МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственное автономное профессиональное образовательное учреждение Ленинградской области
«Кировский политехнический техникум»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

должность, уч. степень, звание	подпись, дата	инициалы, фамилия

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему Система автоматической корректировки ориентации солнечных панелей

выполнена

фамилия, имя, отчество студента в творительном падеже

по направлению подготовки 15.02.10 Мехатроника и мобильная робототехника (по отраслям)

код наименование направления

наименование направления

Студент группы №

	подпись, дата	инициалы, фамилия

Преподаватель		Осадчий С.О.
должность, уч. степень, звание	подпись, дата	инициалы, фамилия

Кировск 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....3
1. Солнечная энергетика.....4
1.1 История создания солнечных панелей.....5
1.2 Устройство солнечной батареи. Виды солнечных панелей.....7
1.3 Фотоэлектрические энергоустановки со слежением за Солнцем.12
2. Применение солнечных трекеров.....21
2.1 Основная концепция.....21
2.2 Состав солнечного трекера.....24
2.3 Классификация трекеров.....27
2.4 Способы управления системой ориентации трекера.....32
3. Разработка системы ориентирования солнечных панелей 34
3.1 Схема устройства.....34
3.2. Элементная база.....37
3.3 Программное обеспечение.....39
4. Заключение.....44
5. Список использованной литературы.....45

Введение

Можно с уверенностью сказать, что Солнце – это источник всего живого на планете. Только солнце дарило людям тепло до того, как человек научился добывать огонь, тем самым можно сказать, что солнечная энергия была первой, освоенной человечеством. Недаром первая община возникла, как утверждают палеонтологи, под жарким солнцем экватора, в Центральной Африке. Энергия солнца сыграет немало важную роль в будущем, как и в прошлых тысячелетиях. Наша цивилизация – цивилизация электроэнергии. Чем выше потребление энергии на душу населения в стране, тем выше уровень жизни ее жителей. Энергия день за днем используется для удовлетворения потребностей и амбиций человечества. Следовательно, источник энергии должен быть неиссякаемым. Если взглянуть на нынешний сценарий, становится очевидным, что традиционные источники энергии, такие как уголь, природный газ, нефть и другие находятся на грани исчезновения и его добыча загрязняет окружающую среду. За последние два десятилетия человечество убедилось, что в рамках интереса экономического роста, мы наносим ущерб окружающей среде, приводящий к климатическим изменениям. Это является величайшим кризисом нашего времени. Ожидается, что потепление климата повлияет на доступность предметов первой необходимости, и в то время как усилия по борьбе с изменением климата, как посредством адаптации, так и смягчения последствий, также будут формировать глобальную повестку дня в области развития. Электроэнергетика является основополагающей отраслью мирового хозяйства, и сложившаяся ситуация действительно является следствием современной экономической практики, которая предполагает использование ресурсов с неустойчивым подходом укоренившейся культуры потребления. Поэтому переход на путь устойчивого развития, предполагающий фокусирование на удовлетворении потребностей настоящего без ущерба для будущих поколений, является не тенденцией, а острой необходимостью. В

сегодняшней ситуации мы можем наблюдать, что зреющий коллапс вызван нехваткой не возобновляемых природных ресурсов, и что нужен вклад в развитие альтернативных источников энергии. Из всех возобновляемых источников энергии солнечная энергия – имеет ключевую роль и нескончаемый потенциал. Солнце - вечный, экологически устойчивый и доступный источник энергии, который можно использовать для производства энергии для всех сфер мирового хозяйства. Также благодаря системе слежения за Солнцем мы можем производить огромное количество энергии, что делает работу солнечной панели намного более эффективной.

1.**Солнечная энергетика**

Солнечная энергетика - это направление альтернативной энергетики, основанное на непосредственном использовании солнечного излучения для получения энергии в каком-либо виде. Солнечная энергетика использует возобновляемый источник энергии и является «экологически чистой», то есть не производящей вредных отходов во время активной фазы использования.

Производство энергии с помощью солнечных электростанций хорошо согласовывается с концепцией распределённого производства энергии.

Гелиотермальная энергетика — нагревание поверхности, поглощающей солнечные лучи, и последующее распределение и использование тепла (фокусирование солнечного излучения на сосуде с водой или солью для последующего использования нагретой воды для отопления, горячего водоснабжения или в паровых электрогенераторах). В качестве особого вида станций гелиотермальной энергетики принято выделять солнечные системы концентрирующего типа. В этих установках энергия солнечных лучей с помощью системы линз и зеркал фокусируется в концентрированный луч света. Этот луч используется как источник тепловой энергии для нагрева рабочей жидкости. В 2020 году общая установленная мощность всех работающих солнечных панелей на Земле составила 760 ГВт. В 2019 году общая установленная мощность всех работающих

солнечных панелей на Земле составила 635 ГВт. В 2019 году всего работающие солнечные панели на Земле произвели 2,7 % мировой электроэнергии.

1.1 История создания солнечных панелей

Фотоэлектрические солнечные панели представляют собой тонкие кремниевые пластины, которые преобразуют солнечный свет в электричество. Производство солнечных батарей сегодня как никогда актуально, т.к. они выступают в качестве источников энергии в широком спектре областей, в том числе в телекоммуникационной, космической отраслях, медицине, связи, микроэлектронике и т.п. Солнечные батареи в виде больших массивов используются в различных спутниках и солнечных электростанциях.

История создания солнечных батарей началась еще в 19 веке, а технология их производства развивалась удивительно быстро. Причиной служили постоянно проводимые исследования в области преобразования солнечной энергии в электрическую. Еще в 1839 году Антуан-Сезар Беккерель представил созданную им химическую батарею, которая под воздействием солнца вырабатывала электричество. Первая солнечная батарея имела коэффициент полезного действия (далее КПД) всего 1%. То есть только один процент солнечного света был преобразован в электричество. В 1873 году Уиллоуби Смит обнаружил чувствительность селена к свету, а в 1877 году Адамс и Дэй отметили, что селен под воздействием света производит электрический ток. Чарльз Фриттс в 1880 году использовал покрытый золотом селен для производства первого солнечного элемента, который также имел эффективность 1%. Тем не менее, Фриттс считал свои солнечные элементы революционными. Он рассматривал возможность использования бесплатной солнечной энергии как средство диверсификации поставок энергии, предсказывая, что производимые солнечные батареи вскоре заменят существующие электростанции.

С объяснением в 1905 году Альбертом Эйнштейном фотоэффекта появились надежды на создание солнечных батарей с более высоким КПД, но прогресс оказался незначительным. В середине 20 века исследования в области диодов и транзисторов дали необходимые для ученых знания. В 1954 году Гордон Пирсон, Дэррил Чапин и Кэл Фуллер произвели кремниевый солнечный элемент, имеющий КПД 4%. В дальнейшем эффективность ячейки была повышена до 15%. Солнечные батареи были впервые использованы в сельских районах и отдаленных городах в качестве источника питания для системы телефонной связи, где они успешно использовались на протяжении многих лет.

В настоящее время производимые солнечные батареи пока не могут полностью удовлетворить потребности в энергии, но они стали основным источником энергии для обеспечения искусственных спутников Земли. Существующие на то время топливные системы и аккумуляторные батареи имели слишком большой вес. Солнечные батареи имеют большее значение соотношения вырабатываемой энергии к весу, чем все другие традиционные источники энергии, и являются экономически более эффективными.

Пока количество установленных крупномасштабных энергетических фотоэлектрических систем невелико. Большинство усилий направлено на обеспечение с их помощью электроэнергией отдаленных и труднодоступных мест. Мощность ежегодно устанавливаемых солнечных электростанций составляет около 50 мегаватт. Но солнечные батареи обеспечивают лишь около 1 процента всей производимой в настоящее время электроэнергии.

Сторонники солнечной энергетики утверждают, что количество солнечного излучения, достигающего поверхности Земли каждый год, могло бы легко обеспечить потребности в энергии несколько раз. Но история создания солнечных батарей должна пройти длинный путь, прежде чем осуществить мечту Чарльза Фриттса по получению бесплатной и доступной солнечной энергии.

1.2 Устройство солнечной батареи. Виды солнечных панелей

Состав и устройство солнечной батареи, ее элементов определяют эффективность выработки энергии готовым изделием. В настоящее время, для генерации электрической энергии используются солнечные панели на основе кремния, теллурида кадмия, соединения медь-индий галлий-селен, а также концентраторные батареи на основе арсенида галлия. Ниже будут даны краткие описания каждой из них.

Солнечные батареи (далее СБ) на основе кремния составляют на сегодняшний день порядка 85% всех выпускаемых солнечных панелей. Исторически это обусловлено тем, что при производстве СБ на основе кремния использовался обширный технологический задел и инфраструктура микроэлектронной промышленности, основной «рабочей лошадкой» которой также является кремний. В результате, многие ключевые технологии микроэлектронной промышленности такие как выращивания кремния, нанесения покрытий, легирования, удалось адаптировать для производства кремниевых батарей с минимальными изменениями и инвестициями. Кроме того, кремний – один из самых распространенных элементов земной коры и составляет по разным данным 27-29% по массе. Таким образом, нет никаких физических ограничений для производства значительной доли электроэнергии Земли с имеющимися запасами селена.

Различают два основных типа кремниевых СБ – на основе монокристаллического кремния и на основе мультикристаллического или поликристаллического. В первом случае используется высококачественный (и, соответственно, более дорогой) кремний выращенный по методу Чохральского, который является стандартным методом для получения кремниевых пластин-заготовок для производства микропроцессоров и микросхем. Эффективность СБ изготовленных из монокристаллического кремния составляет обычно 19-22%. Не так давно, фирма Панасоник заявила о начале промышленного выпуска СБ с эффективностью 24,5% (что

вплотную приближается к максимально возможному теоретически значению ~30%).

Во втором случае для производства СБ используется более дешевый кремний произведенный по методу направленной кристаллизации в тигле, специально разработанного для производства СБ. Получаемые в результате кремниевые пластины состоят из множества мелких разнонаправленных кристаллитов (типичные размеры 1-10мм) разделенных границами зерен. Подобные неидеальности кристаллической структуры (дефекты) приводят к снижению эффективности – типичные значения эффективности СБ из мультикристаллического селена составляют 14-18%. Снижение эффективности данных СБ компенсируется их меньшей ценой, так что цена за один ватт произведенной электроэнергии оказывается примерно одинаковой для солнечных панелей как на основе монокристаллического так и мультикристаллического кремния.

Тонкопленочные солнечные панели

Возникает вопрос – зачем разрабатывать другие типы модулей, если солнечные панели на основе моно - и мультикристаллического кремния уже созданы и показывают неплохие результаты? Очевидный ответ - чтобы добиться еще большего снижения стоимости и улучшения технологичности и эффективности, по сравнению с обычными монокристаллическими и мультикристаллическими солнечными батареями.

Дело в том, что обычные кремниевые фотоэлектрические модули наряду с преимуществами, перечисленными выше, обладают и рядом недостатков. Кремний из-за своих особых электрофизических свойств (непрямозонный полупроводник) обладает довольно низким коэффициентом поглощения, особенно в области инфракрасных длин волн. Таким образом, толщина кремниевой пластины для эффективного поглощения солнечного излучения должна составлять довольно внушительные 100-300 мкм. Более толстые пластины означают больший расход материала, что ведет к удорожанию СБ.

В то же время, прямозонные полупроводники на вроде арсенида галлия, теллурида кадмия, медь-индий галлий-селен, и даже некоторые модифицированные формы кремния, способны поглощать требуемое количество солнечной энергии при толщине всего в несколько микрон. Открывается заманчивая перспектива сэкономить на расходных материалах, а также на электроэнергии, которой требуется значительно меньше для изготовления более тонкого слоя полупроводника. Еще одной положительной чертой СБ на основе вышеназванных полупроводников – в отличие от СБ на основе монокристаллического и мультикристаллического кремния – является их способность не снижать эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую даже в условиях рассеянного излучения (облачный день или в тени).

Исследования СБ на основе теллурида кадмия начались еще в 1970-х годах ввиду их потенциального использования в качестве перспективных для космических аппаратов. А первое широкое применение «на земле» подобные СБ нашли в качестве элементов питания карманных микрокалькуляторов.

Данные элементы представляют собой гетероструктуру из тонких слоев теллурида кадмия / сульфид кадмия (суммарная толщина 2-8 мкм) напыленных на стеклянную подложку (основу). Эффективность современных фотоэлектрических элементов данного типа равняется 15-17%. Основным (и фактически единственным) производителем СБ на основе теллурида кадмия является американская фирма Ферст Солар, которая занимает 4-5% всего рынка.

К сожалению, есть проблемы с обоими элементами, входящими в состав соединения теллурида кадмия. Кадмий – это экологически вредный тяжелый метал, который требует особых методов обращения и ставит сложный вопрос утилизации старых изделий. В виду этого, законодательство многих стран ограничивает свободную продажу гражданам СБ этого типа (строятся только масштабных солнечных электростанций под гарантии утилизации от фирмы производителя). Второй элемент – теллур, довольно

редко встречается в земной коре. Уже в настоящее время более половины всего добываемого теллура идет на изготовление солнечных панелей, а перспективы нарастить добычу – довольно призрачны.

Солнечные батареи на основе соединения медь-индий (галлий)-селен являются новичками на рынке солнечной энергетики. Несмотря на то, что начало исследований элементов этого типа было положено еще в середине 70х, в настоящее время коммерческий выпуск в боле-менее солидных масштабах ведет всего лишь фирма Солар Фронтиер КК из Японии. Отчасти это связано с технически сложным и дорогим процессом изготовления, хотя в некоторых случаях их эффективность может достигать 20%.

Несмотря на отсутствие экологически вредных элементов в составе этого соединения, значительному расширению производства данных солнечных модулей в будущем угрожает дефицит индия. Ведутся исследования с целью заменить дорогой индий на более дешевые элементы и может быть скоро появятся новые изделия на основе соединения Cu2ZnSn(S,Se)4.

Фотоэлектрические модули на основе аморфного кремния. Тонкопленочные солнечные батареи могут быть построены также и на основе хорошо известного кремния, если удастся каким-либо образом улучшить его способности к поглощению солнечного света. Применяются две основные методики:

- увеличить путь прохождения фотонов посредством многократного внутреннего переотражения;

- использовать аморфный кремний, обладающий гораздо большим коэффициентом поглощения, чем обычный кристаллический кремний.

По первому пути пошла австралийская фирма Си Эс Джи Солар Лтд, разработавшая СБ с эффективностью 10-13% при толщине слоя кремния всего 1,5 мкм. По второму – швейцарская Оерликон Солар (которую сейчас перекупили японцы), создавшая комбинированные солнечные панели на основе слоев аморфного и кристаллического кремния

монокристаллического / мультикристаллического эффективность которых также составляет 11-13%. Своеобразной особенностью СБ из аморфного кремния является снижение эффективности их работы при понижении температуры окружающего воздуха (у всех остальных - наоборот). Так, фирма производитель рекомендует устанавливать данные модули в странах с жарким климатом.

Концентраторные солнечные модули

Наиболее совершенные и самые дорогие на сегодняшний день солнечные модули обладают эффективностью фотоэлектрического преобразования до 44%. Они представляют собой многослойные структуры из разных полупроводников последовательно выращенных друг на друге слой за слоем. Наиболее успешной является структура состоящая из трех слоев: германий (нижний полупроводник и подложка), арсенид галлия и фосфид галлия-индия. Благодаря тому, что в подобной комбинации каждый отдельный полупроводниковый слой поглощает наиболее эффективно свой определенный диапазон солнечного спектра (определяемый шириной запрещенной зоны полупроводника), достигается наиболее полное поглощение солнечного света во всем диапазоне длин волн, недостижимое для СБ состоящих из одного типа полупроводника. К сожалению, процесс изготовления подобных многослойных полупроводниковых слоев очень сложен технически и, как следствие, весьма дорог. Если солнечные батареи стоят очень дорого, фокусировка солнечного излучения на меньшей площади СБ может применяться как эффективный способ снижения финансовых затрат. Например, собрав при помощи линзы солнечный свет с 10 см2 и сфокусировав его на 1 см2 солнечной батареи, можно получить тоже количество электроэнергии, что и от элемента площадью 10 см2 без концентратора, но экономя при этом целых 90% площади. Но при этом, набор подобных ячеек (солнечная батарея + линза) должен быть смонтирован на подвижной механической системе, которая будет ориентировать оптику в

направлении солнца в то время как оно движется по небу в течение дня, что увеличивает стоимость системы.

В настоящее время экономически оправдано использовать подобные дорогие концентраторные солнечные модули только в тех странах и регионах земного шара, где круглый год имеется в достатке прямое солнечное излучение (рассеянное излучение не может быть сфокусировано линзой). Так, французская фирма-производитель концентраторных СБ Соитек устанавливает свои СБ в Калифорнии, ЮАР, на юге Франции (Прованс), в Испании.

Органические солнечные батареи и модули фотосенсибилизованные красителем

Но есть и новый тип тонкопленочных солнечных батарей, такой как сенсибилизированные красителем солнечные элементы, которые работают на совершенно ином принципе, чем все модули, рассмотренные выше, на принципе больше напоминающем фотосинтез у растений. Но их пока нет в коммерческой продаже.

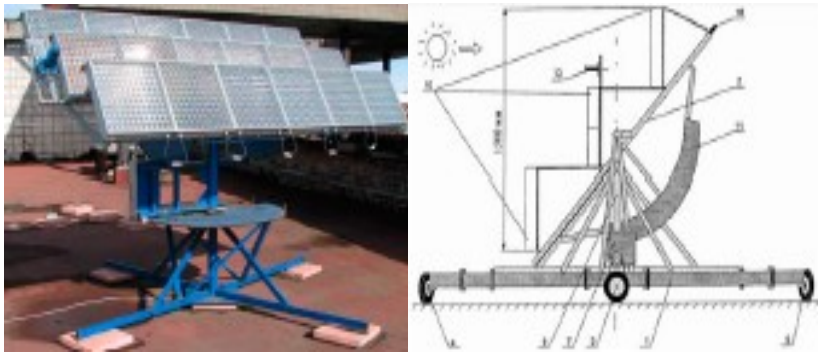
1.3 Фотоэлектрические энергоустановки со слежением за Солнцем

Основное направление повышения энергетической эффективности автономной системы управления технологическим процессом (далее АСУТП) выработки электрической энергии автоматизированной фотоэлектрической установкой (далее АФЭУ) – это создание и использование двухкоординатной системы слежения автоматизированной фотоэлектрической энергоустановки управления (далее АФЭУ) за Солнцем, которая обеспечивает повышение энергетической эффективности не менее чем на 30-50% в сравнении с энергетическими установками, не имеющими систем слежения за Солнцем.

В настоящее время производством фотоэлектрических энергоустановок со слежением за Солнцем занимается ряд известных российских и зарубежных фирм: ФТИ РАН им. А.Ф.Йоффе, НПО Астрофизика, МЭИ, Селтек (Украина), Санпауэр (США), Конза Портабл Солар Трекер (США),

Гинтех (Китай), Канадиан Солар (Канада), Мотех (Тайвань), Ферст Солар (США), Юнгли Грин Энерджи (Китай), Титан трекер (Истания), Сан Пауэрт 20 Трекер (США), Мерлин Пауэр Систем (США), корпорация Эко-Смарт (США), Траксел (Чешская республика) и другие.

На рисунке 1 приведены энергетические установки, разработанные ФТИ РАН им. А.И.Йоффе.



а *б*

Рисунок 1 – Энергетические установки ФТИ РАН им А.Ф.Йоффе

В установках ФТИ РАН им А.Ф.Йоффе (Россия) используется специально разработанный датчик положения Солнца, обеспечивающий точность слежения 0,1 градуса. Площадь устанавливаемых панелей 5,54 м2. Применяются индивидуально разработанные солнечные концентраторные модули с устройствами слежения за Солнцем. Солнечные концентраторные модули содержат линзы Френеля и каскадные фотопреобразователи, расположенные в фокусе каждой из линз. Солнечные элементы располагаются в фокусе линз Френеля и монтируются на медном теплосбрасывающем основании, закрепленном на тыльной стеклянной пластине. В фотоэлектрической установке (рисунок 1, *а)* модули расположены ступенчато на электронно-механической системе слежения.

Фирма Конза Портабл Солар Трекер (США) занимается выпуском солнечных энергетических установок, которые могут перевозиться на

прицепе. На рисунке 2 приведена фотография энергетической установки. Слежение осуществляется по датчику положения Солнца.



Рисунок 2 – Энергетическая установка фирмы Конза Портабл Солар Трекер

На рисунке 3 приведена фотография энергетической установки фирмы Селтек. На установке можно расположить солнечные батареи площадью до 6м2. В системе слежения используются электроприводы постоянного тока, контроллер слежения и датчики положения Солнца. Точность слежения (наведения) 1 градус. При весе СБ большее 50 кг необходимо устанавливать противовесы, что увеличивает затраты на слежение.



Рисунок 3 – Энергетическая установка фирмы Селтек

На рисунке 4 приведена фотография энергетической установки ГЭУ-1,5 производства НПО Астрофизика (Россия). В установке слежение осуществляется непрерывно по оптико-электронным датчикам положения Солнца, которые размещаются на танине опорно-поворотного устройства и решетчатой раме-основании, точность слежения 2 градуса. Мощность установки 1,5 кВт. В установке ГЭУ-1,5 применяются фотоэлектрические модули МС-40 в сочетании с плоскими зеркальными концентраторами

солнечного излучения. В этой установке в качестве двигателя используется двигатель Стирлинга.



Рисунок 4 – Энергетическая установка НПО Астрофизика (ГЭУ-1,5)

На рисунке 5 приведена фотография энергетической установки фирмы Дитрас. В установке фирмы Дитрас используется датчик положения Солнца и обеспечивается точность слежения до 1 градуса. В системе предусмотрена возможность наращивания количества СБ.

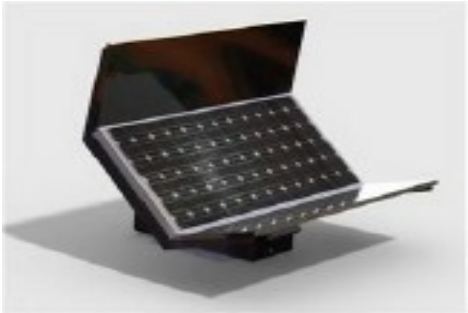


Рисунок 5 – Энергетическая установка фирмы Дитрас

На рисунке 6 приведена фотография энергетической установки фирмы Титан Трекер (Испания). В установке Титан Трекер используется большое количество солнечных панелей (общей площадью до 216 м2). Слежение ведется по двум осям. О минимизации энергопотребления при слежении не сообщается, не указан тип двигателя.



Рисунок 6 – Энергетическая установка Титан Трекер (Испания)

На рисунке 7 приведена фотография энергетической установки фирмы Сан Пауэрт20 Трекер (США).



Рисунок 7 – Энергетическая установка фирмы Сан Пауэрт20 Трекер

Фотоэлектрическая энергетическая установка монтируется под углом наклона либо горизонтально. Отслеживание положения Солнца осуществляется по одной оси. На одной горизонтальной оси размещается 9 модулей, состоящих из 128 ячеек, либо 12 модулей, состоящих из 96 ячеек.

ООО НПП Сервомеханизмы (г. Челябинск) занимается разработкой и выпуском приводов для ориентирования солнечных электростанций. Благодаря специально разработанной конструкции, механизмы успешно применяются в установках с СБ площадью дот 40 до 300 м2. В системе слежения используются серводвигатели, шаговые двигатели. На рисунке 8 показана фотография солнечной энергоустановки серии SEA площадью 40 м2. Слежение осуществляется по заранее заданной траектории.



Рисунок 8 – Солнечная установка фирмы НПП Сервомеханизмы

В ООО Электромехатронные системы (г. Томск) разработана солнечная установка с двумя СБ типа КСМ-160. Слежение осуществляется по заранее заданной траектории. В системе перемещения используется электромехатронные модули. СБ крепятся на общий вал электромехатронного модуля, что приводит к дополнительному разворачивающему моменту из-за несоответствия оси вращения рамы СБ и оси вращения двигателя. При этом существенно увеличиваются затраты энергии на слежение.

Фирма Мерлин Пауэр Систем (США) занимается выпуском солнечных энергетических установок, отличающихся тем, что они имеют основание в виде регулируемой по высоте треноги, позволяющей легко устанавливать конструкцию в любых условиях. Мобильность и быстрая сборка установки позволяют удовлетворить потребности военной техники, использовать в местах стихийных бедствий. Установки могут быть подключены параллельно или последовательно и использовать в гибридных системах. На рисунке 9 показана фотография солнечной энергоустановки фирмы Мерлин Пауэр Систем.



Рисунок 9 – Солнечная установка фирмы Мерлин Пауэр Систем

В Малазийском университете была разработана солнечная установка с одной солнечной панелью. На рисунке 10 показана фотография солнечной энергоустановки. В установке используется система слежения, содержащая линейные механизмы перемещения. Слежение осуществляется по заранее заданной траектории.



Рисунок 10 – Солнечная установка Малазийского университета

В Чешской республике в фирме Тракcл разработана солнечная фотоэлектрическая установка с восемнадцатью СБ, в системе слежения которой используется линейный механизм перемещения. Слежение осуществляется по одной координате с помощью датчика положения Солнца. На рисунке 11 показана фотография солнечной энергоустановки.



Рисунок 11 – Солнечная энергетическая установка фирмы Траксл

В фирме Эко-Смарт, (США) разработаны различные солнечные фотоэлектрические установки. На рисунке 12 показана фотография используемых солнечных энергоустановок (одно- и двухкоординатные системы слежения установок на Солнце). Типы используемых двигателей и датчиков положения Солнца не указаны.



Рисунок 12 – Солнечные энергетические установки фирмы Эко-Смарт

АФЭУ различают конструкции на основе наногетероструктурных фотопреобразователей и концентраторов излучения (солнечных концентраторных модулей), фотоэлектрических панелей, фотоэлектрических панелей в сочетании с плоскими зеркальными концентраторами и другие. Как правило, все зарубежные конструкции АФЭУ, системы слежения и управления защищены патентами.

В российских фотоэлектрических энергетических установках применяют различные солнечные батареи, выпускаемые следующими

заводами: «Квант» (Москва); ОАО «Сатурн» (Краснодар); ООО «Хевел» (Новочебоксарск); ОАО «Рязанский завод металлокерамических приборов»; ЗАО «Термитрон-завод» (Брянск); «Телеком-СТВ» (Зеленоград); «Солнечный ветер» (Краснодар).

2. Применение солнечных трекеров

В 2008-2009 годах было предсказано, что трекеры будут использоваться, по крайней мере, в 85% коммерческих установок мощностью более одного мегаватта в периоды с 2009 по 2012 г. Однако, по состоянию на апрель 2014 года, не существует каких-либо данных, подтверждающих эти прогнозы.

В фотоэлектрических концентраторных модулей и концентраторах солнечной энергии, трекеры используются для задействования оптических компонентов в концентраторных модулях и концентраторах солнечной энергии системах. Оптика этих концентрированных солнечных устройств принимает на себя прямое солнечное излучение и, следовательно, должна быть ориентирована надлежащим образом, чтобы собирать энергию. Системы слежения можно найти для всех данных концентраторов, а также для обыкновенных солнечных батарей, поскольку такие системы не производят энергию, если не направлены на Солнце.

2.1 Основная концепция

Эффективная площадь плоской фотоэлектрической панели изменяется в зависимости от угла между панелью и Солнцем.

Солнечный свет состоит из двух составляющих: прямого света солнечных лучей и рассеянного света. Прямой солнечный свет несет около 90% солнечной энергии, а рассеянный несет остаток. Рассеянный свет преобладает в пасмурные дни, когда небо затянуто облаками. Поскольку большая часть энергии находится в прямом луче, необходимо как можно дольше удерживать фотоэлектрическую панель, направленную на Солнце.

Энерговклад прямого луча уменьшается с увеличением угла между светом нормалью панели. Но стоит понимать, что трекеры, которые имеют точность +/- 5 градусов, могут поставлять более чем 99,6% от энергии, отдаваемой прямым лучом плюс 100% от рассеянного света. Как результат,

отслеживание с высокой точностью обычно не используется в неконцентрируемых панелях.

Траекторию движения Солнца в течение года можно увидеть на рисунке 13.

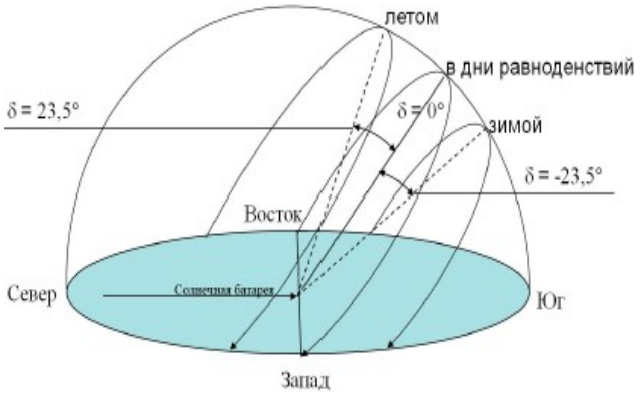


Рисунок 13 – Траектория движения Солнца относительно солнечной батареи по временам года

Солнце проходит через 360 градусов с востока на запад за день, но с точки зрения любого фиксированного положения в видимой части это составляет 180 градусов в течение среднего полудневного периода (больше весной и летом, меньше осенью и зимой). Из-за эффекта горизонта происходит уменьшение этого пути еще немного, что делает эффективным углом поворота трекера около 150 градусов. Солнечная батарея в фиксированной ориентации между восходом и закатом потеряет 75% энергии от максимально возможной выработки в утренние и вечерние часы. Поворот солнечной батареи на восток и запад может помочь вернуть эти потери.

Трекер вращающийся в направлении восток-запад известен как одноосевой.

Солнце также проходит через 47 градусов на север и на юг в течение года, таким образом изменяется его склонение. Поле солнечных батарей, установленных в средней точке между двумя крайними значениями склонения, сможет увидеть движение Солнца лишь на 23,5 градуса по обе стороны в течение года, в результате чего мы потеряем 8,3% энергии.

Чтобы избежать потерь энергии из-за сезонных изменений угла, был изобретен двухосевой трекер. Данный тип трекера отслеживает движение Солнца не только в течение дня, но и постепенно изменяет свой наклон в течение года вслед за изменением склонения.

Потери при использовании солнечных батарей увеличиваются также из-за изменений в продолжительности дня. Основное увеличение выработки происходит летом. Таким образом, когда панели наклонены ближе к средним углам, суммарные годовые потери уменьшены по сравнению с системой, наклоненной под углом, который совпадает с широтой местности.

Существует спор в данной отрасли, дает ли небольшая разница в ежегодной выработке между одно и двухосевыми трекерами смысл создавать двухосевые трекеры. Обзор фактических статистических данных о производстве из южной части Онтарио, Канада говорит о разнице около 4%, что было гораздо меньше, чем дополнительные расходы на двухосевую систему. Это сопоставление не так благоприятно как улучшение в 24-32% между фиксированной матрицей и одноосевым трекером.

Несмотря на то, что фотоэлектрическая панель в стационарном положении может собрать большую долю доступной энергии в полдень, значительная мощность также доступна рано утром и позднее после обеда. В такие моменты солнечные батареи будут недополучать большое количество доступной для сбора солнечной энергии. Например, даже когда Солнце находится всего в 10 градусов над горизонтом, доступная энергия может равняться около половины энергии полудня (или даже больше, в зависимости от широты, времени года и атмосферных условий).

Таким образом, основным преимуществом системы слежения является сбор солнечной энергии в течение дня, особенно в периоды восхода и заката, с наиболее точным выравниванием относительно положения Солнца, смещающегося в зависимости от сезона.

Кроме того, чем выше уровень концентрации, тем более важно становится точное отслеживание, так как доля энергии, получаемой от

прямого излучения выше, а область, где сосредоточена энергия, становится меньше.

2.2 Состав солнечного трекера

Типовой состав системы солнечных батарей с применением солнечного трекера представлен на Рисунке 14.

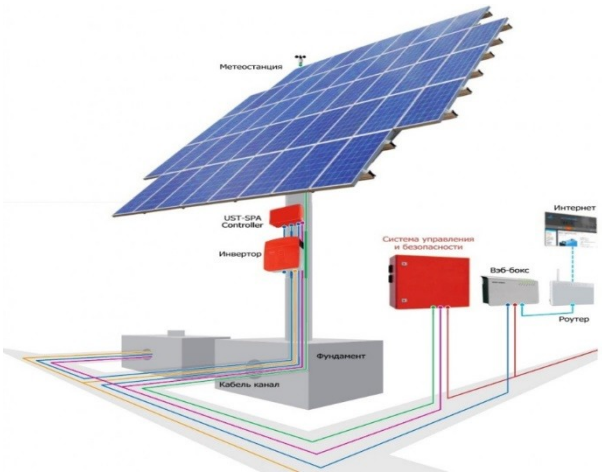


Рисунок 14 – Солнечный трекер в полной комплектации

Существует большое количество разновидностей комплектации трекера. Основной состав трекера строится из:

несущей части фундамента и подвижной части, которая задаёт горизонтальную, вертикальную и комбинированную оси поворота;

устройства управления подвижной частью, состоящей из двигателей, называемых актуаторами;

различных систем, включающих в себя бокс системы управления и безопасности, стабилизаторы, грозозащиту и метеостанцию;

контроллера системы управления для настройки и обслуживания энергосистемы;

роутера с подключением к интернету для отправки статистических данных и мониторинга системы или, другими словами, удаленным доступом;

системы навигации для определения географического положения. На стационарных трекерах система навигации применяется редко. Обычно поставщик во время монтажа задает значение широты, долготы, высоты над уровнем моря, где становится трекер;

микроинвертора или инвертора, преобразующего постоянное напряжение в переменное. Обычно инверторы устанавливаются отдельно для всей системы внутри помещения.

Чаще всего экономически не выгодно полностью комплектовать трекер, большинство данных элементов не устанавливаются для удешевления конструкции.

Надежность при построении трекера является одним из основных моментов. Систем должна справляться с сильными порывами ветра, а с увеличением площади полезной нагрузки (количества солнечных батарей или коллекторов) парусность сильно увеличивается. Вес самих солнечных батарей также имеет значение.

Увеличение габаритов системы возникает чаще всего из-за необходимости перераспределить нагрузку на трекере.

В качестве исполнительных устройств в трекерах могут применяться различные типы двигателей: линейные, шаговые, серводвигатели.

Чтобы сравнить целесообразность использования шагового двигателя и серводвигателя составим таблицу 1.

Таблица 1 – сравнение шагового двигателя и серводвигателя

	Шаговый двигатель	Серводвигатель
Надежность	Высокая надежность, в связи с отсутствием изнашивающихся элементов. Рабочий ресурс зависит от подшипников	Основное количество современных бесколлекторных двигателей обладают высокой надежностью сравнимой с шаговым

		двигателем
Эффект потери шагов	Присуще свойство потери шагов при высоких нагрузках	Не наблюдается
Скорость	150-300 мм/с	Скорость холостого перемещения 0,5-1м/с
Динамическая точность	Рассогласование не превышает 20 мкм	Точность до 1-2 мкм и выше
Стоимость	По сравнению с электродвигателями более высокая стоимость	Дорогостоящие датчики положения ротора, более высокая стоимость, чем у шагового двигателя

Иллюстрация применения линейных двигателей представлена на рисунке 15.

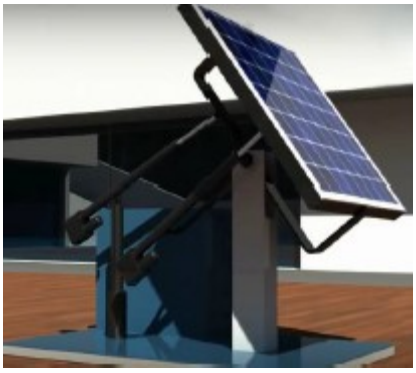


Рисунок 15 – Применение линейных двигателей в качестве исполнительных устройств

Вообще, тип применяемого двигателя зависит от конкретных условий разработки солнечной электростанции. Серводвигатели обладают слишком высокой точностью для применении в трекерах, а более разумное применение данных двигателей это высокоточные станки ЧПУ.

2.3 Классификация трекеров

Трекер выбирается в зависимости от условий, в которых он будет эксплуатироваться. Он включает в себя: широту местности, погодные условия, габариты установки, доступную площадь для установки и прочее. Классифицируются трекеры по количеству и положению осей вращения.

Трекеры с одной осью вращения называются одноосевыми.

Ось вращения данного типа трекеров может располагаться в любых координатных направлениях и использовать алгоритм слежения.

Существует несколько общих реализаций одноосевых трекеров. Они включают в себя трекеры с горизонтальной осью вращения, вертикальной осью вращения, с наклонной осью вращения и с полярно-ориентированной осью вращения.

Трекеры с горизонтально ориентированной осью – имеют ось вращения, расположенную горизонтально по отношению к земле. На рисунке 16 представлен данный тип трекера.

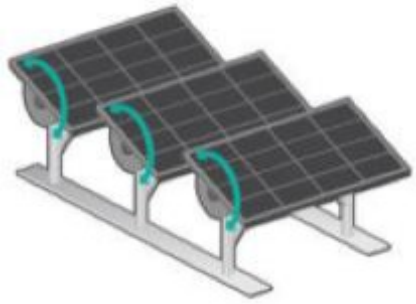


Рисунок 16 – Трекер с горизонтально ориентированной осью вращения

Оси вращения каждого ряда солнечных батарей располагаются параллельно друг другу. В зависимости от рельефа местности определенный интервал между соседними рядами осей поможет увеличить выработку всей системы.

В трекерах с горизонтально ориентированной осью длинные горизонтальные трубы опираются на подшипники, установленные на пилонах. Оси трубок ориентированы на линии север-юг. Панели

монтируются на трубке, а трубка будет вращаться вокруг своей оси, чтобы отслеживать видимое движение солнца в течение дня.

Вторая разновидность – это трекеры с вертикальной осью вращения, в которых ось вращения вертикальна по отношению к земле. Трекер изображен на рисунке 17. Данный вид трекеров вращается вслед за Солнцем в течение дня. Такие трекеры являются более эффективными в высоких широтах, чем трекеры с горизонтально ориентированной осью. При построении полей с данным типом трекеров также необходимо учитывать затемнение от соседних рядов, чтобы избежать ненужных потерь энергии и максимально задействовать доступную рабочую площадь.

Трекеры с вертикальной осью вращения обычно имеют конструкцию, ориентированную под углом по отношению к оси вращения, а полезная нагрузка (например, фотоэлементы) устанавливаются на неё.



Рисунок 17 – Трекер с вертикально ориентированной осью вращения

Следующий вид одноосевых трекеров – это трекеры с одной наклонной ою вращения – ось вращения в данных трекерах располагается между горизонтальной и вертикальной. Фото данного трекера изображено на рисунке 18.

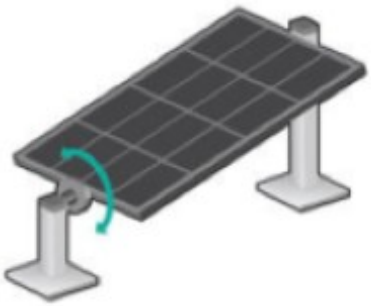


Рисунок 18 – Трекер с одной наклонной осью вращения

Второй тип трекеров – это трекеры с двумя осями вращения или двухосевые.

Трекеры с двумя осями вращения имеют две степени свободы, которые выступают в качестве осей вращения. Эти оси, как правило, не связаны друг с другом, но работают вместе.

Существуют несколько общих реализаций двухосевых трекеров. Они классифицируются по направленности их основной оси по отношению к земле. Два наиболее распространенных вида двухосевых трекеров: трекер с двумя осями вращения на несущем столбе и трекер с двумя осями вращения и опорной плоскостью.

Трекер с двумя осями вращения на несущем столбе названы таким образом, потому что массив с панелями монтируется на конце длинного столба. Данный трекер представлен на рисунке 19. Движение трекера с востока на запад управляется поворотом массива вокруг верхнего полюса, на котором закреплён подшипник. В верхней части вращающегося подшипника находится механизм, который обеспечивает вертикальное вращение панелей и обеспечивает основные точки крепления для массива панелей.



Рисунок 19 – Трекер с двумя осями вращения на несущем столбе

Рекомендации по установке полей с трекерами с двумя осями вращения на несущем столбе точно такие же как и для любых других видов или типов трекеров.

Оси вращения тракеров с двумя осями вращения на несущем столбе, обычно выравниваются либо по северному меридиану или по линии широты восток-запад.

Трекеры с двумя осями вращения и опорной плоскостью, в которых главная ось – вертикальная. Представлен на рисунке 20. Они похожи на трекеры с двумя осями вращения на несущем столбе, но они отличаются по способу поворота массива. Вместо вращающегося массива вокруг верхнего полюса столба. Трекеры с двумя осями вращения и опорной плоскостью обычно используют большое кольцо, установленное на земле или платформе. Вся система устанавливается на ролики или на большую платформу с подшипниками.



Рисунок 20 - Трекер с двумя осями вращения и опорной плоскостью

Основным преимуществом такого расположения является то, что вес массива распределяется по частям кольца, в отличие от одной точки загрузки полюса в трекерах с двумя осями вращения на несущем столбе. Это позволяет трекерам с двумя осями вращения и опорной плоскостью поддерживать гораздо больший массив солнечных панелей или держателей, в отличие от трекеров с двумя осями вращения на несущем столбе, однако, системы трекеров с двумя осями вращения и опорной плоскостью не могут быть размещены ближе друг к другу, чем диаметр кольца, что может привести к снижению плотности застройки системы, особенно с учетом меж-трекерного затенения.

В основном говорят о полюсах от использования любых типов трекеров, но необходимо использовать правильный трекер по правильным причинам. Вообще, двухосевые трекеры являются более точными при концентрировании прямо на Солнце, которое, обычно является ярким пятном в небе, двухосевые трекеры стоят дороже и с течением времени быстрее теряют свою надежность, чем одноосевые. С другой стороны одноосевой предлагает более низкую стоимость и более высокую надежность, так как есть меньше вещей, которые могут пойти не так при эксплуатации системы, которая может, как ожидается, превышать 20 лет или более. Рассмотрите группу двухосевых трекеров в пасмурный день, и вы увидите их рассредоточение по всему небу. Между тем, группа одноосевых трекеров будет смотреть в одном направлении и производить примерно такое же качество энергии в час с намного меньшими потерями.

Какой выбрать тип трекера зависит от того, где вы находитесь на Земле. В преимущественно солнечных областях, таких как пустыни и экваториальные регионы атмосфера обычно яснее. Эти регионы имеют высокий «Индекс ясности неба» больше, чем 0,7 – 0,8 и более.

Индекс ясности неба является мерой того, насколько прозрачным является небо. Как сильно облака поглощают, отражают или преломляют энергию Солнца. Низкая ясность рассеивает свет, как в туманный или

пасмурный день. Высокая прозрачность около 0,7 – 0,8 это очень солнечный день с небольшим затуманиванием или облачностью в атмосфере. Здесь двухосевой трекер оправдывает своё применение и может достичь производства энергии на 40-45% больше, чем в фиксированном положении, при идеальном наклоне для данной широты. На большинство из развитого мира живут в умеренном климате, где индекс ясности неба редко лучше, чем 0,5, как, например, в большей части Северной Америки, не считая солнечного юга США.

Таким образом, для разработки нашего устройства был выбран одноосевой тип солнечного трекера, как более простой в изготовлении и эксплуатации.

Небольшие модификации в конструкции помогут провести эксперимент по сравнению энергетической выработки при наклонной оси вращения и стационарной установкой, а также при вертикальной оси вращения, и сравнить оба эксперимента между собой.

2.4 Способы управления системой ориентации трекера

Существует несколько способов управления системой ориентации трекера.

Первый способ подразумевает использование фотоприёмников. Фотоприёмники - это датчики, получающие информацию о местоположении Солнца на небе. Они дают информацию о том, как нужно сориентировать солнечные батареи. Существенный минус этого способа заключается в том, что в облачную или пасмурную погоду информация с фотоприёмников будет разниться, и в солнечную батарею не удастся навести в нужное положение.

Другой способ это использовать ручное управление. Управляя актуаторами можно установить солнечные батареи в заранее записанные положения (используя переключатели). В течение дня толком использовать такой способ невозможно, а вот для сезонного применения он достаточно

эффективен, когда необходимо изменить угол наклона трекера относительно земли вслед за изменением склонения Солнца.

Следующий способ это применение таймера. Благодаря его использованию устройства, отвечающие за ориентацию в трекере, будут поворачивать солнечную батареи по времени движения Солнца в течение дня.

Но наилучший способ это программное управление механизмом вращения. Рассчитав местоположение Солнца в определенный момент времени, специальное программное обеспечение передаёт эту информацию на электростанцию, и с учётом полученных данных трекер устанавливает угол наклона всего поля солнечных батарей и направляет их в нужную сторону.

Каждый из способов управления подходит для различных условий. Для частного использования подойдет ручной способ управления с изменением угла наклона два раза в год (весной и осенью). Экономически не целесообразно устанавливать трекеры для нескольких панелей или коллекторов. Для крупных электростанций или полей с солнечными батареями актуален только программный способ управления трекерами.

Для нашего эксперимента подойдет только программный способ, так как потребуется управлять трекером по заранее написанному алгоритму и собирать статистическую информацию о выработке энергии в течение дня. Также в программе потребуется использовать таймер для считывания информации через равные промежутки времени в течение часа, примерно раз в пять минут.

3.Разработка системы ориентирования солнечных панелей

При разработке схематической части работы нашего трекера воспользуемся методом составления блок-схемы, которая поможет представить из каких частей должна строиться электрическая схема устройства.

3.1 Схема устройства

На рисунке 22 представлена такая блок-схема.



Рисунок 22 Блок-схема для построения электрической схемы устройства

Первый возникающий вопрос при разработке устройства трекера – это выбор двигателя для вращения солнечной батареи. Выбор происходил между шаговым двигателем и сервоприводом, который имеет обратную связь, и любое его положение мы знаем заранее и наверняка.

Выберем шаговый двигатель 28BYJ-48, как имеющий достаточную точность для солнечного трекера, меньшую цену, чем сервопривод и обладающего хорошей надежностью. В качестве драйвера для двигателя используем схему ULN2003, которая часто продаётся в комплекте с данным двигателем.

Для управления процессом вращения шагового мотора, работы датчиков и определения максимальной мощности будем использовать микроконтроллер Arduino, в частности плату Aurdino Nano. Данная линейка микроконтроллеров обрела большую популярность в мире, благодаря

простоте своего интерфейса, как аппаратного и программного, а также скоростью обработки данных, набором ввода/вывода и многими прочими возможностями.

Для работы нашего микроконтроллера и двигателя необходимо питание. Получать питание мы можем несколькими способами, такими как подключение через USB, от внешнего источник питания или от аккумуляторной батареи. Выберем для питания подключение через USB. В данном статусе микроконтроллер и двигатель также смогут питаться от источника напряжения 220В через блок питания.

Так как система поворота солнечной батареи базируется на вращении вала шагового двигателя, при первоначальном запуске системы нам необходимо задавать точку отсчёта. То есть, необходима система, которая поможет отслеживать положение вала.

С этой задачей можно справиться, если использовать какой-либо датчик, при срабатывании которого вращение вала остановится в нужном нам положении, и данное положение мы примем за нулевое (точка отсчёта). Программным методом мы зададим точку отсчёта и будем считать шаги двигателя от данного положения.

На рисунке 23 представлена принципиальная схема устройства, по которой будет объясняться дальнейший принцип работы.

В процессе разработки устройства были перепробованы различные варианты установки точки отсчёта, такие как использование лазера и фоторезистора, применение датчика холла, оптопары.

Было принято решение использовать геркон SF1 и расположенный на конструкции держателя солнечной батареи магнит. Вал, вращаясь против часовой стрелки, «доставляет» магнит к геркону, в результате чего последний замыкает и подает управляющий сигнал на микроконтроллер Ardiuno с целью остановки вала двигателя и фиксации нулевого положения. Подробное описание конструкции находится в следующей части записки.

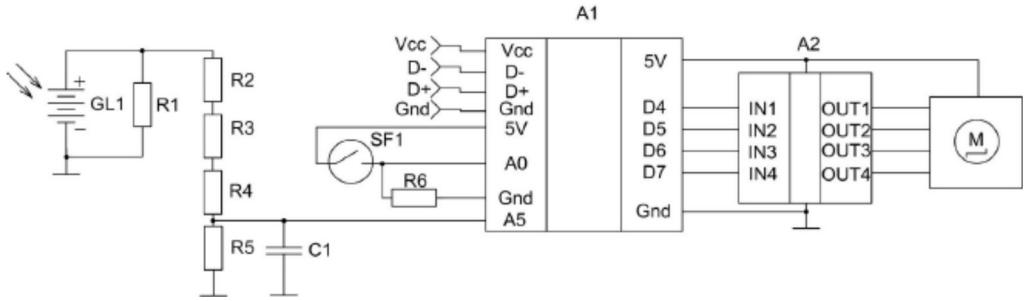


Рисунок 23 – Принципиальная схема солнечного трекера

Порт аналого-цифрового преобразователя (далее АЦП) A0 микроконтроллера оживает замыкания геркона SF1 и приёма управляющего сигнала. До тех пор, пока на данный порт не подается никаких сигналов, он будет выдавать случайные значения преобразования, в результате собственных шумов и наводок из внешней среды. Для того, чтобы этого не происходило, мы подключаем порт A0 на землю через резистор R5 в 10кОм, используемый для ограничения тока. Без использования резистора в результате «срабатывания» геркона микроконтроллер замкнется своим внутренним источником питания напрямую на землю и выйдет из строя как при коротком замыкании.

После остановки вращения вала, от принятой точки отсчёта будет происходить следующий этап движения шагового мотора M с целью поиска максимума выработки.

Управляющие сигналы с цифровых портов D4-D7 микроконтроллера поступают на порты IN1-IN4 драйвера шагового двигателя ULN2003. В свою очередь, получая управляющие сигналы, которые представляют собой логические сигналы с высоким или низким значением напряжения, драйвер подаёт ток на обмотки статора шагового мотора 28BYJ-48, заставляя вращаться ротор в нужном нам направлении на заданный угол, с определенной скоростью.

Солнечная батарея на схеме обозначается GL1. Мощность данной солнечной батареи 3Вт, а выдаваемое ею напряжение до 15В на холостом ходу при ярком солнечном свете.

Определять точку максимальной выработки будем по напряжению резистора R4 считываемого АЦП с порта микроконтроллера A5.

В зависимости от сопротивления нагрузки значения, измеряемые АЦП, могут превосходить максимально допустимые значения. Также, так как АЦП микроконтроллер работает в диапазоне напряжений от 0 до 4,1В, используем делитель напряжения из резисторов R1-R4 номиналами по 12кОм.

Конденсатор C1, имеющий ёмкость 1мкФ, подключенный параллельно к резистору R4, используется как сглаживающий фильтр, чтобы уменьшить пульсацию напряжения с солнечной батареи, которое имеет место быть при демонстрации устройства в помещении с искусственным освещением.

Процессы, происходящие во время поиска максимума, описаны в следующей части работы, где рассказывается о программной реализации работы трекера.

3.2 Элементная база

В результате разработки устройства было создано два вида его конструкции.

Первый вид конструкции предназначен для проведения эксперимента с вертикально ориентированной осью вращения. Его конструкция и процесс вращения представлены на рисунке 24.

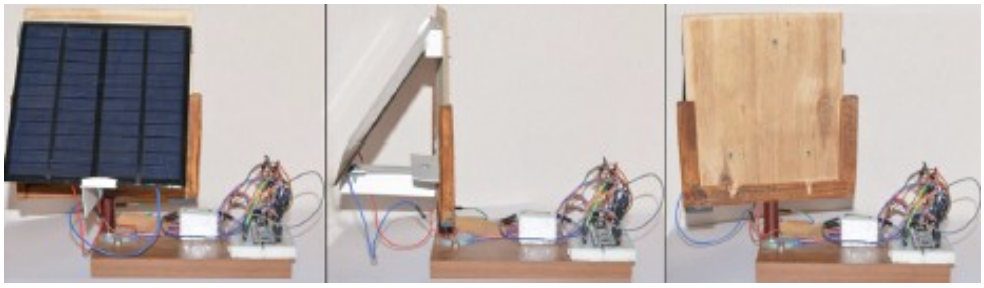


Рисунок 24 – Разработанный трекер с вертикально ориентированной осью вращения

Второй вид конструкции разработанного трекера, представленный на рисунке 25, предназначен для проведения эксперимента с наклонной осью вращения.

Для задания нужного угла наклона необходимо приподнять устройство и обеспечить надежную фиксацию при проведении эксперимента.

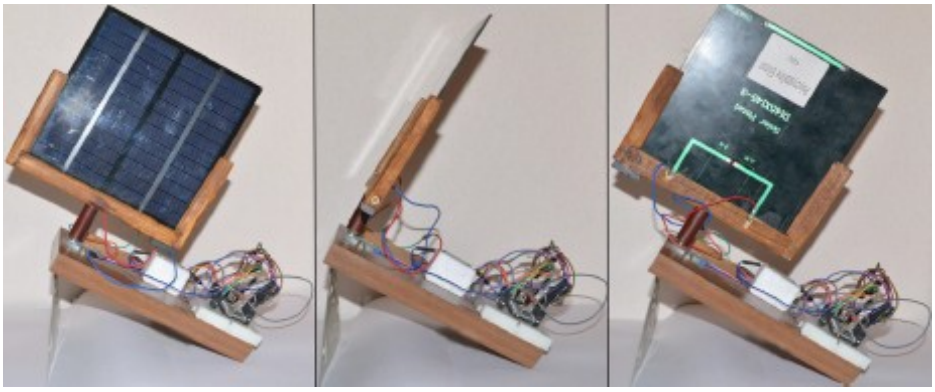


Рисунок 25 – Разработанный трекер с наклонной осью вращения

Устройство трекера можно увидеть на рисунке 26.

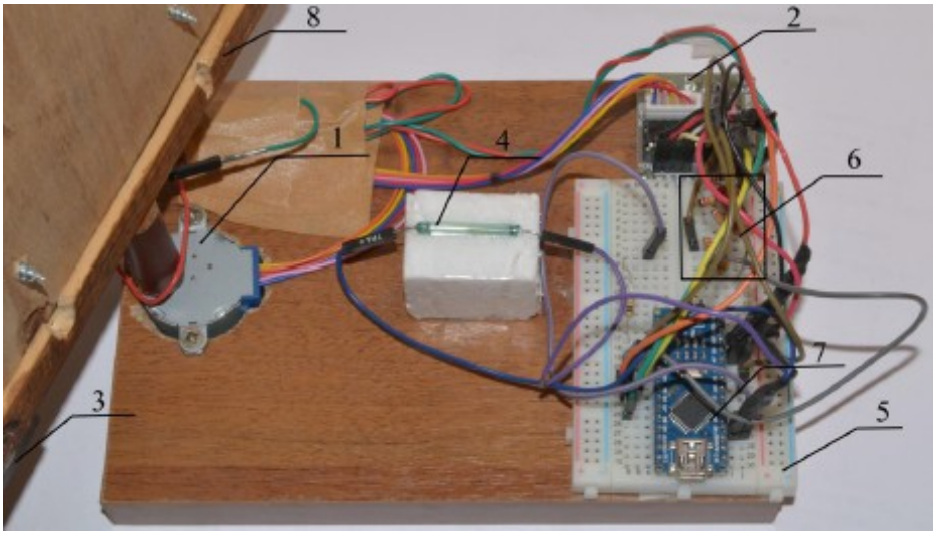


Рисунок 26 – Устройство разработанного солнечного трекера

Вся электрическая и механическая часть устройства располагается на деревянном бруске.

Шаговый двигатель 1, закрепленный в основании деревянного бруска, соединяется с драйвером 2, который в свою очередь подключен к

микроконтроллеру 7 и получает от него управляющие сигналы. Для удобства все электрические соединения производятся на монтажном поле 5. В области 6 находится сопротивление нагрузки и делитель напряжения с конденсатором, которые подключаются к солнечной батарее, находящейся на держателе 8. Держатель 8 также соединен с осью вращения шагового двигателя 1. В процессе вращения постоянный магнит 3, закрепленный снизу держателя 8, для фиксации нулевого положения в область с герконом 4.

3.3 Программное обеспечение

Для реализации программного управления работы трекера необходимо запрограммировать микроконтроллер Arduino на языке программирования основанном на C/C++.

В результате разработки программной части работы устройства были созданы различные варианты работы. Например, одним из таких вариантов работы был поиск максимума освещенности, когда вал шагового двигателя, двигался сначала по 10 градусов и считывал напряжение солнечной батареи, а затем по 1 градусу вокруг предполагаемого максимума для более точного поиска.

Данный вариант поиска максимума можно назвать двухэтапным, так как мы ищем максимум за два прохода. Этот вариант работы давал большую точность поиска, но затрачивал много энергии.

На основе данной программы был создан одноэтапный вариант поиска, который позволяет за один проход вала найти максимум освещенности.

В приложении А представлена программа, полностью отражающая работу нашего солнечного трекера для эксперимента с комментариями о её работе. Необходимо пояснить основные моменты и тонкости работы программы. Блок-схема алгоритма (далее БСА) программы представлена на рисунках 27 а-в.

Первым делом подключаем стороннюю библиотеку AccelStepper для управления шаговым двигателем и определяет различные переменные

записи/хранения и состояния устройства (например, такие как «flag_1» - «flag_8»).

В функции «void setup()», называемой, когда запускается программа. Мы задаем начальные установки работы трекера, такие как скорость вращения вала и темп разгона/торможения двигателя. Данная функция вызывается лишь раз после подачи питания.

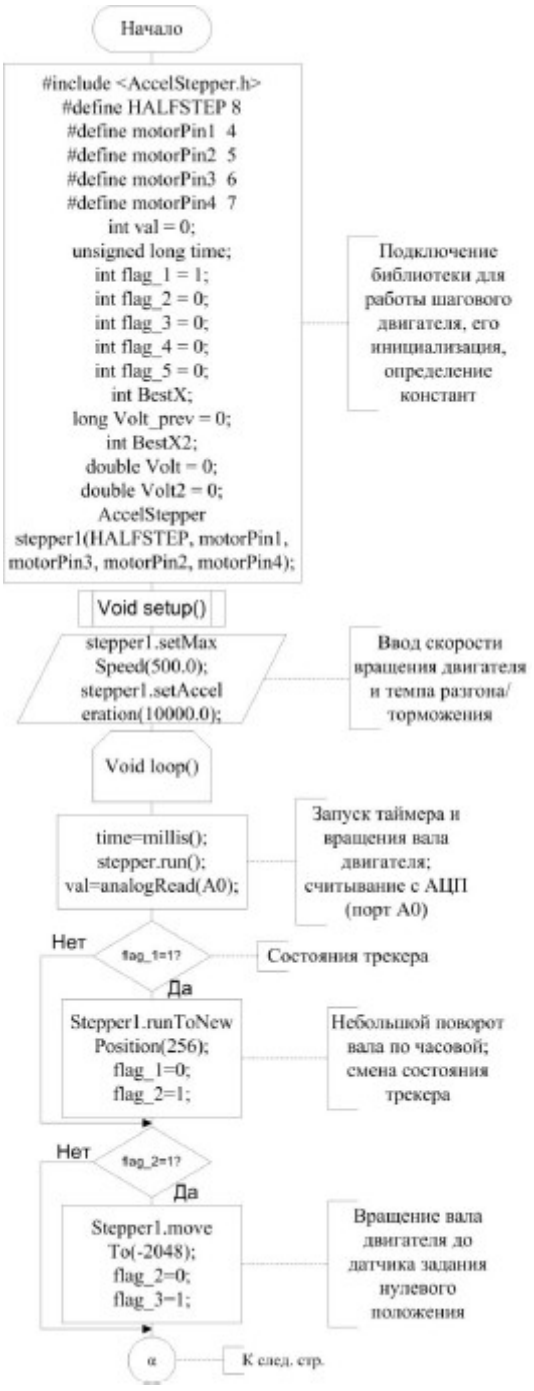


Рисунок 27а – БСА программы



Рисунок 27б – БСА программы



Рисунок 27 в – БСА программы

Затем запускается основной цикл, который вызывается функцией «void loop()». Данная функция делает точно то, что говорится в её названии, а точнее работает в цикле. Она позволяет нашей программе выполнять вычисления, производить различные действия и реагировать на них.

Так как основная функция выполняется в цикле, а в работе солнечного трекера имеется последовательность действий, которую необходимо совершать после каждого запуска работу устройства или программы, все основные действия будут совершаться с использованием условного оператора условия «if» и переменных, отображающих состояние устройства.

Таким образом, следующее действие в работе трекера, например процесс поиска максимума после установки нулевого положения, не начнется до сих пор, пока не закончится предыдущее, и соответственно

состояние устройства не перейдет из одного в другое, а переменная из единицы в ноль или наоборот.

Следует отдельно рассказать о работе шагового двигателя. Задаем работу данного двигателя в полушаговом режиме («HALFSTEP») или 8-шаговой управляющей последовательности и определяем управляющие выводы («motorpin1»-«motorpin4»). Таким образом, за полный оборот мотор совершает 4096 шагов. Тип двигателя: униполярный. Питается 28BYJ-48 от 5 вольт напряжения. Передаточное отношение редуктора 64:1.

После процесса определения начальной точки (описанного в схематической части), находящейся в крайнем левом положении, мотор движется на 180 градусов по часовой стрелке с небольшой скоростью и считывает значения напряжения на нагрузке солнечной батареи каждые пол градуса вращения.

С помощью оператора цикла «for» задаем угол поворота двигателя в 0,5 градуса и угол, до которого будет вращаться вал мотора относительно нулевого положения, т.е. до крайнего правого положения. В процессе поиска происходит запись напряжения на нагрузке в переменную «Volt» в среднем положении (направление на южную сторону света) и напряжения при максимальной освещенности в переменную «Volt2».

Поиск будет происходить раз в 5 минут в течение дня по таймеру, задаваемому функцией «millis».

Таким образом, раз в 5 минут в течение половины дня (в связи с местом проведения эксперимента), мы сможем снимать напряжение в стационарном положении солнечной батареи направленной на юг и в тот же момент времени в положении максимальной освещенности.

4. Заключение

В результате выполненной дипломной работы был разработан макет одноосевого солнечного трекера, исполнительным устройством которого является шаговый двигатель.

В первой части работы была рассмотрена основная концепция применения солнечных трекеров в гелиосистемах. Были рассмотрены основное устройство трекеров, их типы и виды, а также способы управления системой ориентации.

Во второй части производилась разработка электрической принципиальной схемы устройства, была создан блок-схема, которая помогла понять из какого минимального набора элементов должен состоять солнечный трекер. Производился выбор элементов.

В третьей части работы описывается конструктив готового устройства. Благодаря применению беспаечной монтажной платы процесс создания и отладки устройства происходил наиболее рациональным, быстрым и удобным способом. Описывается реализация программного управления работы трекера. Была создана программа и блок-схема алгоритма, которая даёт представление о работе программы, был создан макет устройства.

Следовательно можно сделать вывод, что грамотное применение солнечных трекеров на больших полях фотопанелей, по сравнению с частным использованием в небольших количествах, говорит об их неоспоримом преимуществе.

5. Список используемой литературы

1. С. Гибилиско, Альтернативная энергетика без тайн, Москва, 2010. – 368с.

2. Глиберман А.Я. – Кремниевые солнечные батареи, Госэнергоиздат, 1961. – 74с.

3. Умаров Г.Я., Ершов А.А., Солнечная энергетика, М., Знание, 1974. – 64 стр.

4. Г. Шехер, Экономические основы солнечной энергетики. Экологический возобновляемый источник энергии будущего, 2004. – 368с. // ISBN: 978-1844070756.

5. А.В. Наумов – Ещё раз о развитии солнечной энергетики и рынке кремниевого сырья в 2007-2010гг, 2007. – 20с.

6. В.А. Андреев, В.А. Грихилес, В.Д. Румянцев, Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения, Найка, 1989. – 310с.

7. Без автора. Солнечный коллектор, пособие для проектирования, Будапешт: GB-GANZ. – 32с.

8. Александров А.А., Электротехнические чертежи и схемы / Александров К.К., Кузьмина Е.Г. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.

9. Стивен Прата, Язык программирования C++. Лекции и упражнения, 6-е издание// Вильямс, 2012. – с. 1244.

10. ГОСТ 19.701-90. Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. – Введ. 1992-01-01. – М.: Госстандарт РФ: Издательство стандартов, 1990.