения лучей от нормали к панелям до 15° мощность падает незначительно, но при отклонении в 90° 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
Наша продукция	> 200	3,4	32	имеется	Дешевое, доступное, раз в 2 года
«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 ε – угловое ускорение, для данной установки принимается равным 1 град/с²; 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

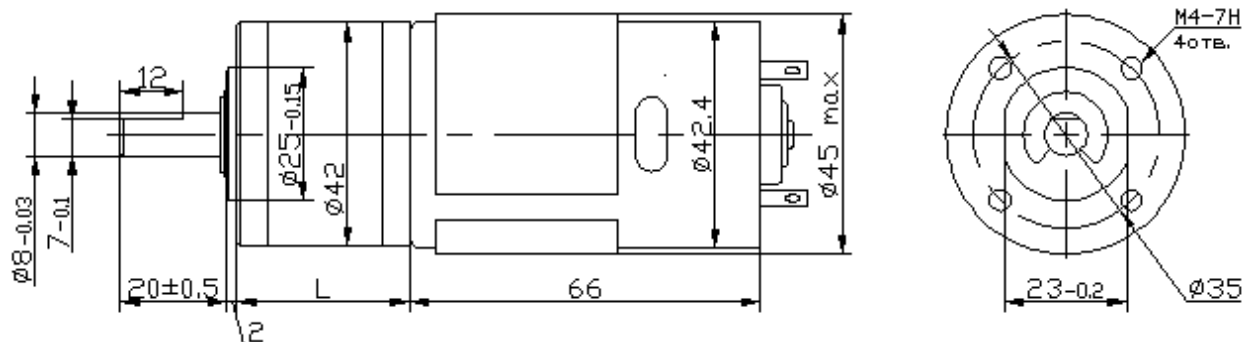


Рис. 3. Габаритные размеры мотора-редуктора

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 ≈ 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.