

Жукешов А.М., Сундетов Т.Р.,
Ерлан С.

**Расчет ветровой нагрузки и
испытания двухосевого
трекера**

Проведен анализ состояния техники в области разработки систем слежения для солнечных электростанций. Проведен расчет ветровой нагрузки и необходимого усилия электропривода. Показано, что для малогабаритных установок диаметром до 2 м достаточно стандартных двигателей с усилием до 30 Нм. Разработан экспериментальный вариант двухосевого трекера с применением двигателя постоянного тока и шагового двигателя. Испытания показали, что для уменьшения вибрации оптимальным вариантом является осевое расположение двигателя. Для повышения надежности системы необходимо выбирать двигатели постоянного тока и разрабатывать надежные ШИМ контроллеры.

Ключевые слова: солнечная энергетика, экспериментальный макет, ветровое давление, электрический привод, автоматизация.

Zhukeshov A.M., Sundetov T.R.,
Erlan S.

**Wind load calculation and testing
of dual-axis tracker**

The technique event condition in the field of solar power plants tracking systems development was analysis. The wind load and the necessary efforts to drive calculated. It is shown that for small installations up to 2 m in diameter is sufficient for standard motors with torque up to 30 Nm. An experimental version of the dual-axis tracker with a DC motor and stepper motor are constructed. Tests have shown that in order to reduce vibration of the best option is the axial position of the motor. To improve the reliability of the system is necessary to choose the DC motors and develop robust PWM controllers.

Key words: Sun power, experimental stand, wind pressure, electrical drive, automation.

Жүкешов Ә.М., Сундетов Т.Р.,
Ерлан С.

**Жел жүктемесін санау және екі
ості трекерды сынау**

Күн электрстанцияларына арналған бақылау жүйелерін жасау саласындағы техникасының деңгейі сарапталған. Жел жүктемесі саналып және электр жетегі жасалынған. Диаметры 2 м дейін кіші габаритті күн қондырғылары үшін күші 30 Нм стандартты қозғалтқыштарды қолдануы тиімді екені көрсетілген. Екі ості трекердің экспериментті варианты тұрақты тоқ пен қадамды қозғалтқыштарды қолдана жасалынған. Қозғалтқыштың остік орналасуы системаның селкілдеуін азайту үшін ықтималды екені өткізілген сынаулар көрсетті. Сенімділікті арттыру үшін тұрақты тоқты қозғалтқыштарды қолдана отырып өзіндік ШИМ контроллер жасау қажет.

Түйін сөздер: Күн энергетикасы, экспериментті макет, жел қысымы, электрлі жетек, автоматизация.

**РАСЧЕТ ВЕТРОВОЙ
НАГРУЗКИ И
ИСПЫТАНИЯ
ДВУХОСЕВОГО
ТРЕКЕРА****Введение**

Для того чтобы предупредить будущий энергетический дефицит, необходимы комплексные действия по интенсификации и модернизации энергетического машиностроения, по созданию новых источников энергии, включая источники альтернативной генерации с одновременным повсеместным внедрением энергосбережения, снижением выбросов парниковых газов [1].

Среди всех источников энергии радиация солнца по масштабам ресурсов, экологической чистоте и повсеместной распространенности наиболее перспективна [2]. Однако, в этой области существует ряд нерешенных задач, в первую очередь связанных с эффективностью системы в целом, так как солнечное излучение рассеяно по пространству и существенно зависит от условий на местности. В целом можно сказать, что без применения специальных методов концентрации энергии солнечные электростанции малоэффективны. Поэтому, система слежения за Солнцем (т.н. трекер) является одним из важнейших компонентов солнечной энергетической системы. Точность трекера имеет весьма важное значение для правильного выравнивания солнечного коллектора на солнце. Это особенно актуально для концентрирующих систем, например параболического типа, но даже для простых плоских систем применение систем слежения повышает эффективность работы на 25-40% [3, 4].

Обзор литературы показывает, что существующие солнечные трекеры либо астрономические, которые используют компьютеры и сложные алгоритмы, чтобы следить за солнцем, основываясь на расчетной траектории, или они основаны на зондировании солнечного света, используя объемные приближения. Анализ энергетических показателей различных типов двигателей и потерь мощности в зависимости от обобщенных параметров электропривода позволили определить наиболее адаптированные к нагрузке системы электроприводов [5]. Однако система управления электроприводами не обеспечивает соответствующей точности и качества переходных процессов следящих электроприводов. Кроме этого, следует указать, что

техническая реализация систем управления следящего электропривода вызывает определенные сложности [6,7].

Кроме чисто технических проблем, указанных выше, обзор существующих систем электропривода показывает, что есть возможность разрабатывать достаточно точные, но простые системы электроприводов с применением современной микропроцессорной техники. Это связано с тем, что в последние годы микроконтроллеры и программное обеспечение становятся все более доступными для разработчиков. Помимо этого, разработка универсальных электроприводов обойдется дешевле. В настоящее время можно предположить, что компьютерное управление будет вытесняться, уступая место управлению от датчиков рассогласования для всех типов энергетических гелиоустановок [8] обеспечивающих высокую точность, широкий угол захвата и высокую надежность.

Аналогичным образом, термический преобразователь, который является сердцемлюбой солнечной тепловой системы, следует разрабатывать таким образом, чтобы максимизировать использование притока тепла. Экономическую целесообразность применения концентраторов необходимо определять как разность экономии средств за счет уменьшения площади преобразователя и затрат, направленных на решение проблем, связанных с разработкой дополнительного оборудования, по сравне-

нию с простыми системами [4, 9-10]. Таким образом, существует необходимость в разработке простой, разумной и экономически эффективной системы солнечного отслеживания, и предпочтение отдается двухосевым системам [11].

Расчетная часть

Кроме того что электропривод обеспечивает стандартную задачу по разворачиванию станции по Солнцу, определенное усилие требуется также для устойчивости рабочей поверхности против силы ветра. Таким образом, прежде чем приступить к разработке привода, необходимо оценить ветровую нагрузку на ось системы. Обычно солнечные станции рассчитываются исходя из максимальной скорости ветра 100 км/ч, что соответствует ураганному ветру.

Для расчета крутящего момента использовали формулы, учитывающие момент силы ветра в зависимости от диаметра установки. Сила сопротивления ветра W может быть вычислена как

$$W = \frac{1}{2} \rho v^2 SC,$$

где ρ – плотность воздуха, S – площадь проекции поверхности, перпендикулярной к направлению потока, C коэффициент сопротивления – 0,5, и v – скорость ветра в м/с. Расчетные показатели силы ветра показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Давление ветра в зависимости от скорости и сила ветра на препятствие. Расчет для плотности воздуха 1,2 кг/м³

	Скорость ветра в м/с							
	5 м/с	10 м/с	15 м/с	20 м/с	25 м/с	30 м/с	40 м/с	50 м/с
Давление, Па = Н/м	15	60	135	240	375	540	960	1500
S = 1м ² Сила на 1 м ² , Н	15,00	60,00	135,00	240,00	375,00	540,00	960,00	1500,00

Исходя из того, что экспериментальный образец СЭС будет строиться на основе спутниковой тарелки диаметром порядка 2 м (концентратор), или же из солнечных модулей 1,5x1,0 м (две штуки), эквивалентная площадь составит порядка 3 м². При скорости ветра 100 км/ч сила давления на 1 м² составит 540 Н/м². Если расстояние от оси трекера до края площади равно $d = 1$ м, то момент силы будет

$$M = Fd.$$

Таким образом, момент силы на ось, в первом приближении, не учитывая формы поверхности, составит порядка 270 Нм. В подобных конструкциях, сам двигатель должен обеспечивать крутящий момент на порядок меньше, чем приложенный крутящий момент. Таким образом, азимутальный двигатель должен быть по крайней мере 27 Нм, чтобы вращать коллектор при скорости ветра 100 км/ч. Данный расчет также справедлив и для трекера склонения, если мы используем концентратор круглой формы.

Экспериментальный макет

Разработанный трекер является азимутально-наклонным двухосевым приводом, который имеет основную ось установленную вертикально, и вторичную ось нормальной к ней. Была поставлена цель сделать компактный трекер, который легко собрать и отремонтировать, экономически эффективный и надежный. Для достижения этой цели, были приняты во внимание имеющиеся материалы и сделан выбор одной из нескольких конфигураций компонентов при сравнении затрат для производства с точки зрения достижения конечной конструкции.

Функция азимутального этого трекера – регулировка солнечного коллектора по азимуту, когда Солнце меняет свое положение с востока на запад. Были изучены имеющиеся варианты установок. Основным вариантом, который использовался некоторыми компаниями, основан на наличии главной оси, которая поддерживает всю систему солнечного коллектора на поворотной базе. Вращение оси может быть передано либо с помощью ременной передачи, который должен быть соединен с драйвером двигателя, или же используя цилиндрическое зубчатое колесо, установленное соосно с основной осью и в сочетании с двигателем. Есть несколько недостатков использования такого варианта. Во-первых, будучи в нижней части (где прикладывается вся нагрузка), опорная точка является слабым местом, и, скорее всего, может сломаться из-за ветра или снега. Во-вторых, чтобы перенести такую систему, азимутальный трекер должен быть демонтирован для упаковки и доставки. Новый азимут трекера был разработан, чтобы смягчить все вышеперечисленные проблемы. Он состоит из следующих основных компонентов; основной оси в корпусе, закрепленной сверху и снизу на подшипниках, реверсивного двигателя постоянного тока, ведомой и ведущей шестерней, редуктора и опоры двигателя корпуса. Реверсивный двигатель 12 В постоянного тока был использован в качестве драйвера по азимуту. Функцией этого двигателя является вращение всей системы с востока на запад, чтобы исправить коллектор азимутальный угол по мере изменения положения солнца в течение дня и вернуть его обратно к утру. Двигатель должен обеспечивать достаточный крутящий момент для вращения всей системы и также обеспечить силовой крутящий момент, чтобы преодолеть ветровую нагрузку. Редуктор усиливает передаточное отношение для обеспе-

чения необходимого вращения и прикладывания силового крутящего момента.

Далее рассмотрим трекер склонения. Существуют две основные функции этого трекера. Во-первых, он должен регулировать угол высоты по мере того как солнце движется по небу от восхода до заката. Во-вторых, он выступает в качестве тормоза, чтобы держать коллектор на месте (баланс коллектора), когда он не отслеживает солнце. От восхода солнца до полудня, следящее устройство должно действовать против веса коллектора и его компонентов. После полудня, когда угол высоты начинает уменьшаться, трекер должен регулировать солнечный коллектор соответственно по весу. Таким образом, трекер также как и по азимуту, имеет силовой крутящий момент, чтобы переместить коллектор вниз контролируемым образом. Первоначальная идея состояла в том, чтобы использовать трекер, который использует привод, чтобы обеспечить наклонное движение коллектора. В лабораторном образце, подвергнутому испытаниям, тарелка движется вверх-вниз на 90° благодаря шарниру и двигателю с осевым винтом. В результате испытаний выявлены следующие проблемы. Несмотря на простоту реализации, такие исполнительные механизмы ограничены по длине хода, и если тарелка большая, используемое устройство значительно усложняется и начинаются вибрации. Таким образом, стало необходимым альтернативное решение для этих трекеров, чтобы обеспечить доступный и более гибкий вариант, который может обеспечить более широкий угол наклона до 110° .

После тщательного изучения современных технологий, было принято решение использовать осевое расположение двигателя. Новый трекер был разработан, чтобы смягчить проблемы, с которыми сталкивались предыдущие решения. Это следящее устройство включает в себя: шаговый двигатель 8 В, снабженный редуктором, поддержка двигателя, ведомая шестерня, шестерня мотора, муфты и опоры двигателя.

Автоматизация

Для экспериментального макета станции были разработаны управляющая электроника, реализованная на микроконтроллере Arduino, и программный код на языке Си. В режиме сопровождения станция работает под управлением датчика слежения за солнцем. В режиме

программного управления станция управляется от микроконтроллера через шаговый электропривод. Разработано дистанционное управление системой электропривода по Bluetooth. Испытания показали, что в отношении микроконтроллеров лучше использовать продвинутые модели МК с возможностью доступа к регистрам МП, и тщательно предусмотреть возможные внештатные ситуации, вплоть до возгорания проводов и шин.

Вывод

Таким образом, разработаны лабораторный макет солнечной станции концентрационного типа и проведен расчет и разработка уни-

версального двухосевого трекера. Созданный электропривод может быть использован как для параболических солнечных концентраторов, так и для плоских фотовольтаических панелей. Экспериментальные испытания показали, что в целях исключения вибрации и противостояния ветру, наиболее устойчивой конфигурацией является осевое расположение привода с применением редукторов. Что касается электропривода, для постоянного двигателя необходимо разрабатывать собственный ШИМ, так как промышленные надежные приводы для шаговых двигателей и сами двигатели весьма дороги. Поэтому использование двигателей постоянного тока с ШИМ является более приемлемым вариантом в отношении цена/качество.

Литература

- 1 Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии. – М.: Энергоатомиздат, - 1990. – 390 с.
- 2 Стребков Д.С. Роль солнечной энергии в энергетике будущего//Гелиотехника, – 2005. – №1. – С. 12-23.
- 3 Абдурахманов Б.М., Байдаков С.Г., Соловейчик В.И., Чирва В.П. Модули и элементы солнечных фотоэлектрических станций сконцентрацией излучения. – М.: «ФАН», 1993. -200 с.
- 4 Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения.– Л.: Наука, 1989.
- 5 Овсянников Е.М. Электропривод энергетической гелиоустановки. – Труды МЭИ, – 2000. – 54 с.
- 6 Овсянников Е.М. Электроприводы гелиоустановок наземного и космического базирования: Теория и практика: автореф. докт.тех. наук. – М.: МЭИ, 2003. – 40 с.
- 7 Овсянников Е.М.Электропривод энергетической гелиоустановки//Привод и управление, – 2000. – №2. – С. 4-9.
- 8 Овсянников Е.М. Особенности следящих электроприводов гелиоустановок.– Труды МЭИ, вып. 400. – 1979. – С. 79-85.
- 9 Захидов Р.А. Зеркальные системы концентрации лучистой энергии // ФАН.– 1975. – №2-175 с.
- 10 Клычев Ш.И., Захидов Р.А., Ахмедов Х. Коэффициенты равномерного распределения солнечного излучения в составных Концентраторах// Гелиотехника. – 1997. – № 2. – С. 62-64.
- 11 Seme S. and Stumberger G. A novel prediction algorithm for solar angles using sola radiation and Differential Evolution for dual. – axis sun tracking purposes // Solar Energy. – 2011. – Vol. 85.– P.2757–2770.

References

- 1 Tvajdell Dzh., Uejr A. Vozobnovljaemye istochniki jenerгии. – М.: Jenergoatomizdat, - 1990. – 390 s.
- 2 Strebkov D.S. Rol' solnechnoj jenerгии v jenergetike budushhego//Geliotehnika, – 2005. – №1. – S. 12-23.
- 3 Abdurahmanov B.M., Bajdakov S.G., Solovejchik V.I., Chirva V.P. Moduli i jelementy solnechnyh fotojelektricheskijh stan-cij skoncentraciej izluchenija. – М.: «FAN», 1993. -200 s.
- 4 Andreev V.M., Grilihes V.A., Rumjancev V.D. Fotojelektricheskoe preobrazovanie koncentrirovannogo solnechnogo izluchenija.– L.: Nauka, 1989.
- 5 Ovsjannikov E.M. Jelektroprivod jenergeticheskoy gelioustanovki. – Trudy MJeI, – 2000. – 54 s.
- 6 Ovsjannikov E.M. Jelektroprivody gelioustanovok nazemnogo i kosmicheskogo bazirovanija: Teorija i praktika: avtoref. dokt.teh. nauk. – М.: MJeI, 2003. – 40 s.
- 7 Ovsjannikov E.M.Jelektroprivod jenergeticheskoy gelioustanovki//Privod i upravlenie, – 2000. – №2. – S. 4-9.
- 8 Ovsjannikov E.M. Osobennosti sledjashhih jelektroprivodov gelioustanovok.– Trudy MJeI, vyp. 400. – 1979. – S. 79-85.
- 9 Zahidov R.A. Zerkal'nye sistemy koncentracii luchistoj jenerгии // FAN.– 1975. – №2-175 s.
- 10 Klychev Sh.I., Zahidov R.A., Ahmedov H. Kojefficienty ravnomernogo raspredelenija solnechnogo izluchenija v sostavnyh Koncentratorah// Geliotehnika. – 1997. – № 2. – S. 62-64.
- 11 Seme S. and Stumberger G. A novel prediction algorithm for solar angles using sola radiation and Differential Evolution for dual. – axis sun tracking purposes // Solar Energy. – 2011. – Vol. 85.– P.2757–2770.