

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
"Національний гірничий університет"

Електротехнічний факультет

Кафедра Відновлюваних джерел енергії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
магістерської дисертації

галузь знань 14 – Електрична інженерія

спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії)

освітній рівень магістр

кваліфікація 2143.2 Інженер-електрик в енергетичній сфері

на тему Розрахунок величини ємності накопичувача тракерной установки
для забезпечення працездатності в автономному режимі.

Виконавець:

студент II курсу, групи 141м-16-3

(підпис)

Новіков В.С.

(прізвище та ініціали)

Керівники/консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
Проекту	Плаксін С.В.		
розділів:			
Розділ 1:	Плаксін С.В.		
Розділ 2:	Плаксін С.В.		
Розділ 3:	Плаксін С.В.		
Розділ 4:	Тимошенко Л.В.		
Рецензент			
Нормоконтроль	Ципленков Д.В.		

Дніпро
2018

**Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
"Національний гірничий університет"**

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

Відновлюваних джерел енергії

(повна назва)

Шкрабець Ф.П.

(прізвище, ініціали)

(підпис)

" _____ " _____ січня _____ 2018 року

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи магістра (магістерської дисертації)

спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії)

студенту групи 141м-16-3 Новікову В.С.
(група) (прізвище та ініціали)

Тема магістерської дисертації Розрахунок величини ємності накопичувача трекерної
установки для забезпечення працездатності в автономному режимі.

1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора ДВНЗ "НГУ" від 31 жовтня 2017 р № 1806-л

2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ

Об'єкт досліджень сонячна фотоелектрична станція.

Предмет досліджень трекерна установка.

Мета НДР розрахунок величини ємності накопичувача трекерної установки для
забезпечення працездатності в автономному режимі.

Вихідні дані для проведення роботи наземна динамічна система кріплення фотоелек-
тричних модулів.

3 ОЧІКУВАНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

Наукова новизна полягає в тому, що обґрунтовано ефективність застосування трекерної
установки для збільшення річної генерації електроенергії.

Практична цінність полягає в тому, що розробка і впровадження пропонованої трекерної

установки дозволить значно підвищити вироблення електроенергії протягом року з фотомодулів.

4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ:

5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок-кінець)
Підготовка. Опрацювання плану дисертації. Початок роботи над дисертацією.	09.09.17-03.10.17
Виконання першого розділу. Аналіз сучасного стану розвитку трекерних комплексів.	05.10.17-27.10.17
Обґрунтування вибору елементів трекерної системи. Вибір комплектуючих для сонячної станції.	06.11.17-12.12.17
Завершення третього розділу. Розрахунок трекерної системи. Перехід до техніко-економічного обґрунтування проекту. Виконання оформлення дисертації.	16.12.17-19.01.18

6 РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Економічний ефект застосування такої системи дозволить знизити витрати на споживання дорогої електроенергії, а також отримувати прибуток при продажу за зеленим тарифом.

Соціальний ефект впровадження таких систем дозволить забезпечити поставку електроенергії не тільки для малих будинків, але і для великих соціальних об'єктів.

7 ДОДАТКОВІ ВИМОГИ

Завдання видав

_____ (підпис)

Плаксіні С.В.

_____ (прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

Новіков В.С.

_____ (прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 04.09.2017

Термін подання дисертації до ЕК

22.01.2018

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка магистерской диссертации состоит из: стр., табл., рисунков, литературных источников, приложений.

Тема диссертации: расчет величины емкости накопителя трекерной установки для обеспечения работоспособности в автономном режиме.

В первом разделе проанализировано современное состояние развития трекерных комплексов. Охарактеризован состав солнечной трекерной станции.

Во втором разделе произведено обоснование выбора элементов трекерной системы. Проанализированы достоинства и недостатки комплектующих фотоэлектростанции. Выбраны размеры трекерной установки и инвертор.

В третьем разделе сделан расчет трекерной установки. Выполнены расчеты электропотребления привода актуатора. Выбрана оптимальная емкость накопителя.

В технико-экономическом обосновании был проведен расчет капитальных затрат на приобретение и монтаж трекерной солнечной системы оборудования. Расчет годовых эксплуатационных расходов на содержание и обслуживание объекта проектирования.

Научная новизна работы состоит в том, что обоснована эффективность применения трекерной установки для увеличения годовой генерации электроэнергии.

Ключевые слова: СОЛНЕЧНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ, ТРЕКЕРНАЯ УСТАНОВКА, НАКЛОННАЯ ПЛОСКОСТЬ, ИНВЕРТОР, СОЛНЕЧНАЯ БАТАРЕЯ, ПОВОРОТНОЕ УСТРОЙСТВО.

ABSTRACT

Explanatory note of the master's thesis consists of: page, table, figures, literary sources.

Theme of the dissertation: calculation of the value of the capacity of the tracker's drive to ensure its functionality in the offline mode.

The first section analyzes the current state of development of tracker complexes. The composition of the solar trekking station is characterized.

The second section substantiates the selection of the elements of the tracker system. The advantages and disadvantages of photoelectric power stations are analyzed. The dimensions of the tracker and the inverter are chosen.

In the third section the calculation of the tracker is made. The power consumption of the actuator drive is calculated. Optimal storage capacity is chosen.

In the feasibility study, a calculation of capital costs for the acquisition and installation of a tracker solar system was carried out. Calculation of annual maintenance costs for maintenance and maintenance of the design object.

The scientific novelty of the work is that the effectiveness of the application of a tracker is justified for increasing the annual generation of electricity.

Keywords: SOLAR POWER PLANT, TRACKER INSTALLATION, INCLINED PLANE, INVERTER, SOLAR BATTERY, ROTARY DEVICE.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка магістерської дисертації складається з: стор., табл., рисуноків, літературних джерел.

Тема дисертації: розрахунок величини ємності накопичувача трекерної установки для забезпечення працездатності в автономному режимі.

У першому розділі проаналізовано сучасний стан розвитку трекерних комплексів. Охарактеризований склад сонячної трекерної станції.

У другому розділі проведено обґрунтування вибору елементів трекерної системи. Проаналізовано переваги та недоліки комплектуючих фотоелектростанції. Обрані розміри трекерної установки і інвертор.

У третьому розділі зроблений розрахунок трекерної установки. Виконано розрахунки електроспоживання приводу актуатора. Обрана оптимальна ємність накопичувача.

У техніко-економічному обґрунтуванні був проведений розрахунок капітальних витрат на придбання і монтаж трекерної сонячної системи обладнання. Розрахунок річних експлуатаційних витрат на утримання і обслуговування об'єкта проектування.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що обґрунтована ефективність застосування трекерної установки для збільшення річної генерації електроенергії.

Ключові слова: СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ТРЕКЕРНА УСТАНОВКА, ПОХИЛА ПЛОЩИНА, ІНВЕРТОР, СОНЯЧНА БАТАРЕЯ, ПОВОРОТНИЙ ПРИСТРІЙ.

СОДЕРЖАНИЕ

Список сокращений	9
Введение.....	10
1. Современное состояние развития трекерных комплексов	12
1.1 Введение.....	12
1.2 Общие сведения про базу данных NASA.....	15
1.3 Виды датчиков положения солнца.....	16
1.4 Ориентация по солнцу	18
1.5 Автономные солнечные электростанции	23
1.6 Обзор Аккумулятора	25
1.7 Обзор Инвертора.....	27
2. Обоснование выбора элементов трекерной системы.....	30
2.1 Сведения о трекерной установке.....	30
2.2 Определение размера двухосной системы крепления ФЭМ.....	33
2.3 Выбор солнечной панели	34
2.3.1 Описание выбранной панели.....	37
2.4 Выбор инвертора.....	37
2.5 Обоснование выбора аккумуляторной батареи	41
2.5.1 Стартерные аккумуляторы.....	42
2.5.2 Гелевые аккумуляторы	42
2.5.3 AGM батареи.....	43
2.5.4 Заливные и герметичные аккумуляторы	43
3. Расчет трекерной системы	48
3.1 Расчет профиля поступления.....	48
3.2 Расчет электропотребления привода Актуатора	49
3.3 Формирование базы данных по трём критериям.....	50
3.4 Расчет солнечной СЭС с горизонтальной на наклонную	53
3.5 Сравнение эффективности ФЭМ при различной ориентации трекерной установки	57
3.6 Расчет величины накопителя.....	58

3.6.1	Определение значения необходимой емкости аккумуляторной батареи	59
3.6.2	Расчет оптимальной емкости накопителя	62
4.	Технико – экономическое обоснование.....	63
4.1	Введение.....	63
4.2	Расчет капитальных затрат	64
4.3	Расчет эксплуатационных затрат	66
4.4	Определение годовой экономии от внедрения объекта проектирования	70
	Выводы	72
	Список литературных источников	73
	Приложение А	78

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ФЭМ – фотоэлектрический модуль

NASA (англ. National Aeronautics and Space Administration) – национальное управление по авиации и исследованию космического пространства

КПД – коэффициент полезного действия

АСЭ – автономная солнечная электростанция

СБ – солнечные батареи

СЭС – солнечная электростанция

АКБ – аккумуляторная батарея

ФЭС – фотоэлектрическая система

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. В последние годы одним из самых актуальных вопросов энергетики является поиск нетрадиционных, альтернативных источников, источников энергии. Учитывая нынешнее состояние экологии и тот факт, что энергетические ресурсы постепенно себя исчерпывают, перед энергетиками стоит задача поиска экологически чистых источников энергии, и способов энергосбережения.

Солнечная энергетика относится к восстанавливаемым источникам энергии и обладает практически безграничным потенциалом для использования с точки зрения затрачиваемых ресурсов. Также это один из экологически безопасных источников энергии, который не загрязняет окружающую среду.

Сегодня отрасль солнечной энергетики переживает стремительный рост, по всему миру активно исследуются возможности увеличения КПД солнечных батарей, мощности фотоэлектростанций растут, развиваются смежные отрасли (к примеру, системы хранения энергии). Важным вопросом в рамках любой энергетической отрасли является вопрос КПД. Технический КПД солнечных батарей напрямую зависит от материала, который использовался при их создании. В течение светового дня угол наклона солнца к солнечной панели постоянно меняется. Соответственно изменяется и выработка электроэнергии солнечной панелью. Повысить выработку можно с помощью использования трекеров.

Цель и задачи исследования. Целью диссертации является расчет величины емкости накопителя трекерной установки для обеспечения работоспособности в автономном режиме.

Для выполнения исследования необходимо решить следующие **задачи**:

- проанализировать современное состояние развития трекерных комплексов;

- рассчитать трекерную установку, позволяющую получать значительно большую выработку генерации электроэнергии.
- выполнить технико-экономическое обоснование проектного решения.

Объект исследования – солнечная фотоэлектрическая станция.

Предмет исследования – трекерная установка.

Научная новизна работы состоит в том, что обоснована эффективность применения трекерной установки для увеличения годовой генерации электроэнергии.

Практическая ценность работы состоит в том, что разработка и внедрение предлагаемой трекерной установки позволит значительно повысить выработку электроэнергии в течение года с фотомодулей.

Экономический эффект – применение такой системы позволит снизить расходы на потребление дорогостоящей электроэнергии, а также получать прибыль при продаже по зеленому тарифу.

Социальный эффект – внедрение таких систем позволит обеспечить поставку электроэнергии не только для малых домов, но и для больших социальных объектов.

РАЗДЕЛ 1

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАЗВИТИЯ ТРЕКЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ

1.1 Введение

Одним из направлений в энергетике является гелиоэнергетика. В этот момент непрерывно развиваются технологии, какие употребляют ясный свет и его тепло. К таковым технологиям относятся выработка фотоэлектричества и внедрение солнечной тепловой энергии [1].

Гелиоэнергетика является началом восстанавливаемой солнечной энергии, которую разрешено применять функциональным либо пассивным методом. Используя функциональный метод применения предоставленного вида энергии, может производить электричество в фотоэлектрических системах. Применять этот вид энергии при строительстве построек, акцентируя свой интерес на выборе материалов, имеющих полезную для нас теплоёмкость либо владеющих важными дисперсионными качествами [2].

Одним из видов внедрения гелиоэнергетики является фотоэлектричество (фотовольтаика, от англ. photovoltaic, PV). Фотоэлектричеством имеются способы преобразования солнечной энергии в электричество постоянного тока с внедрением полупроводниковых материалов, какие проявляют фотоэлектрический результат, явление традиционно исследуются в области физики, фотохимии и электрохимии. Этот результат разъясняется действием фотонов (частиц света), владеющих нужной энергией (длиной волны), на электроны полупроводникового вещества (традиционно, кремния), в итоге происходит их «вырывание» и выдача, что приводит к происхождению фототока (либо электрического тока) [3].

Солнечные батареи вырабатывают гальванический ток под действием солнечного света. Электроэнергия в свою очередь может быть ориентирована на питание оборудования и/или для подзарядки аккумулятора. Главным практическим использованием солнечных батарей было питание орбитальных спутников и остальных космических аппаратов, а на нынешний день большая часть фотоэлектрических модулей употребляется для выработки электроэнергии в быту и для промышленных компаний [4].

Существуют некие способы для увеличения эффективности ФЭМ.

Первый способ – это прослеживать точку наибольшей мощности, а второй – прослеживать расположения Солнца. Отслеживание точки наибольшей мощности (ОТММ, англ. maximum power point tracking, MPPT) исполняются с поддержкой особых контроллеров ОТММ, какие встраиваются в большинство современных солнечных инверторов. Смотреть за положением Солнца разрешают солнечные трекеры, о которых и станет идти речь в магистерской диссертации. Выработка энергии благодаря применению солнечного трекера возрастает, так как увеличивает объем солнечной энергии, попадающей на модуль [5].

Для преобразования солнечной энергию в электрическую используется солнечная панель. Солнечная панель обеспечивает питанием контроллер заряда, который в свою очередь накапливает энергию в аккумуляторных батареях. Так как наиболее эффективное использование солнечной энергии достигается направление лучей перпендикулярно солнечной панели. Необходимо вращать ее в различных направления в зависимости от времени суток. Для этого используется солнечный трекер [6].

Солнечный трекер состоит из механической системы передвижений, шагового двигателя и электронной системы управления.

Исследование потенциала солнечной энергии От Солнца на поверхность Земли раз в секунду поступает определенное количество энергии. Размер данной энергии, приходящей на 1 м^2 поверхности, перпендикулярной к направлению солнечных лучей. В течение года она изменяется не более чем на $\pm 3,4\%$. При прохождении солнечного луча через атмосферу Земли происходит изменение плотности потока и диапазона солнечного излучения. Изменение зависит от высоты солнца над горизонтом, высоты местности над уровнем моря, состояния атмосферы, оптических параметров земной поверхности.

Суммарная солнечная энергия состоит из двух составляющих – прямой и рассеянной. Время от времени составляющую выделяют излучение, отраженное от поверхности Земли и различных объектов. Но с небольшой погрешностью данная составляющая может быть включена в рассеянную солнечную энергию. Прямая солнечная энергия поступает на объект непосредственно от солнечного диска; рассеянная поступает, претерпевая разные оптические конфигурации при прохождении земной атмосферы.

Регистрация солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли, делается на актинометрических станциях. На станциях для измерения прямого солнечного излучения употребляются актинометры, для измерения суммарного излучения – пиранометры.

Информация, полученная на станциях, вносится в публикуемые ежемесячники и справочники. Издания содержат сведения о солнечной энергии за различные интервалы осреднения (часы, сутки, месяцы). Ежемесячники включают каждодневные данные самописцев либо срочных наблюдений, справочники-результаты обобщений накопленной информации об энергии и продолжительности солнечного сияния за многолетний период. На метеорологических станциях, не регистрирующих солнечного излучения, регистрируется лишь длительность солнечного сияния. Для данной цели употребляется универсальный

гелиограф, принцип действия которого основан на прожогах особой ленты при интенсивности солнечного излучения не менее $0,3 \dots 0,4$ кал/(см² · мин) [7].

Данные о суммарной солнечной энергии (инсоляции) можно получить на сайте Наса. (<https://power.larc.nasa.gov/>)

1.2 Общие сведения про базу данных NASA

NASA давно поддерживает спутниковые системы и исследования, которые предоставляют данные метеорологических величин и потоков поверхностных солнечных энергоресурсов, для изучения климатических процессов.

В конце 1990-х годов проект «Поверхностная метеорологическая и солнечная энергия» (SSE) был проведён по программе приложений NASA для обеспечения доступа к параметрам, специально разработанным для разработки солнечных и ветроэнергетических систем с возобновляемыми источниками энергии. Цель проекта SSE заключалась в том, чтобы сделать спутниковые данные НАСА более доступными для сообщества возобновляемых источников энергии, где продемонстрировали такие данные для повышения эффективности существующих систем поддержки (Stackhouse, et al., 2002.). Параметры и веб-архив, разработанные в рамках SSE , представляют собой то, что в текущем проекте POWER-Project называется «Архив возобновляемой энергии».

Данные, которые содержатся в архиве данных возобновляемой энергии, основаны главным образом на солнечной радиации, полученной в результате спутниковых наблюдений и метеорологических данных из модели ассимиляции «Системы наблюдения Земли имени Годдарда», и были определены в тесном сотрудничестве с промышленными и правительственными партнерами в области возобновляемых солнечных и ветровых энергетических сообществ. Архив предназначен для обеспечения благоприятных параметров для отрасли возобновляемого солнечного и ветроэнергетического сообщества, и поэтому более

200 параметров солнечной / метеорологии доступны в виде среднемесячных значений за 22 года.

Текущая версия Архива возобновляемой энергии - выпуск 6 SSE, в этом выпуске значения поверхностной солнечной инсоляции были рассчитаны с использованием модифицированной версии алгоритма Пинкера и Ласло. По сравнению с предыдущей версией SSE (т. Е. Release 5.1), SSE Release 6.0 обновлен четырьмя основными способами:

1. данные о солнечной энергии в версии базы данных 6.0 теперь охватывают 22 года с 1 июля 1983 года по 31 июня 2005 года, а также метеорологические данные охватывают период времени с 1 января 1983 года по 31 декабря 2005 года по сравнению с номинальным 10-летним периодом в предыдущей версии 5.1;

2. данные солнечного излучения получены из улучшенного алгоритма, который обеспечивает общее улучшение оценки поверхностного солнечного излучения, около 2,8%;

3. основные температурные данные и параметры основаны на более высокой пространственной способности Goddard Earth Observing System версии 4 (GEOS-4) по сравнению с GEOS-1;

4. включены дополнительные параметры, представляющие интерес для сообщества возобновляемых источников энергии [8].

1.3 Виды датчиков положения Солнца

Солнечные элементы генерируют наибольшую энергию, лишь когда они размещаются точно перпендикулярно направлению солнечных лучей, а это может стать лишь один раз в день. В прочее время эффективность работы солнечных элементов составляет менее 10 %. Существенно повысит эффективность солнечного модуля можно, если обеспечить его поворотным механизмом,

оснащенным автоматической системой слежения за солнцем. Система слежения за солнцем – это приспособление для ориентирования панели солнечных батарей либо для удержания солнечного отражателя либо линзы, поворачиваемые к солнцу, аналогично гелиостату.

Еще, это один из способов повышения производительности солнечных элементов. От устройств, снабженных такой системой, требуется высочайшая точность, чтобы быть уверенным в том, что собранные солнечные лучи падают прямо на соответствующее приспособление [9,10].

Есть два главных типа поворотных устройств солнечных модулей: одноосевые и двухосевые представлены на рисунке 1.1.

Одноосные солнечные трекеры следят за солнцем от восхода до заката, при его движении в течении дня с востока на запад. Ось может быть ориентирована таким образом, что панель стоит под постоянным к горизонту углом (трекер с полярной осью вращения) или угол относительно горизонта меняется (называется трекером с горизонтальной осью вращения). Горизонтальная ось вращения более подходит для местности в небольших широтах (местах, находящихся ближе к экватору), в то время трекеры полярной осью больше подходят для больших широт.

Преимущество одноосных трекеров в том, что они являются менее сложными и, таким образом, более дешевыми. В местах, расположенных ближе к экватору, где траектория движения Солнца по небу изменяется не сильно в течение дня, одноосные трекеры являются особенно эффективными.

Одноосевые горизонтальные трекеры также структурно более прочные, и, следовательно, менее вероятно, что они будут повреждены во время ураганов и штормов [12,13,15].



Рисунок 1.1 – одноосевые и двухосевые солнечные установки

Двухосевые разрешают наиболее гибко проследить состояние солнца, контролируя как азимутальный, так и угол склонения солнца над горизонтом. Солнечный трекер – это устройство, направляющее солнечную батарею или концентратор на солнечные лучи, позволяя выработать им в течение дня большее количество энергии [16]

1.4 Ориентация по солнцу

Трекеры бывают активные, пассивные и с ручной наводкой.

Способ 1 – вручную. Примитивный, самый надежный – оператор выполняет сезонную ориентацию трекера вручную. Этот способ наименее эффективен, но отсутствие измерительной аппаратуры и минимум подвижных частей делают его максимально надежным. неполадки в механических частях возникают редко.

Способ 2 – фотодатчики. Способ распространенный, ненадежный. Заключается в сочетании двух-трех фотоэлектрических датчиков, расположенных под углом 45° относительно плоскости панели, то есть под углом 90° относительно друг друга. Размещение датчиков показано на рисунке ниже. Датчики размещены в оболочках таким образом, чтобы воспринимался лишь узкий луч света. Когда плоскость солнечной панели перпендикулярна солнеч-

ному свету, то на каждый датчик попадает одинаковый луч, следовательно, напряжение на всех датчиках одинаково. Когда солнце смещается, то напряжение на датчиках начинает отличаться, и система управления включает привод, пока тот не откорректирует положения панели так, чтобы напряжение датчиков снова было одинаковым. Принцип работы системы несложный, но совсем не надежен.

Система управления с фотодатчиками имеет два существенных недостатка: во-первых, датчики часто загрязняются, в результате чего перестают работать, требуют калибровки. Вторым недостатком является то, что система не работает в пасмурную погоду. Механические неполадки — довольно частое явление для данного типа привода.

Способ 3 – программный. Автономная система управления солнечными панелями программируется согласно циклам движения солнца. Система наиболее надежная среди использующих электрические приводы, почти не требует вмешательства операторов. Изменения программы выполняются быстро, при необходимости удаленно. Именно такие системы обычно используются в промышленных солнечных электростанциях [16,17]

Наиболее универсальные активные системы ориентирования.

В настоящее время большая часть систем слежения за солнцем на месте эксплуатации нацелены на юг и установлены под постоянным углом β к горизонту.

Итак, рассмотрим строение солнечного трекера.

Типичная система состоит из:

- базовой конструкции (неподвижная наземная часть трекера);
- подвижной части (имеет одну или две оси вращения, электрический привод, редукционный блок);
- системы управления трекером, интерфейса для соединения с ПК;

- инвертора для преобразования низковольтного тока от солнечных панелей в ток, который используется двигателем;
- системы крепления фотоэлектрических модулей. Опционально трекеры могут включать:
 - систему защиты (громоотвод, защита от перегрузок, прибор для измерения скорости ветра, система защиты от ураганов и т. д.);
 - систему удаленного доступа;
 - систему навигации (определение географических координат, высоты над уровнем моря для совершенного слежения за солнцем).

Преимущества:

- Трекеры генерируют больше электроэнергии, чем стационарные установки из-за увеличения прямого воздействия солнечных лучей. Это увеличение может составлять от 30 до 50% в зависимости от географического положения системы.
- Существует множество различных типов солнечных трекеров, таких как одноосные и двухосевые трекеры, которые могут идеально подойти для уникальной рабочей площадки. Размер установки, местная погода, степень широты и электрические требования - все это важные факторы, которые могут повлиять на тип солнечного трекера, наиболее подходящего для конкретной солнечной установки.
- Солнечные трекеры генерируют больше электроэнергии примерно в том же объеме, что и для систем с фиксированным наклоном, что делает их идеальными для оптимизации использования земли.
- В некоторых штатах некоторые коммунальные предприятия предлагают тарифные планы использования времени для использования солнечной энергии, что означает, что утилита будет покупать электроэнергию, генерируемую в пиковое время дня, с более высокой скоростью. В этом случае выгодно генерировать большее количество элект-

троэнергии в течение этих пиковых периодов дня. Использование системы отслеживания помогает максимизировать прирост энергии в течение этих пиковых периодов времени.

- Прогресс в области технологий и надежности в электронике и механике резко сократил долгосрочные проблемы обслуживания систем слежения.

Недостатки:

- Солнечные трекеры немного дороже чем стационарные из-за более сложных технологий и движущихся частей, необходимых для их работы. Даже с повышением надежности, как правило, требуется больше обслуживания, чем традиционная стационарная стойка, хотя качество солнечного трекера может сыграть определенную роль в том, насколько и как часто это техническое обслуживание необходимо.
- Трекеры - более сложная система, чем стационарные стеллажи. Это означает, что требуется больше подготовки участка, включая дополнительную траншею для проводки и некоторую дополнительную градуировку.
- Одноосевые трекерные проекты также требуют дополнительного внимания к стабильности и банковской устойчивости компании. Когда речь идет о финансировании проектов, эти системы более сложны и, следовательно, рассматриваются как более высокий риск с точки зрения финансиста.
- Солнечные трекеры, как правило, предназначены для климата с небольшим количеством снега, что делает их более жизнеспособным решением в более теплом климате. Фиксированные стеллажи более жесткие условия окружающей среды легче, чем системы слежения.
- Фиксированные системы слежения обеспечивают большую удобство полетов, чем системы одноосевой отслеживания. Фиксированные си-

стемы, как правило, могут выдерживать до 20% наклонов в направлении E / W, в то время как системы отслеживания обычно предлагают меньше места для уклона, обычно около 10% в направлении N / S [23,24,25,26]

В целом, солнечные трекеры являются высокоэффективными установками и отлично подходят как для крупных, так и для небольших проектных объектов с учетом правильного расположения и условий участка.

1.5 Автономные солнечные электростанции

Автономная солнечная электростанция (рис. 1.3) не взаимосвязана с центральной электросетью и используется тогда, когда нет возможности подключения к коммунальным линиям электропередач или данная процедура экономически невыгодна. В тех случаях, когда частные землевладения находятся в глубинке, генерирование электроэнергии при помощи солнечных источников энергии является наиболее приемлемым и по стоимости, и по экономии в процессе эксплуатации.

Основным из недостатков электростанции на солнечных батареях выступает необходимость первоначальных вложений в оборудование, мощность которого нужно правильно рассчитать с учетом всех предполагаемых нагрузок. При этом важно не забывать, что использовать сетевое электричество в качестве резервного будет невозможно. Для того чтобы полностью поглотить нужды частного загородного дома в электричестве, автономную солнечную электростанцию надо выбирать опираясь на потребление приборов.

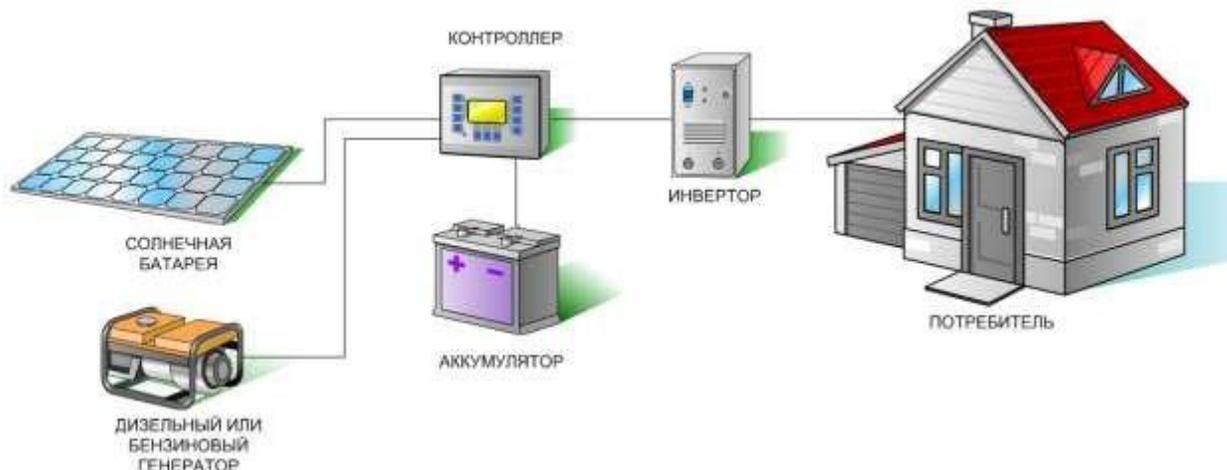


Рисунок 1.3 – Автономная солнечная электростанция.

Схема АСЭ, когда она является единственным источником энергии, приведена на рисунке 1.4. Для такой системы, вся энергия должна покрываться солнечными батареями, а в ночь и пасмурную погоду – аккумуляторной батареей.

Предполагается, что мощности СБ должно хватать на нагрузку и зарядку аккумуляторной батареи. Большинство случаев применения данного типа построения СЭС связан с небольшим потреблением мощности нагрузкой.

Практически такой способ получения энергии может быть применим также для полевых условий эксплуатации ремонтного или строительного оборудования [27, 10].

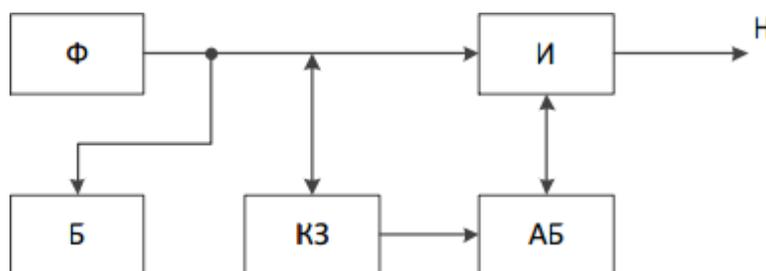


Рисунок 1.4 Автономная солнечная электростанция без дополнительных источников энергии.

1.6 Обзор Аккумулятора

Аккумулятор (лат. *accumulator* накопитель) — это буфер для накопления электрической энергии при помощи обратимых химических процессов.

Эта обратимость химических реакций, происходящих внутри аккумулятора и дает ему возможность работать в циклическом режиме постоянных зарядов и разрядов. Чтобы зарядить аккумулятор нужно пропустить через него ток в направлении встречном направлению тока при разряде. Аккумуляторы можно объединять в моноблоки, и тогда их называют аккумуляторными батареями.

Основным параметром, характеризующим аккумулятор, является емкость. Емкость - это максимальный заряд, который может принять конкретный аккумулятор. Чтобы измерить емкость аккумулятор разряжают в течении определенного времени до определенного напряжения. Измеряют емкость в кулонах, джоулях и А ч (амперчасах). Иногда, преимущественно в США, емкость измеряется Вт ч. Соотношение между этими единицами такое $1\text{Вт ч}=3600\text{ Кл}$, а $1\text{Вт ч}=3600\text{Дж}$. Правильный заряд аккумулятора происходит в несколько стадий. В большинстве случаев это 4 стадии: стадия накопления (*bulk*), стадия поглощения (*absorbtion*), стадия поддержки (*float*) и стадия выравнивания (*equalization*).

Стадия выравнивания актуальна только для аккумуляторов открытого типа, выполняют её по определенному графику. Операция «кипячению» электролита в аккумуляторе, но позволяет перемешать электролит, который со временем расслаивается. В конечном итоге правильное выравнивание позволяет увеличить срок эксплуатации аккумулятора. Основная причина выхода аккумулятора из строя это сульфатация рабочих пластин. Образование PbSO_4 окисла на свинцовых пластинах называется сульфатацией. Производители аккумуляторов сообщают, что эта причина составляет до 80% всех отказов аккумуляторов. Кроме перемешивания электролита, выравнивание очищает пластины от сульфатов, и впоследствии нагрузка на пластины распределяется равномерней [28]

Во время процесса выравнивания выделяется значительное количество гремучей смеси кислорода и водорода. Поэтому нужно уделить серьезное внимание вентиляции помещения аккумуляторной. Существуют современные промышленные аккумуляторы открытого типа в которых электролит принудительно циркулирует. Кроме аккумуляторов с жидким электролитом существуют еще АКБ герметичного типа. В таких аккумуляторах выравнивание не нужно, а при остальных стадиях заряда газообразования не происходит. Аккумуляторы, применяемые в различных энергетических системах, различаются по: номинальному напряжению, номинальной емкости, габаритам, типу электролита, ресурсу, скорости заряда, стоимости, рабочему диапазону температур и пр. Аккумуляторы в фотоэлектрических системах обязаны удовлетворять ряду требований: большая цикличность(количество выдерживаемых циклов заряда/разряда), малый саморазряд, по возможности большой зарядный ток(для гибридных систем с жидкотопливными генераторами), широкий диапазон рабочих температур, а также минимальное обслуживание.

С учетом этих требований для различных систем электроснабжения созданы аккумуляторы глубокого разряда. Для солнечных систем существует их модификация solar. Такие АКБ имеют огромный ресурс при циклической работе. Аккумуляторы стартерного типа для работы в таких режимах мало пригодны. Они «не любят» глубокие разряды и разряды малыми токами, имеют большой саморазряд.

Срок их службы в таких условиях невелик. Их штатный режим - это кратковременный разряд большим током, тут же восстановление заряда, и ожидание следующего пуска стартера в заряженном состоянии. Наиболее популярны в настоящее время свинцово-кислотные аккумуляторы. В них меньше удельная стоимость 1кВт·ч, чем у их собратьев, произведенных по другим технологиям. В них больше КПД и шире температурный диапазон работы [20,21].

Например, эффективность свинцово-кислотного АКБ лежит в пределах 75-80%, а эффективность щелочного АКБ не более 50-60%. По некоторым параметрам щелочные аккумуляторные батареи все-таки превосходят «свинец». Это их огромный ресурс в живучести, возможность восстановления путем замены электролита, работа при очень низкой температуре. Но некоторые моменты делают их малопригодными в ФЭС. К ним относятся малый КПД и малая восприимчивость к зарядке малым током. Это приводит к безвозвратной потере значительной части энергии, которая достается с такими усилиями. Вдобавок для аккумуляторной батареи щелочного типа очень трудно подобрать контроллер заряда, а контроллеры с возможностью настройки режимов заряда дорогие.

1.7 Обзор Инвертора

Инвертор (DC/AC converter) — устройство для преобразования постоянного тока в переменный с изменением величины частоты и/или напряжения. Обычно представляет собой генератор периодического напряжения, по форме приближённого к синусоиде, или дискретного сигнала.

В солнечной электростанции он является одним из главных элементов. Так как КПД солнечной панели не превышает 20-30%, то использование инвертора с маленьким КПД снизит эффективность СЭС до нерентабельной и бесполезной. Инверторы напряжения могут применяться в виде отдельного устройства или входить в состав источников и систем бесперебойного питания аппаратуры электрической энергией переменного тока. Методы технической реализации инверторов и особенности их работы:

- ключи инвертора должны быть управляемыми (включаются и выключаются по сигналу управления), а также обладать свойством двухсторонней проводимости тока. Как правило, такие ключи получают шунтированием транзисторов обратными диодами. Исключение составляют полевые

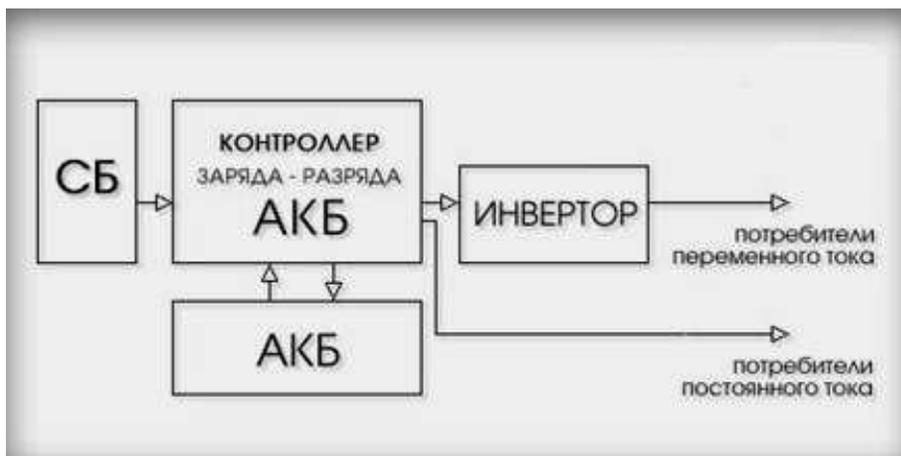
транзисторы, в 42 которых такой диод является внутренним элементом его полупроводниковой структуры.

– Регулирование выходного напряжения инверторов достигается изменением площади импульса полуволны. Наиболее простое регулирование достигается регулированием длительности (ширины) импульса полуволны.

– Нарушение симметрии полуволн выходного напряжения порождает побочные продукты преобразования с частотой ниже основной, включая возможность появления постоянной составляющей напряжения, недопустимой для цепей, содержащих трансформаторы.

– Для получения управляемых режимов работы инвертора, ключи инвертора и алгоритм управления ключами должны обеспечить последовательную смену структур силовой цепи, называемых прямой, коротко замкнутой и инверсной.

– Мгновенная мощность потребителя $p(t)$ пульсирует с удвоенной частотой. Первичный источник питания должен допускать работу с пульсирующими и даже изменяющимися знак токами потребления. Переменные составляющие первичного тока определяют уровень помех на зажимах источника питания [29]. Типовая схема работы СЭС представлена на рис.



1.5.

Рисунок 1.5 – Схема работы СЭС.

Выводы по разделу 1

Для обеспечения надежности Trackerных комплексов (в том числе и чтобы они утром возвращались в исходное состояние и снова "нацелились" на нужную точку небосвода) их следует оснастить накопителем электроэнергии. Поэтому далее будем производить расчет такой системы для проведения ее анализа в автономном режиме работы.

РАЗДЕЛ 2

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЭЛЕМЕНТОВ ТРЕКЕРНОЙ СИСТЕМЫ

2.1 Сведения о тракерной установке

Человечеству нужна энергия, причем потребности в ней увеличиваются с каждым годом. Вместе с тем запасы традиционных природных топлив (нефти, угля, газа и др.) конечны. И в связи с указанными проблемами, становится все более необходимым использование нетрадиционных энергоресурсов, в первую очередь солнечной, ветровой, геотермальной энергии, наряду с внедрением энергосберегающих технологий. Среди возобновляемых источников энергии солнечная радиация по масштабам ресурсов, экологической чистоте и повсеместной распространенности наиболее перспективна.

Солнечные установки, являющиеся основным устройством по преобразованию солнечной энергии, находят применение в системах отопления, охлаждения и энергообеспечения жилых и общественных зданий, в технологических процессах, протекающих при низких, средних и высоких температурах, в получении электрической энергии, питающей различные автономные устройства. В стремлении повысить эффективность работы на солнечных установках применяют различные системы автоматического управления, позволяющие отслеживать положение солнца и тем самым повышать КПД работы подобных установок [30].

Для расчета было взято тракерное устройство компании «HANNING» из института транспортных систем и технологий НАН Украины, где и были проведены работы с данным устройством.

На рисунке 2.1 представлен внешний вид основного привода для поворота солнечного трекера по азимуту.

Паспортные данные солнечного трекера компании «Hanning»

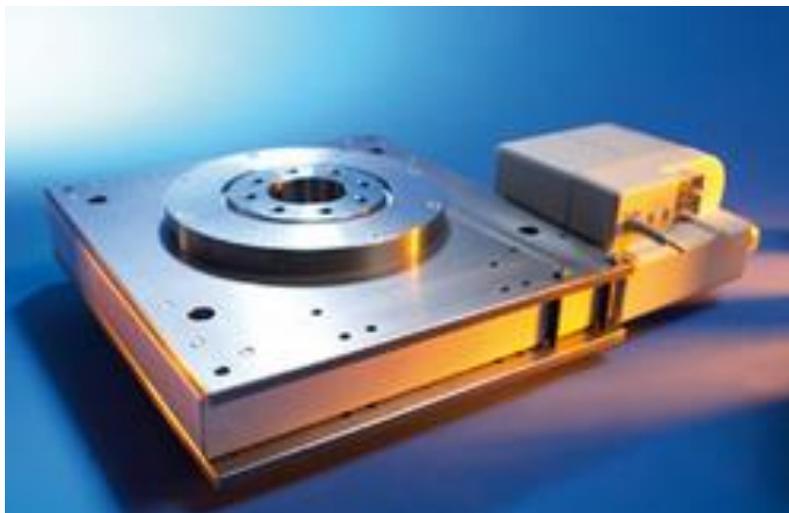


Рисунок 2.1- Низкопрофильная коробка передач Тип – HFG-L / Solar

Низкопрофильная коробка передач содержит мощный асинхронный двигатель и прочный низкочастотный редуктор с высокой передачей 3430:1. Низкопрофильный редукторный двигатель выполнен из высококачественный материал, включая оцинкованную сталь и анодированный алюминий для удовлетворения требований, характерных для солнечных применений [31].

Используется АД с такими параметрами:

- Тип – HFG-L / Solar;
- 36 V – DC-FI – 10 A;
- Мощностью 360 Вт;
- Динамический момент – 1000 Н*м;
- Статический - 8000 Н*м.

В качестве изменения угла солнечного массива доступный линейный привод (см. рис. 2.2).

Передача мощности может быть прервана в одном направлении, так что перемещение происходит только из-за веса, который загружен на диск.

Отклонение достигается за счет специального подшипника, который обеспечивает передача мощности между червячной передачей и валом двигателя.

Параметры актуатора (SL95 linear actuators)



Тип – SL95/Solar

36V Dc- FI 12 A;

Мощность 430 Вт;

Динамический момент – 15 000 Н;

Статический – 45 000 Н;

Скорость 0-7,5 мм/с.

Рисунок – 2.2 Линейный актуатор.

Особенности:

- Мощные однофазные двигатели переменного тока, трехфазные двигатели переменного тока или низковольтные трехфазные приводы (DC-FI);
- Почти постоянная скорость перемещения во время изменения нагрузки;
- Обмотки, адаптированные для применения с частотой инвертора HANNING;
- Работа с температурой окружающей среды от -20 до +50 ° C;
- Индивидуальные длины хода, адаптированные к приложению;

- Возможности индивидуального управления;
- Отключение конечного положения через внутренний микропереключатель.

2.2 Определение размера двухосной системы крепления ФЭМ

Наземная динамическая система (рис. 2.3), рассчитана на площадь 60 кв.м. Закрепления фотоэлектрических модулей для установки горизонтально расположенных 40 ФЭМ по схеме 5x8 (40 солнечных панелей стандартного размера (1650 x 992 (991) x 40(35) мм)). Размеры конструкции приведены ниже в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – размеры конструкции

Макс. площадь размещения фотомодулей	62.8 м ²	
Макс. размеры размещения фотомодулей	Ширина	13.208 м
	Высота	4.755 м

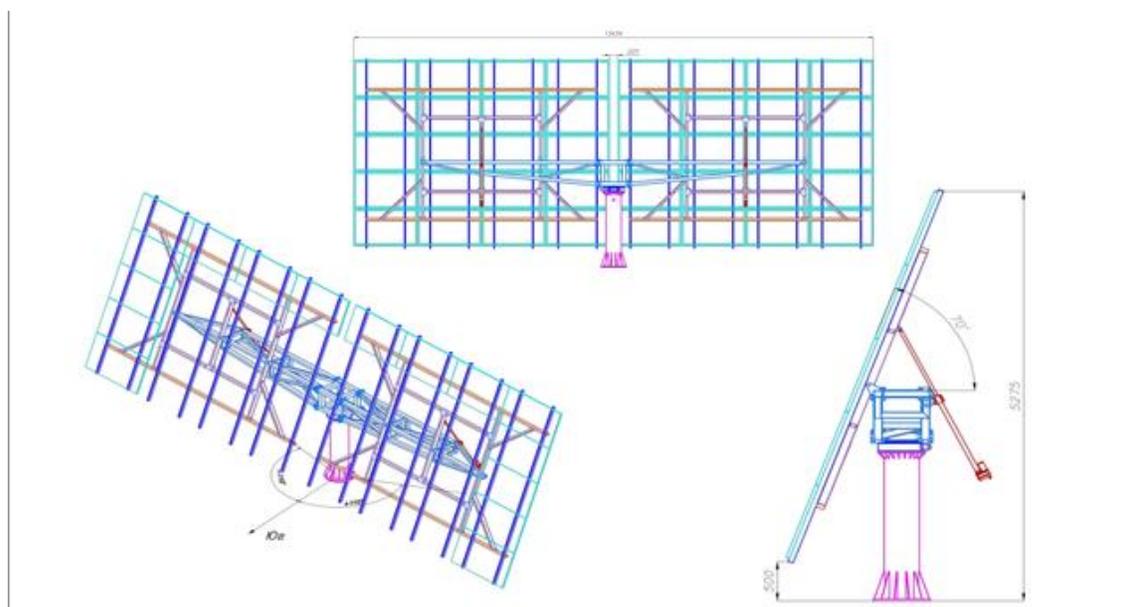


Рисунок 2.3 – Размеры системы крепления ФЭМ

2.3 Выбор солнечной панели

Главным составляющей фотоэлектрической системы являются фотоэлементы, которые соединяются в солнечные батареи. Солнечный фотоэлемент делается на базе пластинки, выполненной из полупроводникового материала, к примеру, кремния. В пластинке формируются области с р- и n- типами проводимости. В качестве способов создания данных областей употребляется, к примеру, способ диффузии примесей либо способ наращивания одного полупроводника на иной.

Потом делаются нижний и верхний электроконтакты, при этом нижний контакт - непрерывный, а верхний выполняется в облаке гребенчатой структуры (изящные полосы, объединенные с широкой токосборной шиной). Главным материалом для получения солнечных частей является кремний. Кремний, является одним из самых выученных материалов в природе, к тому же второй по распространенности после кислорода. Фотоэлементы на базе кремния составляют порядка 85% всех издаваемых солнечных панелей.

Есть два главных типа кремниевых фотоэлементов: монокристаллический кремний он более эффективный и распространенный для широкого употребления являются монокристаллические кремниевые элементы. Для производства таких элементов кремний очищается, плавится и кристаллизуется в слитках, от которых отрезают тонкие слои. Снаружи монокристаллические элементы смотрятся как однотонная поверхность синего либо практически темного цвета. Через кремний проходит сетка из железных электродов.

Эффективность такого элемента составляет от 16 по 19% в обычных критериях тестирования (прямой солнечный свет, +250С). Срок службы таких панелей у не плохих производителей составляет обычно 40-50 лет. Производительность за любые 20-25 лет службы равномерно снижается приблизительно на 20%. - Поликристаллический кремний их разработка принципиально не разли-

чается от монокристаллических элементов, однако отличие состоит в том, что для производства употребляется менее чистый и наиболее дешевый кремний. Снаружи это уже не однотонная поверхность, а узор из пределов большого количества кристаллов. Эффективность такого элемента составляет от 14 по 15%. Тем не менее, эти панели используют приблизительно такую же репутацию на рынке, что и монокристаллические, так как сообразно эффективности снижается стоимость изготовления [33].

В таблице 2.2 представлены одни из многих производителей солнечных панелей.

Таблица 2.2 – Производители солнечных панелей

Производитель	Мощность, Вт	Напряжение при работе на нагрузку, В	Напряжение холостого хода, В	Ток при работе на нагрузку, А	Напряжение в точке максимальной мощности	Габариты, мм
 Модуль ALM-100m 100 Вт	100	17,1	22,3	5,85	100	1009x676x35
 Модуль PLM-200m-72	200	24	44.6	5.32	24,8	1580x808x35

Продолжение таблицы 2.2

 Jinko Solar 260 Вт	260	24	38,1	8,43	30,92	1650×992×40
 Prolog Semicor PS-m 95	95	-	22.6	5.2	18.3	1195x535x35

Выбор такого типа панелей объясняется следующими причинами:

– Монокристалл однозначно лучше по причине того, что они в пиковые месяца май-сентябрь вырабатывают на 15% больше поликристалла, за счет лучшего коэффициента по перегреву (не так подвержены перегреву), остальные прохладные и холодные месяца разница незначительна (у моно на 3-5% больше выработка).

– На одинаковых площадях можно разместить большую мощность монокристалла, что позволит сэкономить на креплениях. Вместе с этим стоимость монокристалла примерно на 15% выше поли. Исходя из этого экономическое преимущество у монокристалла есть, но оно не значительно.

Из-за незначительного преимущества и экономической выгоды в данной диссертации выбираем поликристаллические фотоэлектрические модуля.

2.3.1 Описание выбранной панели

Фотопанели Jinko Solar JKM260P-60 могут быть использованы в небольших и крупных солнечных электростанциях для генерации электроэнергии в общую сеть. Отличное решение для автономного электроснабжения дач, коттеджей и удаленных объектов.

– Солнечные модули обеспечивают высокую выработку электроэнергии за счет современной технологии и оптимального сочетания материалов.

– Широкая линейка по классам мощностей позволяет осуществлять индивидуальное проектирование и установку фотоэлектрических систем.

– Конструкция рамы модуля протестирована на стойкость к изгибу и обеспечивает надежный и быстрый монтаж.

– Положительная сортировка по мощности модуля обеспечивает превышение номинальных параметров генерации электроэнергии[42].

2.4 Выбор инвертора исходя из мощности станции (10 кВт)

Выбираем инвертор SMA Sunny Tripower 12000TL на 12 кВт.

Техническая информация:

Номинальная выходная мощность: 12 000 Вт;

Диапазон входного рабочего напряжения MPPT: 370 – 800 В;

Напряжение на выходе: 3N/PE; 220/380 В.

Инверторы *SUNNY TRIPOWER STP 12000TL* компании *SMA* являются новейшими преобразователями солнечной энергии, специально разработаны для домохозяйств и частных домов.

Благодаря технологии Optiflex и асимметричной системе Multistring, рекордному КПД и системе отслеживания эффективности OptiTracGlobalPeak, ин-

верторы SMA STP 12000TL обеспечивают максимальную гибкость конфигурации и высочайшую производительность фотоэлектрических систем. В дополнение, в новых SunnyTripower имеется встроенная функция управления сетью, что делает возможным их интеграцию в сети с реактивной составляющей. В SunnyTripower 12000TL так же реализована возможность онлайн-мониторинга – наряду с передачей данных через *Bluetooth*[®] впервые возможно прямое соединение с порталом SunnyPortal через входящее в стандартную комплектацию устройство SMA Webconnect, без дополнительных модулей оперативной регистрации данных.

Особенности инверторов

Производительность:

- Максимальный КПД 98%;
- Система отслеживания максимальной эффективности OptiTracGlobalPeak;
- Система активного контроля температуры OptiCool.

Гибкость:

- Входное напряжение до 1000 В;
- Встроенная функция управления сетью;
- Интеграция в сеть в реактивной составляющей;
- Optiflex – конфигурация системы с точностью до модуля;
- Комплексный DC выключатель-разъединитель ESS.

Информативность

- Передача данных через *Bluetooth*[®];
- Подключение через SMA Webconnect к SunnyPortal;
- Многофункциональное реле.

Технические характеристики:

Выходные характеристики

- Источник тока;
- Номинальная выходная мощность переменного тока — 12000 Вт;
- Максимальная полная мощность переменного тока — 12000 ВА;
- Выходное напряжение переменного тока (номинальное) — 3/N/PE; 220 – 240 / 380 – 415 В;
- Диапазон выходного напряжения переменного тока (1ф) — 160 – 280 В;
- Частота выходного напряжения переменного тока — 50 ± 5 Гц;
- Максимальный выходной переменный ток — 17,4 А;
- Коэффициент мощности ($\cos \varphi$) — 1;
- Коэффициент реактивной мощности, диапазон регулирования — от +0,8 до -0,8;
- Количество фаз / связь между фазами — 3 / 3.

Входные характеристики

- Максимальная входная мощность PV массива — 12275 Вт;
- Номинальное входное напряжение постоянного тока — 580 В;
- Максимальное значение входного напряжения постоянного тока — 1000 В;
- Минимальное входное напряжение постоянного тока / начальное рабочее напряжение — 150 / 188 В;
- Рабочий диапазон МРРТ — 370 – 800 В;
- Максимальный ток на входе А / на входе В — 18 / 10 А;
- Количество МРР трекеров / стрингов в МРР трекерах — 2 / А:2; В:2;
- Максимальная эффективность — 98 %;
- Собственное потребление ночью — 1 Вт;

Коммуникации, подключения:

Дисплей — графический дисплей с подсветкой;

Интерфейс связи — RS485 / *Bluetooth*[®] / WebConnect (опция / да / да);

Подключение постоянного тока DC — SUNCLIX;

Подключение переменного тока AC — винтовые клеммы;

Сертификаты и разрешения (дополнительные по запросу) — CE, VDE0126-1-1, UTE C15-712-1, VDE-AR-N 4105, RD 661/2007, PPC, AS 4777, EN 50438*, C10/11, PPDS, IEC 61727, G83/1-1, CEI 0-21 (> 6 kWp), RD1699, NRS 097, SI 4777.

Защита:

Отключающее устройство постоянного тока — Комплексный ESS DC выключатель-разъединитель;

Контроль замыкания на землю / мониторинг сети — да / да;

DC защита от переплюсовки / AC защита от короткого замыкания / гальваническая развязка — да / да / —;

Устройство контроля тока утечки в цепях пост. и перем. тока — да;

Класс защиты (в соответствии с IEC 62103) / категория перенапряжения (в соответствии с IEC 60664-1) — I / III[43].

На рисунке 2.4 представлена типичная схема подключения инвертора.

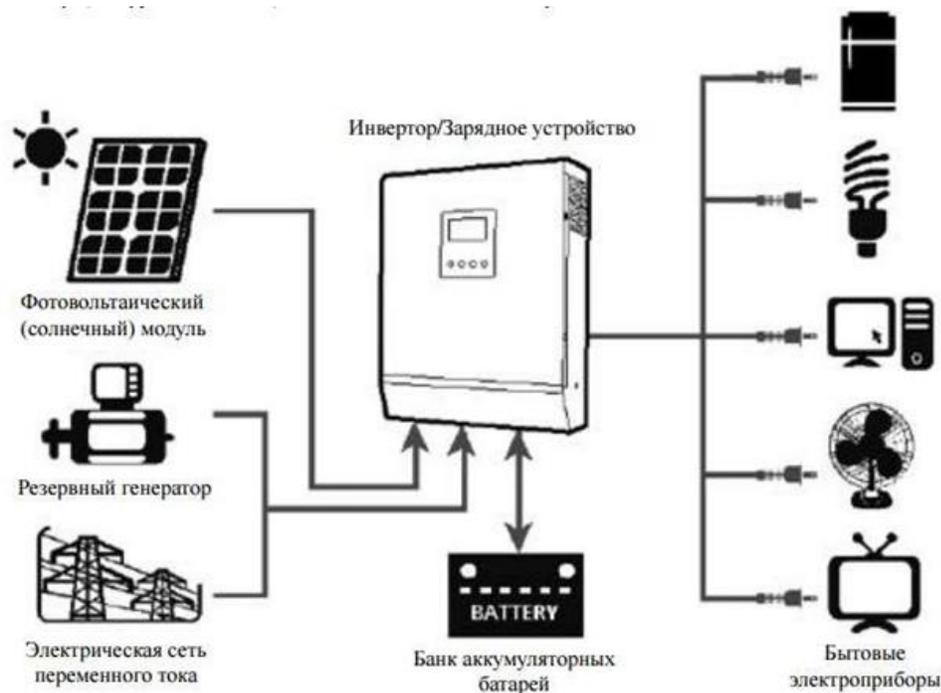


Рисунок 2.4 – Подключение инвертора

2.5 Обоснование выбора аккумуляторной батареи

Производим анализ различных АКБ для солнечных батарей.

Учитывая тот факт, что аккумулятор представляет собой один из основных узлов гелиосистемы, к нему предъявляются определенные требования:

- хорошее соотношение цены и качества — завышенная стоимость еще не показатель надежности;
- определение требуемого времени непрерывного использования;
- оценка среды, в которой будет расположено оборудование.

Лучшими для хранения выработанного электричества давно признаны такие распространенные виды накопителей [40].

2.5.1 Стартерные аккумуляторы

Общедоступные аккумуляторы, которые стоит выбрать в случае, если у вас для их эксплуатации есть хорошо проветриваемое помещение и есть возможность обеспечить бесперебойную работу оборудования.

Выбирая подобный тип накопителей, необходимо помнить, что некая часть полученной энергии всегда будет расходоваться на саморазряд, что может оказаться недопустимым в критических ситуациях.

Разумеется, вместо специализированных устройств можно взять автомобильные аккумуляторы, работающие по тому же принципу, но в большинстве случаев такая практика осуществляется при эксплуатации в тяжелых условиях постоянного расхода электроэнергии, что делает невозможным полноценную зарядку.

К сожалению, использование этих блоков можно назвать одноразовым, так как их предельный срок службы по стандарту не превышает полутора лет, особенно в условиях циклического режима работы и постоянной глубокой разрядки. Хотя АКБ дешевы, в перспективе затраты могут сильно ударить по кошельку.

2.5.2 Гелевые аккумуляторы

Гелевые аккумуляторы – В условиях же отсутствия вентиляции в помещении они могут стать единственно приемлемым вариантом. Хотя стоимость подобного оборудования достаточно высока, она компенсируется высокими выходными токами, отличной емкостью, низкой электропотерей и достойными электрохимическими и физическими параметрами.

Минусом же таких батарей считается короткий срок службы, хотя этот недостаток уже близок к исправлению.

2.5.3 AGM батареи

Еще одним из возможных вариантов выступают AGM батареи, чей небольшой срок службы с лихвой компенсируется:

- полным отсутствием эксгаляции вредных веществ, что дает возможность эксплуатации в помещениях любого типа;
- некрупным размером, облегчающим возможность транспортировки и установки на небольшой площади;
- возможностью перемещения заряженного аккумулятора;
- большим количеством циклов зарядки — около 600 и быстрым восстановлением заряда, производимым в течение 7-8 часов;
- хорошей работой даже при минимальном уровне заполнения, более того, официальная инструкция советует не заряжать батарею полностью, так как при превышении нормы часто происходит выход из строя без допустимости какой-либо починки.

Отдельным требованием для качественной работы выбранных батарей является поддержание температуры в помещении не ниже 15 и не выше 30, так как при жаре срок службы уменьшается буквально на глазах.

2.5.4 Заливные (OPZS) и герметичные (OPZV) аккумуляторы

Эти приборы по праву называются надежными, так как они предназначены для осуществления бесперебойной работы на протяжении долгих циклов при средней мощности более 500 Вт. Высокая надежность, малый расход заряда, отличная энергоемкость и наибольшая продолжительность «жизни» делают такие накопители весьма популярными [43].

В таблице 2.3 приведен анализ производителей и характеристик АКБ

Таблица 2.3 – производители и характеристики различных АКБ

Производитель	Напряжение, В	Емкость, А*ч	Технология
 Challenger G12-55T	12	53	GEL
 Altek 6FM 200GEL	12	200	GEL
 ALVA AS12-60	12	60	GEL
 EverExceed ST-12120	12	120	AGM
 Sunlight spb 12	12	200	AGM

На рис. 2.5 изображен профиль потребления электроэнергии приводом трекерной системы.

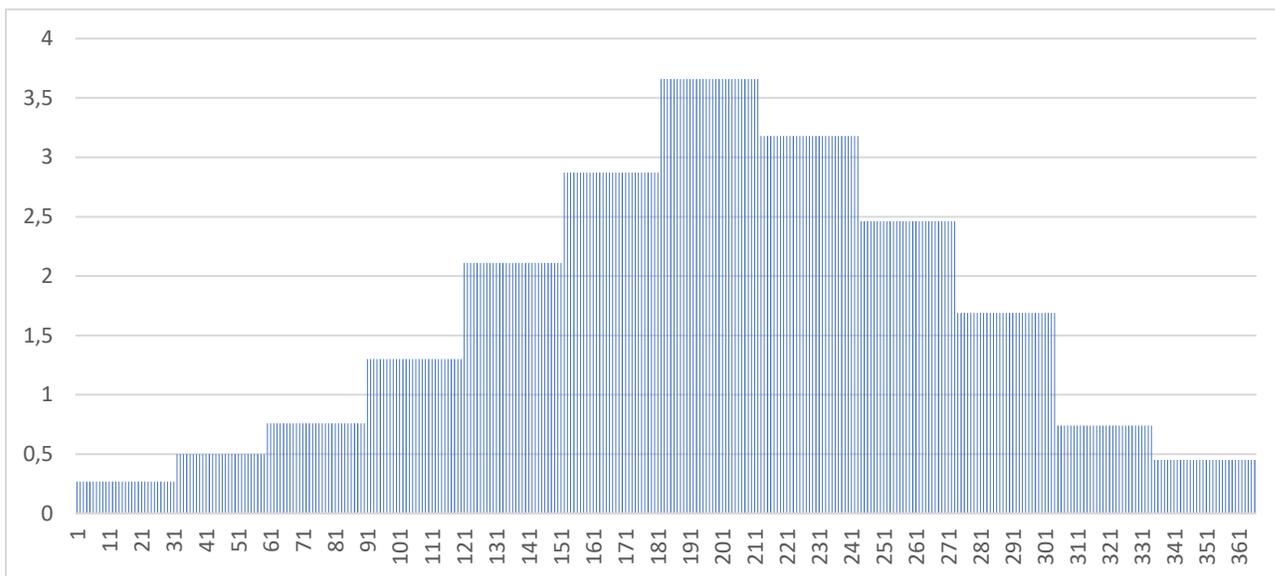


Рисунок 2.5 – профиль потребления

Профиль потребления, рассчитанный таким образом, что в итоге получаем ежесуточное значение ёмкости АКБ. Наибольшее значение из 365 дней будет искомая ёмкость для трекера.

Максимальное значение потребляемой энергии это - 3,6 кВт*ч. (3600 Вт*ч). (результаты расчета представлены в Приложении А)

2 АКБ ёмкостью 200 А*ч дадут нам ($200 \cdot 12 = 2400$ Вт*ч) - 4800 Вт*ч.

Аккумулятор Altek 6FM 200GEL

Описание:

Аккумуляторные батареи Altek 6FM 200 - это необслуживаемые аккумуляторные батареи. Электролит в них жидкий. Расстояние между пластинами заполнено микропористым материалом-сепаратором (типа губки). Сепаратор удерживает кислоту, не давая растекаться. Такая технология (GEL) улучшает работу аккумуляторов в циклическом режиме по сравнению с обычными аккумуляторами. Заявленный срок службы – 12 лет. В табл. 2.4 приведены технические характеристики выбранного аккумулятора [45].

Характеристики:

- срок службы - 10-12лет;
- является тяговой батареей, рассчитана на постоянную нагрузку на протяжении всего разряда;
- герметична, можно использовать в жилых помещениях, не выделяет вредных веществ;
- восстанавливается после глубокого разряда;
- можно использовать при минусовых температурах.

Таблица 2.4 – Технические характеристики АКБ

Основные атрибуты	
Производитель	Altek
Страна производитель	Китай
Тип аккумулятора	GEL
Емкость аккумулятора	200.0(А/ч)
Наработка	700.0(циклов заряда)
Напряжение	12.0(В)
Ток заряда	50.0(А)
Материал изготовления корпуса	Полипропилен
Цвет корпуса	Черный
Минимальная рабочая температура	-15.0(град.)
Максимальная рабочая температура	50.0(град.)
Гарантийный срок	12(мес)

Продолжение таблицы 2.4

Габаритные размеры	
Длина	522.0(мм)
Высота	219.0(мм)
Ширина	240.0(мм)
Вес	62.0(кг)
Дополнительные характеристики	
Мощность	2400 Ватт

Выводы по разделу 2

Был произведен анализ выбранного оборудования для автономной солнечной электростанции с установленной мощностью 10 кВт, в результате которого был выбран накопитель энергии. Анализ показал, что гелевый аккумулятор больше подходит для нашего проекта из-за ряда преимуществ.

РАЗДЕЛ 3

РАСЧЕТ ТРЕКЕРНОЙ СИСТЕМЫ

3.1 Расчет профиля поступления

В результате расчетов, приведенных в приложении – А, был построен график (рис. 3.1), который показывает поступление инсоляции на горизонтальную поверхность 1кв.м. Усредненное значение за 20 лет.

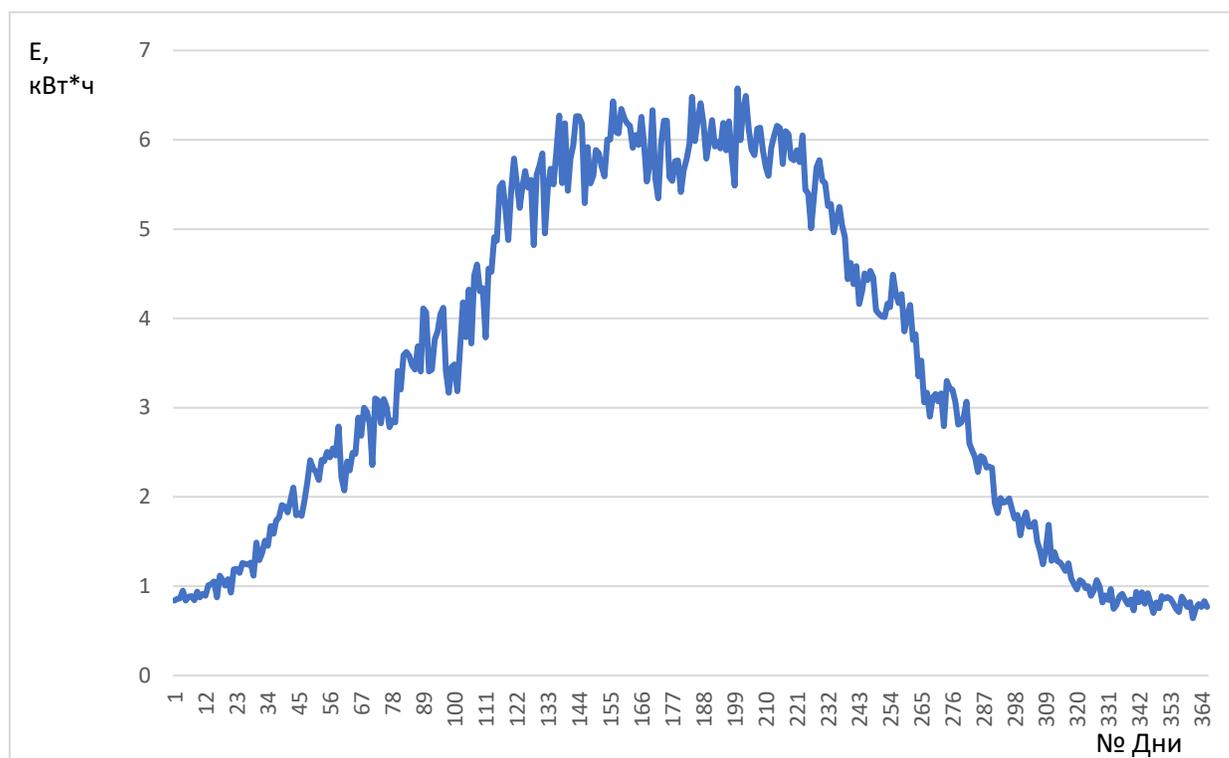


Рисунок 3.1 – Инсоляции на горизонтальную поверхность.

В таблице 3.1 приведены параметры рассчитанной солнечной станции.

Таблица 3.1 – Полученные параметры станции

Характеристика	Показатель
Кол-во панелей на столе, шт	40
Мощность 1-й панели, Вт	260
Мощность станции, кВт	10
Годовая выработка станции (расчет по региону Днепр), кВт\год	19039

3.2 Расчет электропотребления привода Актуатора

Актуатор – система позиционирования подвижной части трекера по зениту, задачей которого является установление угла наклона рабочей поверхности, для ориентации, её строго на солнце, под правильным углом.

В данном приводе, актуатор включается раз в 4 дня, меняя наклон солнечных модулей на 1 градус. Скорость наклона указана в паспортных характеристиках линейного привода. Исходя из этих данных можно сделать вывод, что актуатор может повернуть солнечный массив на 1 градус за 4 секунды. Часы работы актуатора за год – 0,101 ч. Потребляемая электроэнергия за этот промежуток времени будет составлять:

$$0,101 * 430 = 43,43 \text{ Вт} * \text{ч} (0,043 \text{ кВт} * \text{ч})$$

Длина актуатора 60 см. – 600 мм;

Скорость 4 мм/с.

Чтобы узнать, за сколько актуатор проходит всё расстояние нужно длину актуатора разделить на скорость, в результате получим:

$$600 / 4 = 150 \text{ секунд} - 2.5 \text{ минуты.}$$

Учитываем, что в году будет 4 случая в котором порыв ветра будет больше 10 м/с, что заставит актуатор занять защитное положение солнечного трекера, при котором сопротивление ветру будет минимальным.

Электропотребление возрастет на величину:

$$2 * 4 = 8 \text{ минут} - 0,057 \text{ кВт} * \text{ч.}$$

Суммарное потребление приводом актуатора составляет - 0,1 кВт*ч.

Чтобы рассчитать потребления вторым приводом (мотор-редуктор) нужно определить время солнечного сияния в г. Днепр.

3.3 Формирование базы данных по трём критериям

Формируем базу данных для г. Днепр (широта- 48, долгота 35) за год. Основная задача исследования этого подпункта – узнать общее количество солнечных часов за год.

В таблицу 3.2 заносим данные исследований, а именно:

- количество солнечных дней (всего солнечных дней в месяце);
- длина светового дня (часов);
- среднесуточное количество солнечных часов в месяце (количество часов за день, в течение которых прямые солнечные лучи достигают поверхности земли. На данный показатель влияют как длина светового дня, так и облачность в дневное время) [34].

Таблица 3.2 – данные исследований

Месяц	Количество солнечных дней	Длина светового дня, ч	Среднесуточное количество солнечных часов
Январь	3	8.4-9.4	2.6
Февраль	6	9.5-11.0	4.2
Март	9	11.0-12.8	5.5
Апрель	12	12.9-14.5	7.8
Май	16	14.6-15.8	10.5
Июнь	19	15.8-16.1	11.8
Июль	24	15.1-16.0	12.5
Август	23	13.5-15.0	11.3
Сентябрь	20	11.7-13.4	9.5
Октябрь	18	10.0-11.7	7.4
Ноябрь	10	8.6-9.9	4.7
Декабрь	7	8.3-8.6	3.4

В таблице 3.3 представлено общее количество солнечных часов за год.

Таблица 3.3 – общее количество солнечных часов в год

Месяц	Количество солнечных часов в месяце	Общее количество солнечных часов за год
Январь	7.8	1522.8
Февраль	25.2	
Март	49.5	

Продолжение таблицы 3.3

Апрель	93.6	1522.8
Май	168	
Июнь	224.8	
Июль	300	
Август	259.9	
Сентябрь	190	
Октябрь	133.2	
Ноябрь	47	
Декабрь	23.8	

Исходя из анализа этих данных, выявлено, что трактор будет работать 1522 часа в год.

В облачные и пасмурные дни его активность будет снижена.

Умножив это значение на паспортные данные нашего двигателя получится:

$$1522,8 * 360 = 547920 \text{ Вт} * \text{ч} \text{ (} 548 \text{ кВт} * \text{ч)}.$$

Учитывая, что трактор каждую ночь будет возвращаться в исходное состояние, расчет будет выглядеть следующим образом:

$$180 * 360 = 64800 \text{ Вт} * \text{ч} \text{ (} 64,8 \text{ кВт} * \text{ч)};$$

$$548 + 64,8 = 612 \text{ кВт} * \text{ч} \text{ (в год)}.$$

Профиль потребления энергии будет иметь такую величину (см. рис. 3.2).

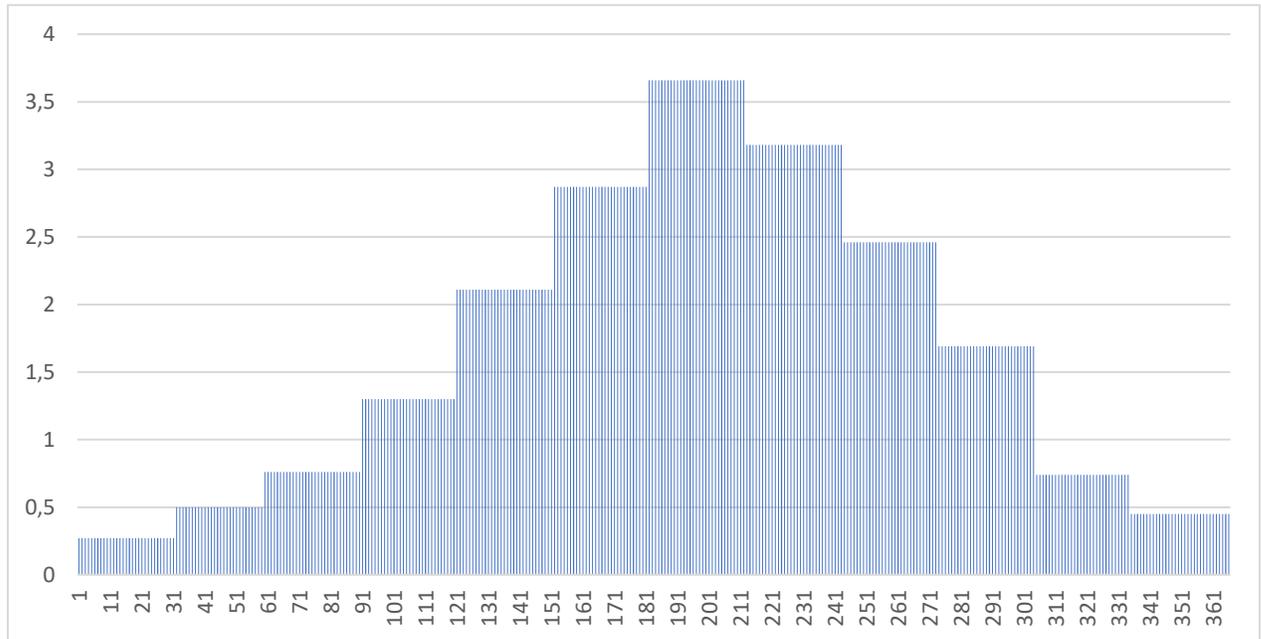


Рисунок 3.2 – профиль потребления

Наибольшее потребление будет в летние дни, так как длинна дня и солнечного сияния будет максимальна.

3.4 Расчет солнечной СЭС с горизонтальной на наклонную за 12 месяцев

Если солнечные батареи устанавливаются под некоторым углом β к горизонту, то среднемесячное дневное суммарное количество солнечной энергии, поступающее на наклонную поверхность, может быть найдено по формуле:

$$\text{За первый месяц } E_n = R \cdot E,$$

где E – среднемесячное дневное суммарное количество солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность;

R – отношение среднемесячных дневных количеств солнечной радиации, поступающей на наклонную и горизонтальную поверхности.

Коэффициент пересчета с горизонтальной плоскости на наклонную с южной ориентацией равен сумме трех составляющих, соответствующих прямому, рассеянному и отраженному солнечному излучению:

$$R = \left(1 - \frac{E_p}{E}\right) \cdot R_n + \frac{E_p}{E} \cdot \frac{1 + \cos\beta}{2} + \rho \cdot \frac{1 - \cos\beta}{2}$$

$$= \left(1 - \frac{0.36}{1.21}\right) \cdot 1.16 + \frac{0.36}{1.21} \cdot \frac{1 + \cos(55)}{2} + 0.7 \cdot \frac{1 - \cos(55)}{2} = 1.19,$$

где E_p – среднемесячное дневное количество рассеянного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность;

E_p/E – среднемесячная дневная доля рассеянного солнечного излучения;

R_n – среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения с горизонтальной на наклонную поверхность;

β – угол наклона поверхности солнечной батареи к горизонту;

Обычно принимается для весны и осени оптимальный угол наклона равным значению широты местности. Для зимы к этому значению прибавляется 10-15 градусов, а летом от этого значения отнимается 10-15 градусов. Поэтому обычно рекомендуется менять дважды в год угол наклона с "летнего" на "зимний". Если такой возможности нет, то угол наклона выбирается примерно равным широте местности. Так, как такой возможности нет, мы берем угол нашей местности, но с учетом рельефа.

ρ – коэффициент отражения (альбедо) поверхности Земли и окружающих тел, обычно принимаемый равным 0.7 для зимы и 0.2 для лета.

Среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения с горизонтальной на наклонную поверхность:

$$\begin{aligned}
R_n &= \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_{3H} + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_{3H} \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin\delta}{\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_3 + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_3 \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta} \\
&= \frac{\cos(48 - 55) \cdot \cos(-20.9) \cdot \sin(92.63) + \frac{\pi}{180} \cdot 92.63 \cdot \sin(48 - 55) \cdot \sin(-20.9)}{\cos(48) \cdot \cos(-20.9) \cdot \sin(65.10) + \frac{\pi}{180} \cdot 65.10 \cdot \sin(48) \cdot \sin(-20.9)} \\
&= 1.16,
\end{aligned}$$

где ϕ – широта местности, град;

β - угол наклона солнечной батареи к горизонту, град;

δ - склонение Солнца (угол между линией, соединяющей центры Земли и

ω_3 – часовой угол захода (восхода) Солнца для горизонтальной поверхно-

сти:

$$\omega_3 = \arccos(-tg\varphi \cdot tg\delta) = \arccos(-tg(48) \cdot tg(-20.9)) = 65.10^\circ,$$

ω_{3H} – часовой угол захода Солнца для наклонной поверхности с южной ориентацией:

$$\omega_{3H} = \arccos[-tg(\varphi - \beta) \cdot tg\delta] = \arccos(-tg(48 - 55) \cdot tg(-20.9)) = 92.63^\circ.$$

Расчет проводится для первых двух месяцев, остальные данные мы внесим в Таблицу 3.4

$$\begin{aligned}
2) \quad R &= \left(1 - \frac{E_P}{E}\right) \cdot R_n + \frac{E_P}{E} \cdot \frac{1 + \cos\beta}{2} + \rho \cdot \frac{1 - \cos\beta}{2} = \left(1 - \frac{0,50}{1,99}\right) \cdot 1.19 + \frac{0,50}{1,99} \cdot \\
&\frac{1 + \cos(55)}{2} + 0.7 \cdot \frac{1 - \cos(55)}{2} = 1.22,
\end{aligned}$$

$$R_n = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_{3H} + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_{3H} \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin\delta}{\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_3 + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_3 \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta}$$

$$= \frac{\cos(48 - 55) \cdot \cos(-13) \cdot \sin(91,60) + \frac{\pi}{180} \cdot 91,60 \cdot \sin(48 - 55) \cdot \sin(-13)}{\cos(48) \cdot \cos(-13) \cdot \sin(75,22) + \frac{\pi}{180} \cdot 75,22 \cdot \sin(48) \cdot \sin(-13)}$$

$$= 1.19,$$

$$\omega_3 = \arccos(-\operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{tg}\delta) = \arccos(-\operatorname{tg}(48) \cdot \operatorname{tg}(-13)) = 75,22^\circ,$$

$$\omega_{3H} = \arccos[-\operatorname{tg}(\varphi - \beta) \cdot \operatorname{tg}\delta] = \arccos(-\operatorname{tg}(48 - 55) \cdot \operatorname{tg}(-13)) = 91,60^\circ,$$

Таблица 3.4 – расчет коэффициентов

Месяц	φ	β	ω_3	ω_{3H}	R_n	R	E_P	E
март	48	45	87,42	90,12	1,60	1,44	0,77	2,98
апрель	48	45	100,54	90,48	1,18	1,13	0,96	3,37
май	48	45	112,14	90,97	0,93	0,96	1,26	5,55
июнь	48	35	117,77	95,50	0,91	0,99	1,48	5,57
июль	48	35	114,89	94,99	0,95	0,94	1,48	5,70
август	48	35	105,42	93,15	1,10	1,05	1,22	5,08
сентябрь	48	45	90,24	90,10	1,70	1,31	0,90	3,66
октябрь	48	45	79,22	89,50	2,02	1,74	0,64	2,27
ноябрь	48	45	67,72	89,02	1,04	1,05	0,41	1,20
декабрь	48	55	61,96	92,92	1,15	1,17	0,30	0,96

Принимаем среднее значение по коэффициенту пересчета с горизонтальной на наклонную 1,17. На рисунке 3.3 представлен график выработки с наклонной плоскости.

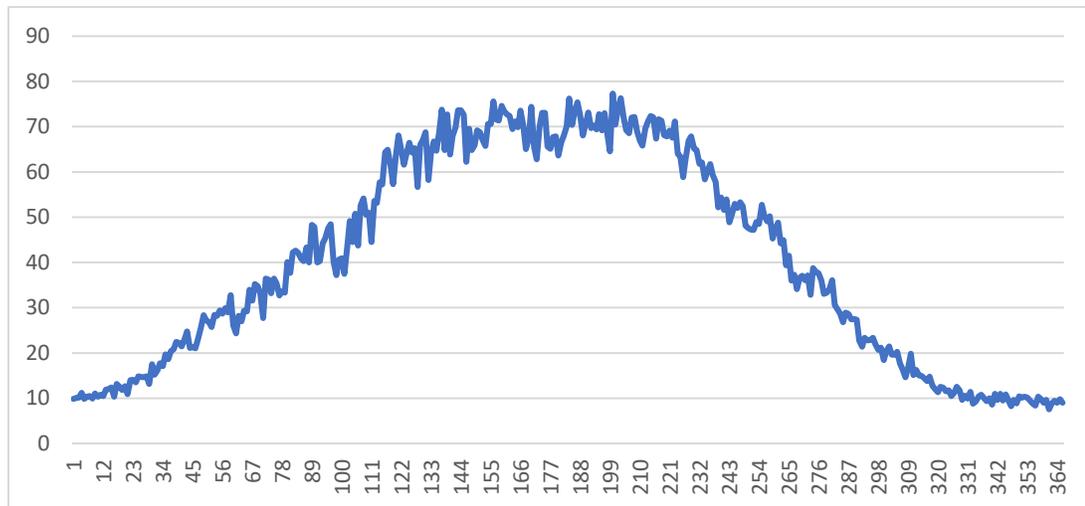


Рисунок 3.3 – выработка с наклонной плоскости.

3.5 Сравнение эффективности ФЭМ при различной ориентации трекерной установки

Результаты расчетов представлены на рис. 3.4. [39]

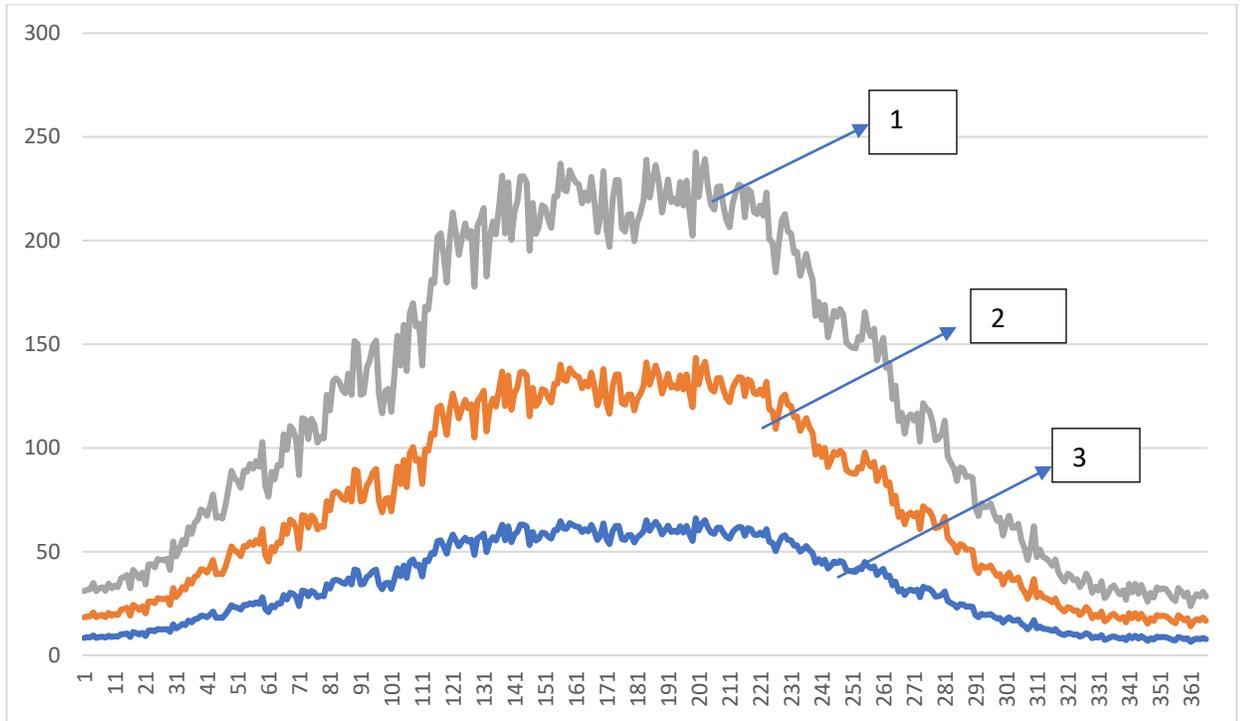


Рисунок 3.4 – сравнение эффективности ФЭМ при различной ориентации трековой установки

1 – Выработка с использованием трекер;

2 – Выработка с наклонной плоскости, ориентированной на юг;

3 – Выработка с горизонтальной плоскости.

3.6 Расчет величины накопителя

Число Ампер-часов в неделю, требуемое для покрытия нагрузки переменного тока, определяется по формуле:

$$q_{нед}^{пер} = \frac{W_{тр}}{U_{инв}} = \frac{105000}{48} = 2187 \text{ А} \cdot \text{ч.}$$

Посчитать нагрузку постоянного тока $W_{пост}$.

Принимаем, что в приводе трекера нет нагрузки постоянного тока $W_{пост} = 0$.

Определим напряжение в системе постоянного тока $U_{пост}$. Обычно это 12 В или 24 В.

Число Ампер-часов в неделю, требуемое для покрытия нагрузки постоянного тока, определяется по формуле:

$$q_{нед}^{пост} = \frac{W_{пост}}{U_{пост}} = 0$$

Суммарная требуемая емкость аккумуляторной батареи, то есть количество $A \cdot ч$ (Ампер-часов), потребляемых в неделю:

$$q_{нед} = q_{нед}^{пер} + q_{нед}^{пост} = 2187 + 0 = 2187 \text{ А} \cdot \text{ч.}$$

Суточное значение потребляемых $A \cdot ч$ определяется делением $q_{нед}$ на 7 дней:

$$q_{сут} = \frac{q_{нед}}{7} = \frac{2187}{7} = 312,42 \text{ А} \cdot \text{ч.}$$

3.6.1 Определение значения необходимой емкости аккумуляторной батареи

Определить максимальное число последовательных "дней без солнца" $N_{\text{бс}}$ (то есть когда солнечной энергии недостаточно для заряда аккумуляторной батареи и соответственно для работы нагрузки из-за непогоды или облачности), пользуясь таблицей 3.5 и ориентируясь на режим эксплуатации.

При круглогодичной эксплуатации фотоэлектрической системы с дублиром, в том числе при работе с общей энергосетью, для уменьшения затрат можно выбрать минимально возможное количество дней без солнца – 1. Это обуславливается подзарядкой от резервного источника в любое время. Принимаем $N_{\text{бс}} = 2$

Таблица 3.5 – Количество дней без солнца, обусловленное погодными условиями

Широта местности	Период		
	Летние месяцы	Осенние и весенние месяцы	Зимние месяцы
30	2-4	3-4	4-6
40	2-4	4-6	6-10
50	2-4	6-8	10-15
60	3-5	8-12	15-25
70	3-5	12-14	20-35

Суммарная емкость аккумуляторов, учитывающая количество дней без солнца $N_{\text{бс}}$:

$$q_N = q_{\text{сут}} \cdot N_{\text{бс}} = 312,22 \cdot 2 = 624,44 \text{ А} \cdot \text{ч}.$$

Задаем величину глубины допустимого разряда аккумуляторной батареи. При этом необходимо учесть, что чем больше глубина разряда, тем быстрее батареи выйдут из строя. Рекомендуется значение глубины разряда 20÷50% (используется 20÷50% от значения номинальной емкости). Соответственно коэффициент использования γ составит от 0,2 до 0,5. Ни при каких обстоятельствах разряд батареи не должен превышать 80%.

Заряд аккумуляторной батареи с учетом глубины разряда:

$$q_{\gamma} = \frac{q_N}{\gamma} = \frac{624,22}{0,3} = 2080,7 \text{ А} \cdot \text{ч.}$$

Выбраем коэффициент α из таблицы 3.6, который учитывает температуру окружающей среды в помещении, где установлены аккумуляторные батареи. Обычно это средняя температура в зимнее время. Коэффициент учитывает уменьшение емкости при понижении температуры.

Таблица 3.6 – Температурный коэффициент для аккумуляторной батареи

Температура в градусах		Коэффициент
Цельсия	Фаренгейта	
26,7°C	80F	1,00
21,2°C	70F	1,04
15,6°C	60F	1,11
10,0°C	50F	1,19
4,4°C	40F	1,30
-1,1°C	30F	1,40
-6,7°C	20F	1,59

Общая требуемая емкость аккумуляторных батарей:

$$q_{\text{общ}} = q_{\gamma} \cdot \alpha = 2080,7 \cdot 1,04 = 2164 \text{ А} \cdot \text{ч.}$$

Выбраем тип аккумуляторной батареи, который будет использоваться. Выписать для него номинальную емкость $q_{\text{ном}}$ и номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$.

Выбираем 12 В Аккумулятор Altek 6FM 200GEL 200Ah, гелевый (Gel).

$$U_{ном} = 12 В,$$

$$q_{ном} = 200 А \cdot ч.$$

3.6.2 Расчет оптимальной емкости накопителя

Так как мы имеем потребление энергии приводом и полную генерацию станции за год, можно соотнести насколько маленькое потребление по сравнению с её потреблением на привод солнечного трекера(рис.3.5).

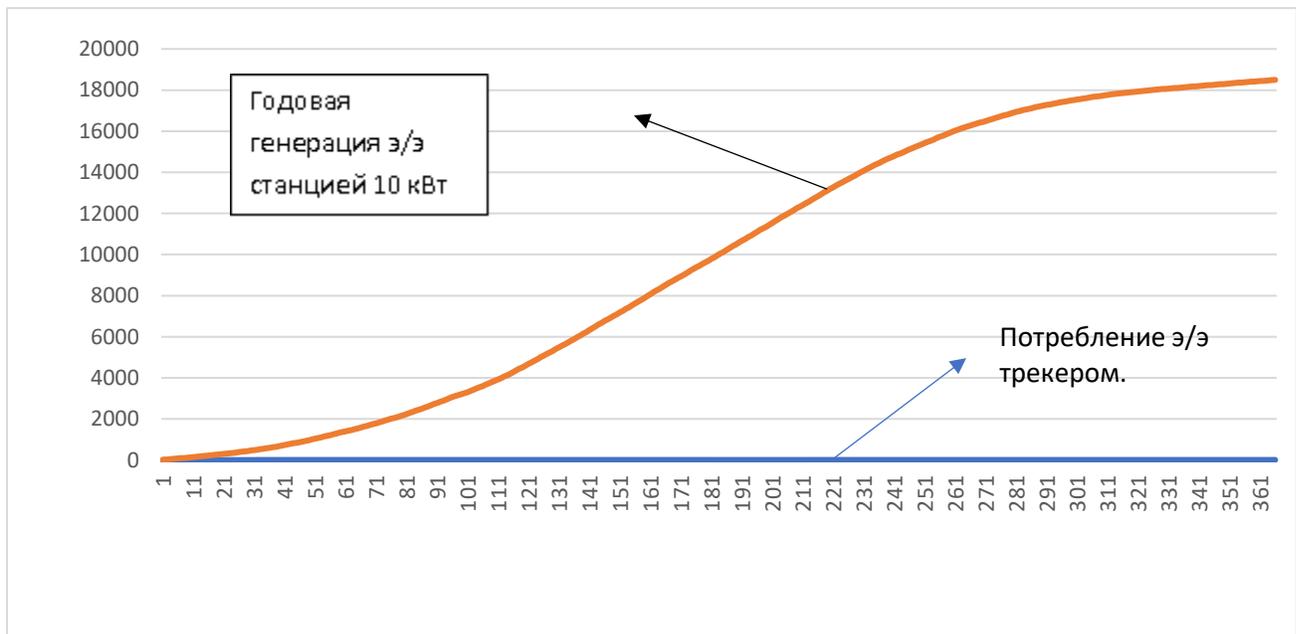


Рисунок 3.5 – оптимальная емкость накопителя

Выводы по разделу 3

В результате проведенной работы, был построен профиль поступления: на горизонтальную плоскость, на наклонную ориентированную на юг и на трекерную.

И расчеты показали, что ФЭМ с использованием трекерной системы более эффективны чем традиционный вариант, не подвижных ФЭМ.

РАЗДЕЛ 4

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

4.1 Введение

В поисках новых источников энергии люди все чаще обращаются к солнечным батареям. Это отличная замена генераторам различных типов, некоторые из которых могут быть малофункциональным или потенциально опасными для частного дома.

Главное преимущество — это стоимость, так как на солнечные батареи цена сегодня стала не такой уж высокой, и она легко окупается за пару лет. При этом батареи могут без проблем обеспечить энергией загородный дом разной площади, в зависимости от мощности.

Использование солнечных батарей становится все более актуальным сегодня, когда запасы топлива постепенно заканчиваются. Нефти и газа становится все меньше, соответственно, цена на них растет. А со временем запасов не хватит большинству. Да и электричество дорожает с каждым днем. Тогда как батареи позволяют получить необходимую энергию из постоянного и, что главное, абсолютно бесплатного источника, — света солнца.

В магистерской диссертации просчитывается проект по внедрению солнечной трекерной установки с ее комплектующими. Для технико-экономического обоснования разработки трекерной фотоустановки нужно:

- 1) Рассчитать стоимость капитальных затрат;
- 2) Определить величину эксплуатационных расходов;
- 3) Рассчитать годовую экономию;
- 4) Определить и проанализировать показатели экономической эффективности.

4.2 Расчет капитальных затрат

Расчет капитальных затрат оформляется в виде табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Стоимость оборудования проектный вариант 1

№	Название оборудования	Кол-во	Цена за единицу, грн.	Сумма, грн.	Обоснование
1	панель Jinko Solar 260P	40	6 000	240 000	[41]
2	инвертор SMA 12 кВт	1	110 000	110 000	[42]
Итого				350 000	

Капитальные затраты проекта составляют:

$$K = K_{об} + K_{тр} + K_{мн},$$

где $K_{об}$ – стоимость оборудования по сводке затрат, грн;

$K_{тр}$ – транспортно-заготовительные и складские затраты, грн; в соответствии с сайтом (<https://www.sat.ua/ru/>) составляют 6000 грн.

$K_{мн}$ – затраты на монтаж и наладку оборудования, грн.

Расходы на монтажные $K_{м}$ работы можно определить следующим образом:

$$З_{м} = \sum (Ч \cdot a \cdot t) \cdot K_{д} \cdot K_{см} \cdot K_{пр},$$

где $Ч = 8$ чел. численность инженеров электриков, необходимых для выполнения определенного объема монтажных работ;

$a = 34$ грн. – часовой оклад инженера электрика;

$t = 120$ часов, время необходимое для выполнения монтажных работ;

$K_{д} = 1,1$ – коэффициент, учитывающий размер доплат;

$K_{см} = 1,22$ – коэффициент учитывающий отчисления на социальные мероприятия;

$K_{пр} = 1,05$ – коэффициент, учитывающий другие затраты.

$$З_м = ((8 \cdot 34 \cdot 120) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 45\,993 \text{ грн.}$$

Расходы на наладочные работы можно определить следующим образом

$$З_н = \sum (Ч \cdot a \cdot t) \cdot K_д \cdot K_{см} \cdot K_{пр}$$

где $Ч = 3$ чел. численность инженеров электриков, необходимых для выполнения определенного объема монтажных работ;

$a = 34$ грн. часовой оклад инженера электрика;

$t = 28$ часов, время необходимое для выполнения наладочных работ;

$K_д = 1,1$ – коэффициент, учитывающий размер доплат;

$K_{см} = 1,22$ – коэффициент учитывающий отчисления на социальные мероприятия;

$K_{пр} = 1,05$ – коэффициент, учитывающий другие затраты.

$$З_н = ((3 \cdot 34 \cdot 28) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 4\,025 \text{ грн.}$$

$$K_1 = 350\,000 + 45\,993 + 6\,000 + 4\,025 = 406\,018 \text{ грн.}$$

Таблица 4.2 – Стоимость оборудования проектный вариант 2

№	Название оборудования	Кол-во	Цена за единицу, грн.	Сумма, грн.	Обоснование
1	панель Jinko Solar 260P	40	6 000	240 000	[41]
2	инвертор SMA 12 кВт	1	110 000	110 000	[42]
3	Аккумулятор Altek 6FM200AGM	2	13 500	27 000	[43]

4	Трекер	1	100 000	100 000	[44]
	Итого			477 000	

$$K_2 = 477\,000 + 45\,993 + 6\,000 + 4\,025 = 533\,018 \text{ грн.}$$

4.3 Расчет эксплуатационных затрат

Годовые эксплуатационные затраты по объекту проектирования составляют:

$$C = C_a + C_3 + C_c + C_T + C_э + C_{пр}, \text{ грн,}$$

где C_a – амортизационные отчисления;

C_3 – заработная плата обслуживающего персонала;

C_c – единый социальный взнос;

C_T – затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт оборудования;

$C_э$ – стоимость электроэнергии, потребляемой объектом проектирования;

$C_{пр}$ – прочие эксплуатационные расходы.

Амортизация объекта основных средств начисляется исходя из срока его полезного использования. Срок полезного использования (эксплуатации) объектов основных средств и нематериальных активов определяется предприятием самостоятельно, исходя из ожидаемых экономических выгод, технических и качественных характеристик основного средства, морального и физического износа, а также других факторов, которые могут повлиять на возможность использования. Принимаемый дипломником срок полезного использования объектов основных средств для начисления амортизации может быть меньше минимально допустимых сроков полезного использования.

Норма амортизации H_a при прямолинейном методе постоянна в течение всего амортизационного периода и равна:

$$H_a = \frac{\Phi_{\text{п}} - Л}{\Phi_{\text{п}} \cdot T_{\text{п}}} \cdot 100\%,$$

где $\Phi_{\text{п}}$ – первоначальная (или переоцененная) стоимость объекта основных средств;

$T_{\text{п}}$ – срок полезного использования;

$Л$ – ликвидационная стоимость основных средств.

Зная данную группу основных средств определим норму амортизации для проектного варианта 1:

$$H_a = \frac{406\,018}{406\,018 \cdot 12} \cdot 100\% = 8\%,$$

для проектного варианта 2:

$$H_a = \frac{533\,518}{533\,518 \cdot 12} \cdot 100\% = 8\%.$$

Тогда годовые амортизационные отчисления АО по прямолинейному методу для проектного варианта 1:

$$AO = \frac{\Phi_{\text{п}} \cdot H_a}{100} = \frac{406\,018 \cdot 8}{100} = 32\,481 \text{ грн.}$$

Для проектного варианта 2:

$$AO = \frac{\Phi_{\text{п}} \cdot H_a}{100} = \frac{533\,018 \cdot 8}{100} = 42\,642 \text{ грн.}$$

Результаты расчетов сводим в таблице 4.3.

Таблица 4.3 Расчет амортизационных отчислений

Наименование	Капитальные затраты, грн.	Норма амортизации, %	Сумма амортизации, грн.
Проектный вариант 1	406 018	8	32 481
Проектный вариант 2	533 518	8	42 642

Годовые расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт оборудования и сетей включают расходы на материалы и запасные части, заработную плату ремонтникам и определяются:

$$Z_m = \sum_{i=1}^n (R_i \cdot t_i \cdot m_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{S_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\Phi}),$$

где n – число устройств автоматики, подлежащих ремонту;

R_i – часовая ставка рабочих, выполняющих ремонт. Ставка электромонтера по ремонту электрооборудования составляет 34 грн;

t_i – трудоемкость одного ремонта при категории тяжести ремонта в одну ремонтную единицу, в зависимости от вида ремонта, ч / ед., при среднем ремонте 6 ч / ед. ;

m_i – число ремонтов за год, ед., принимается 1;

$R_{\Sigma i}$ – суммарная категория тяжести ремонта в зависимости от вида электрооборудования, так как мощность от 5 до 10 кВт, то принимается 2,1;

S_i – стоимость однотипных заменяемых элементов, грн.; составляют 200 грн. ;

Π_i – количество однотипных заменяемых элементов, ед., 10 ед. ;

T_i – средний срок службы деталей данного типа, ч., принимаем 28 000 ч;
 T_ϕ – число часов работы оборудования в год, ч.; 4 300 ч.

Годовые расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт составляют для проектного варианта 1 и 2:

$$C_T = 34 \cdot 6 \cdot 1 \cdot 2,1 + \frac{200 \cdot 10}{28\,000} \cdot 4\,300 = 736 \text{ грн.}$$

Таблица 4.3 – Расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт

Наименование	Техн. обслуживание, грн.
Проектный вариант 1	736
Проектный вариант 2	736

Таким образом, суммарные эксплуатационные затраты для проектного варианта 1 и 2 составляют:

$$C_{\text{пр1}} = 32\,481 + 736 = 33\,217 \text{ грн,}$$

$$C_{\text{пр2}} = 42\,642 + 736 = 43\,378 \text{ грн.}$$

Таблица 4.4 – Эксплуатационные расходы

Наименование	Расходы, грн.
Проектный вариант 1	33 217
Проектный вариант 2	43 378

Электроэнергия в проектных вариантах потребляться не будет. Они будут генерировать энергию и продавать по зеленому тарифу (приносить прибыль). Годовая прибыль:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = W \cdot a,$$

где a – тариф за кВт электроэнергии по зеленому тарифу (составляет 5 грн 32 коп. за 1 кВт) <http://term.od.ua/blog/что-такое-зеленый-тариф-на-электроэнергии/>. Стоимость электроэнергии на 1 января 2017 – 31 декабря 2019.

W – количество выработанной ЭЭ установкой в год.

Для проектного варианта 1: $W_1 = 12\,692$ кВт,

для проектного варианта 2: $W_2 = 19\,039$ кВт.

(Эти данные рассчитывались в предыдущем разделе диссертации).

$$\mathcal{E}_{\text{год1}} = W_1 \cdot a = 12\,692 \cdot 5,32 = 67\,522 \text{ грн.}$$

$$\mathcal{E}_{\text{год2}} = W_2 \cdot a = 19\,039 \cdot 5,32 = 101\,288 \text{ грн.}$$

Таблица 4.5 – Годовая прибыль

Наименование	прибыль, грн.
Проектный вариант 1	67 522
Проектный вариант 2	101 288

4.4 Определение годовой экономии от внедрения объекта проектирования

Полная годовая экономия от внедрения принятого технического решения определяется с учетом эксплуатационных расходов по данному объекту:

$$\mathcal{E}_{\text{год}}^{\text{полн}} = \mathcal{E}_{\text{год}} - C_{\text{пр}}, \text{ грн},$$

$$\mathcal{E}_{\text{год1}}^{\text{полн}} = 67\,552 - 33\,217 = 34\,335 \text{ грн.},$$

$$\mathcal{E}_{\text{год2}}^{\text{полн}} = 101\,288 - 43\,378 = 57\,910 \text{ грн.}$$

Период окупаемости составит:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{пр}}}{\mathcal{E}_{\text{год}}^{\text{полн}}},$$

$$T_{\text{ок1}} = \frac{406\,018}{34\,335} = 11,82 \text{ года} \leq T_{\text{ок}}^{\text{прием}} = 12 \text{ лет},$$

$$T_{\text{ок2}} = \frac{533\,518}{57\,910} = 9,21 \text{ года} \leq T_{\text{ок}}^{\text{прием}} = 12 \text{ лет}.$$

Выводы по разделу 4

В этом разделе был проведен расчет капитальных затрат на приобретение и монтаж трекерной солнечной системы оборудования; расчет годовых эксплуатационных расходов на содержание и обслуживание объекта проектирования.

Производился анализ двух вариантов. И расчеты показали, что вариант с трекером окупится быстрее чем традиционный вариант установки панелей под углом без возможности поворота ее в течении дня. Два проекта окупаются быстрее срока полезного действия оборудования.

ВЫВОДЫ

В результате проведённых исследований получены следующие результаты:

1. Анализ современных литературных источников показал, что отрасль солнечной энергетики переживает стремительный рост, по всему миру, активно исследуются возможности увеличения эффективности солнечных батарей с помощью солнечного трекера.

2. Так как эффективность солнечного трекера напрямую зависит от непрерывного слежения за солнцем, было принято, оснастить его накопителем электроэнергии, для обеспечения надежности в автономном режиме.

3. Был произведен анализ выбранного оборудования для автономной солнечной электростанции с установленной мощностью 10 кВт, в результате которого был выбран накопитель энергии, аккумулятор производителя Altek емкостью 200 А*ч. Анализ показал, что гелевый аккумулятор больше подходит для данного проекта из-за ряда преимуществ.

4. В результате проведенной работы, был построен профиль поступления: на горизонтальную плоскость, на наклонную ориентированную на юг и на трекерную. Расчеты показали, что ФЭМ с используем трекерной системы более эффективны чем традиционный вариант, не подвижных ФЭМ, так как выработка электроэнергии повышается на 40%.

5. В экономической части производился анализ двух вариантов установки ФЭМ. И расчеты показали, что вариант с трекером окупится быстрее чем традиционный вариант установки панелей под углом без возможности поворота ее в течении дня. Система с трекером окупится за 9 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гибилиско С., 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. Шехер Г., Экономические основы солнечной энергетики. Экологический возобновляемый источник энергии будущего, 2004. – 368с. // ISBN: 978-1844070756.
5. Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации.- Л.: Гидрометеиздат.
6. Андреев С.В. Солнечные электростанции. М.: Наука 2002.
7. Солнечная энерги [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rea.org.ua/dieret/Solar/solar.html>
8. База данных NASA. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://power.larc.nasa.gov/>
9. Некоторые вопросы о солнечных батареях. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://avtonom.com.ua/stati/towari_alternativnoy_energetiki/solnechnie_batarei/davajte-vkrattse-razberem-nekotorye-voprosy-o-solnechnyh-batarejah
10. Охоткин Г.П., Серебрянников А.В. Основные принципы построения автономных солнечных электростанций. Чеб.: Внир 2003.
11. В. А. Андреев, В. А. Грилихес, В. Д. Румянцев, Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения, Наука, 1989. – 310с.
12. Воронин С.М. Автономная система электроснабжения на основе солнечной электростанции. Б.: Журнал 2007
13. Рубан С.С. Нетрадиционные источники энергии. М.: Энергия, 2003

14. Проектирование солнечных батарей [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://slavapril.narod.ru/proektirovanie_solnechnoi_batarei.html
15. Dual-Axis Tracking generates more power [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.renewableenergyworld.com/articles/print/pvw/volume-2/issue-6/solar-energy/dual-axis-tracking-generates-more-power.html>
16. Повышение эффективности работы гелиоэнергетических установок. У.: УУВШ, 2007
17. Безруких П.П. Возобновляемая энергетика основа устойчивого развития. СПб.: ФРТУ, 2007
18. Колтун М. М. Фотоэлемент. М.: Журнал, 1977
19. Система слежения за солнцем для солнечных батарей. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.azovpromstal.com/article/one/id/1531>
20. Аккумуляторы гелевые, мультигелевые и AGM. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://lantorg.com/article/akkumulyatory-gelevye-multigelevye-i-agm-v-chem-raznitsa>
21. Гелиоэнергетический потенциал в Украине. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://msd.com.ua/vozobnovlyaemye-i-vtorichnye-istochniki-energii/gelioenergeticheskij-potencial-ukrainy/>
22. Эффективность и экономичность солнечных трекеров в Австралии. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.solarchoice.net.au/blog/solar-trackers/>
23. Преимущества и недостатки системы солнечного трекера. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.solarpowerworldonline.com/2016/05/advantages-disadvantages-solar-tracker-system/>
24. Повышение выработки электроэнергии с помощью двухосевого солнечного трекера. [Электронный ресурс]. Режим доступа:

<https://www.allearthrenewables.com/blog/maximizing-power-production-with-dual-axis-solar-trackers>

25. Отслеживание солнца по двум осям увеличивает мощность солнечной станции. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.renewableenergyworld.com/articles/print/pvw/volume-2/issue-6/solar-energy/dual-axis-tracking-generates-more-power.html>
26. Розрахунок системи автономного енергопостачання з використанням фотоелектричних перетворювачів/А.Н. Гребенюк // Матеріали / М-во освіти і науки України ; Нац. гірн. ун-т. – Д., 2015.
27. Гелевый аккумулятор . [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://solarled.com.ua/altek-6fm200gel-12v-200ah.html>
28. Инвертор для солнечных батарей [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://solarsoul.net/invertor-dlya-solnechnyx-batarej>
29. Трекерная система компании HANNING. [Электронный ресурс]. Режим доступа
30. Линейный актуатор Hanning. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.sjdekker.nl/en/producten/versteltechniek/>
31. Солнечные батареи . [Электронный ресурс]. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B1%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%B5%D1%8F
32. Развитие фотоэлементов . [Электронный ресурс]. <http://solarsoul.net/razvitie-fotoelementov>
33. Выбор аккумулятора для солнечных батарей [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.solar-battery.com.ua/vyibor-akkumulyatora-dlya-solnechnoy-batarei/>
34. База данных о погоде в Днепропетровске . [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://pogoda.turtella.ru/Ukraine/Dnepropetrovsk/monthly/>

35. Розрахунок системи автономного енергопостачання з використанням фотоелектричних перетворювачів/А.Н. Гребенюк // Матеріали / М-во освіти і науки України ; Нац. гірн. ун-т. – Д., 2015.
36. Мальцева А.В. Концентраторы солнечного излучения в энергетике. М.: Энергия, 2005.
37. ГОСТ Р 51594-2000 «Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Термины и определения». М.: Издательство стандартов, 2000.
38. Колтун М. М. Фотоэлемент. М.: Журнал, 1977.
39. Иванчура В.И., Чубарь А.В., Пост С.С. Энергетические модели элементов автономных систем электропитания. М.: Журнал СФУ, 2012.
40. Все про зелёный тариф в Украине. Как продавать электроэнергию. [Электронный ресурс]. Режим доступа. <http://term.od.ua/blog/chto-takoe-zelenii-tarif-na-elektroenergiyu/>
41. Солнечная панель Jinko Solar. [Электронный ресурс]. Режим доступа. <http://www.sunukraine.com.ua/%D1%81%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F-%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D0%BB%D1%8C-jinko-solar-260-%D0%B2%D1%82/>
42. Сетевой солнечный инвертор SMA 12. [Электронный ресурс]. Режим доступа. <https://prom.ua/p579736205-setevoj-solnechnyj-invertor;all.html>
43. Аккумулятор Altek6FM. [Электронный ресурс]. Режим доступа. <https://avtonom.com.ua/batarei-akkumulyatornye/akkumulyatory-dlya-ibp/akkumulyator-dlya-ibp-altek-6fm200agm-vrla-agm/>
44. Солнечная электростанция на треkere. [Электронный ресурс]. Режим доступа. <https://prom.ua/p553962713-solnechnaya-elektrostantsiya-trekere;all.html>
45. Аккумуляторы для солнечных батарей. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://ukrelektrik.com/publ/akkumuljatory_dlja_solnechnykh_batarej_tipu_osnovnye_kharakteristiki/1-1-0-1654

- 46.R. A. Bentley, "Global Oil Depletion—Methodologies and Results", Proc. 3rd Int. Workshop on Oil and Gas Depletion, Berlin, Germany, 2004; pp. 25–26.
- 47.K. Kurokawa, L. Kazamerski, B. McNelis, "Message from the Conference Chair and Vice Chairs", Proceedings of 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, May 11-18, 2003.
- 48.R. Hug, "Solar Power from the Desert rather than Desert in Germany: renewable energy in a trans-European context"
- 49.A. Baz, A. Sabry, A. Mobarak, S. Morcos, "On the Tracking Error of a Self-contained Solar Tracking System", Trans. ASME, Journal of Solar Energy Engineering, 106, 1984, pp. 416–422.

**Расчет эффективности тракерной системы для установленной мощности
10 кВт**

№	месяц	день	Средняя ежесуточная энергия кВт*ч	Выработка с горизонтальной плоскости	Выработка с наклонной плоскости	Выработка с использованием трекера
1	1	1	0,8396	8,4363008	9,870471936	12,6544512
2	1	2	0,8568	8,6091264	10,07267789	12,9136896
3	1	3	0,8632	8,6734336	10,14791731	13,0101504
4	1	4	0,9488	9,5335424	11,15424461	14,3003136
5	1	5	0,8396	8,4363008	9,870471936	12,6544512
6	1	6	0,8816	8,8583168	10,36423066	13,2874752
7	1	7	0,89	8,94272	10,4629824	13,41408
8	1	8	0,8424	8,4644352	9,903389184	12,6966528
9	1	9	0,9392	9,4370816	11,04138547	14,1556224
10	1	10	0,8768	8,8100864	10,30780109	13,2151296
11	1	11	0,9136	9,1798528	10,74042778	13,7697792
12	1	12	0,8932	8,9748736	10,50060211	13,4623104
13	1	13	1,0088	10,1364224	11,85961421	15,2046336
14	1	14	1,0208	10,2569984	12,00068813	15,3854976
15	1	15	1,052	10,570496	12,36748032	15,855744
16	1	16	0,8768	8,8100864	10,30780109	13,2151296
17	1	17	1,1184	11,2376832	13,14808934	16,8565248
18	1	18	1,0664	10,7151872	12,53676902	16,0727808
19	1	19	1,0052	10,1002496	11,81729203	15,1503744
20	1	20	1,0788	10,8397824	12,68254541	16,2596736
21	1	21	0,928	9,324544	10,90971648	13,986816
22	1	22	1,188	11,937024	13,96631808	17,905536
23	1	23	1,194	11,997312	14,03685504	17,995968
24	1	24	1,1492	11,5471616	13,51017907	17,3207424
25	1	25	1,2608	12,6685184	14,82216653	19,0027776
26	1	26	1,2492	12,5519616	14,68579507	18,8279424
27	1	27	1,2432	12,4916736	14,61525811	18,7375104
28	1	28	1,2644	12,7046912	14,8644887	19,0570368
29	1	29	1,1164	11,2175872	13,12457702	16,8263808

30	1	30	1,4876	14,9474048	17,48846362	22,4211072
31	1	31	1,2916	12,9779968	15,18425626	19,4669952
32	2	1	1,3756	13,8220288	16,1717737	20,7330432
33	2	2	1,5092	15,1644416	17,74239667	22,7466624
34	2	3	1,4508	14,5776384	17,05583693	21,8664576
35	2	4	1,6732	16,8123136	19,67040691	25,2184704
36	2	5	1,5864	15,9401472	18,64997222	23,9102208
37	2	6	1,7352	17,4352896	20,39928883	26,1529344
38	2	7	1,7708	17,7929984	20,81780813	26,6894976
39	2	8	1,9072	19,1635456	22,42134835	28,7453184
40	2	9	1,8892	18,9826816	22,20973747	28,4740224
41	2	10	1,826	18,347648	21,46674816	27,521472
42	2	11	1,9584	19,6780032	23,02326374	29,5170048
43	2	12	2,1056	21,1570688	24,7537705	31,7356032
44	2	13	1,7944	18,0301312	21,0952535	27,0451968
45	2	14	1,8152	18,2391296	21,33978163	27,3586944
46	2	15	1,7884	17,9698432	21,02471654	26,9547648
47	2	16	1,9572	19,6659456	23,00915635	29,4989184
48	2	17	2,1656	21,7599488	25,4591401	32,6399232
49	2	18	2,41	24,21568	28,3323456	36,32352
50	2	19	2,3176	23,2872448	27,24607642	34,9308672
51	2	20	2,2792	22,9014016	26,79463987	34,3521024
52	2	21	2,1916	22,0211968	25,76480026	33,0317952
53	2	22	2,4156	24,2719488	28,3981801	36,4079232
54	2	23	2,4	24,1152	28,214784	36,1728
55	2	24	2,5024	25,1441152	29,41861478	37,7161728
56	2	25	2,4416	24,5331968	28,70384026	36,7997952
57	2	26	2,5416	25,5379968	29,87945626	38,3069952
58	2	27	2,466	24,778368	28,99069056	37,167552
59	2	28	2,789166667	28,02554667	32,7898896	42,03832
60	3	1	2,2192	22,2985216	26,08927027	33,4477824
61	3	2	2,0724	20,8234752	24,36346598	31,2352128
62	3	3	2,3976	24,0910848	28,18656922	36,1366272
63	3	4	2,298	23,090304	27,01565568	34,635456
64	3	5	2,4916	25,0355968	29,29164826	37,5533952
65	3	6	2,4808	24,9270784	29,16468173	37,3906176
66	3	7	2,8892	29,0306816	33,96589747	43,5460224
67	3	8	2,6852	26,9808896	31,56764083	40,4713344
68	3	9	2,9996	30,1399808	35,26377754	45,2099712
69	3	10	2,9536	29,6777728	34,72299418	44,5166592
70	3	11	2,8172	28,3072256	33,11945395	42,4608384
71	3	12	2,3576	23,6891648	27,71632282	35,5337472
72	3	13	3,1008	31,1568384	36,45350093	46,7352576

73	3	14	3,0804	30,9518592	36,21367526	46,4277888
74	3	15	2,826	28,395648	33,22290816	42,593472
75	3	16	3,0956	31,1045888	36,3923689	46,6568832
76	3	17	3,0068	30,2123264	35,34842189	45,3184896
77	3	18	2,7832	27,9655936	32,71974451	41,9483904
78	3	19	2,858	28,717184	33,59910528	43,075776
79	3	20	2,836666667	28,50282667	33,3483072	42,75424
80	3	21	3,408	34,243584	40,06499328	51,365376
81	3	22	3,204	32,193792	37,66673664	48,290688
82	3	23	3,5868	36,0401664	42,16699469	54,0602496
83	3	24	3,622	36,393856	42,58081152	54,590784
84	3	25	3,5804	35,9758592	42,09175526	53,9637888
85	3	26	3,4736	34,9027328	40,83619738	52,3540992
86	3	27	3,428	34,444544	40,30011648	51,666816
87	3	28	3,6856	37,0329088	43,3285033	55,5493632
88	3	29	3,4048	34,2114304	40,02737357	51,3171456
89	3	30	4,11	41,29728	48,3178176	61,94592
90	3	31	4,07	40,89536	47,8475712	61,34304
91	4	1	3,4048	34,2114304	40,02737357	51,3171456
92	4	2	3,428	34,444544	40,30011648	51,666816
93	4	3	3,7616	37,7965568	44,22197146	56,6948352
94	4	4	3,856	38,745088	45,33175296	58,117632
95	4	5	4,046	40,654208	47,56542336	60,981312
96	4	6	4,1184	41,3816832	48,41656934	62,0725248
97	4	7	3,4132	34,2958336	40,12612531	51,4437504
98	4	8	3,1664	31,8159872	37,22470502	47,7239808
99	4	9	3,4544	34,7098112	40,6104791	52,0647168
100	4	10	3,4836	35,0032128	40,95375898	52,5048192
101	4	11	3,186	32,012928	37,45512576	48,019392
102	4	12	3,6952	37,1293696	43,44136243	55,6940544
103	4	13	4,1784	41,9845632	49,12193894	62,9768448
104	4	14	3,7888	38,0698624	44,54173901	57,1047936
105	4	15	4,3196	43,4033408	50,78190874	65,1050112
106	4	16	3,7176	37,3544448	43,70470042	56,0316672
107	4	17	4,4764	44,9788672	52,62527462	67,4683008
108	4	18	4,6036	46,2569728	54,12065818	69,3854592
109	4	19	4,3024	43,2305152	50,57970278	64,8457728
110	4	20	4,338	43,588224	50,99822208	65,382336
111	4	21	3,7876	38,0578048	44,52763162	57,0867072
112	4	22	4,5568	45,7867264	53,57046989	68,6800896
113	4	23	4,52	45,41696	53,1378432	68,12544
114	4	24	4,9084	49,3196032	57,70393574	73,9794048
115	4	25	4,8708	48,9417984	57,26190413	73,4126976

116	4	26	5,474	55,002752	64,35321984	82,504128
117	4	27	5,518	55,444864	64,87049088	83,167296
118	4	28	5,2308	52,5590784	61,49412173	78,8386176
119	4	29	4,8764	48,9980672	57,32773862	73,4971008
120	4	30	5,4244	54,5043712	63,7701143	81,7565568
121	5	1	5,7904	58,1819392	68,07286886	87,2729088
122	5	2	5,5064	55,3283072	64,73411942	82,9924608
123	5	3	5,2376	52,6274048	61,57406362	78,9411072
124	5	4	5,466	54,922368	64,25917056	82,383552
125	5	5	5,65	56,7712	66,422304	85,1568
126	5	6	5,4652	54,9143296	64,24976563	82,3714944
127	5	7	5,5508	55,7744384	65,25609293	83,6616576
128	5	8	4,8196	48,4273408	56,65998874	72,6410112
129	5	9	5,6096	56,3652608	65,94735514	84,5478912
130	5	10	5,7116	57,3901568	67,14648346	86,0852352
131	5	11	5,8484	58,7647232	68,75472614	88,1470848
132	5	12	4,9528	49,7657344	58,22590925	74,6486016
133	5	13	5,4556	54,8178688	64,1369065	82,2268032
134	5	14	5,6756	57,0284288	66,7232617	85,5426432
135	5	15	5,5024	55,2881152	64,68709478	82,9321728
136	5	16	5,8632	58,9134336	68,92871731	88,3701504
137	5	17	6,272	63,021056	73,73463552	94,531584
138	5	18	5,514	55,404672	64,82346624	83,107008
139	5	19	6,1864	62,1609472	72,72830822	93,2414208
140	5	20	5,4312	54,5726976	63,85005619	81,8590464
141	5	21	5,7848	58,1256704	68,00703437	87,1885056
142	5	22	5,9384	59,6690432	69,81278054	89,5035648
143	5	23	6,2624	62,9245952	73,62177638	94,3868928
144	5	24	6,264	62,940672	73,64058624	94,411008
145	5	25	6,1804	62,1006592	72,65777126	93,1509888
146	5	26	5,2912	53,1659776	62,20419379	79,7489664
147	5	27	5,9172	59,4560256	69,56354995	89,1840384
148	5	28	5,5116	55,3805568	64,79525146	83,0708352
149	5	29	5,6024	56,2929152	65,86271078	84,4393728
150	5	30	5,8864	59,1465472	69,20146022	88,7198208
151	5	31	5,852	58,800896	68,79704832	88,201344
152	6	1	5,7052	57,3258496	67,07124403	85,9887744
153	6	2	5,5916	56,1843968	65,73574426	84,2765952
154	6	3	6,004	60,328192	70,58398464	90,492288
155	6	4	6,0044	60,3322112	70,5886871	90,4983168
156	6	5	6,4316	64,6247168	75,61091866	96,9370752
157	6	6	6,0884	61,1762432	71,57620454	91,7643648
158	6	7	6,070833333	60,99973333	71,369688	91,4996

159	6	8	6,3448	63,7525504	74,59048397	95,6288256
160	6	9	6,2464	62,7638272	73,43367782	94,1457408
161	6	10	6,1848	62,1448704	72,70949837	93,2173056
162	6	11	6,1564	61,8595072	72,37562342	92,7892608
163	6	12	5,9104	59,3876992	69,48360806	89,0815488
164	6	13	6,0524	60,8145152	71,15298278	91,2217728
165	6	14	5,944	59,725312	69,87861504	89,587968
166	6	15	6,2556	62,8562688	73,5418345	94,2844032
167	6	16	5,9672	59,9584256	70,15135795	89,9376384
168	6	17	5,5316	55,5815168	65,03037466	83,3722752
169	6	18	5,724	57,514752	67,29225984	86,272128
170	6	19	6,33	63,60384	74,4164928	95,40576
171	6	20	5,5648	55,9151104	65,42067917	83,8726656
172	6	21	5,3428	53,6844544	62,81081165	80,5266816
173	6	22	5,9596	59,8820608	70,06201114	89,8230912
174	6	23	6,2132	62,4302336	73,04337331	93,6453504
175	6	24	6,2128	62,4262144	73,03867085	93,6393216
176	6	25	5,5832	56,0999936	65,63699251	84,1499904
177	6	26	5,54	55,66592	65,1291264	83,49888
178	6	27	5,7596	57,8724608	67,71077914	86,8086912
179	6	28	5,77	57,97696	67,8330432	86,96544
180	6	29	5,4144	54,4038912	63,6525527	81,6058368
181	6	30	5,6604	56,8756992	66,54456806	85,3135488
182	7	1	5,7816	58,0935168	67,96941466	87,1402752
183	7	2	5,9552	59,8378496	70,01028403	89,7567744
184	7	3	6,4812	65,1230976	76,19402419	97,6846464
185	7	4	5,9864	60,1513472	70,37707622	90,2270208
186	7	5	6,2188	62,4865024	73,10920781	93,7297536
187	7	6	6,4088	64,3956224	75,34287821	96,5934336
188	7	7	6,1864	62,1609472	72,72830822	93,2414208
189	7	8	5,7888	58,1658624	68,05405901	87,2487936
190	7	9	5,99	60,18752	70,4193984	90,28128
191	7	10	6,2216	62,5146368	73,14212506	93,7719552
192	7	11	5,9256	59,5404288	69,6623017	89,3106432
193	7	12	5,9732	60,0187136	70,22189491	90,0280704
194	7	13	5,9024	59,3073152	69,38955878	88,9609728
195	7	14	6,1904	62,2011392	72,77533286	93,3017088
196	7	15	5,8824	59,1063552	69,15443558	88,6595328
197	7	16	6,208	62,377984	72,98224128	93,566976
198	7	17	5,808	58,358784	68,27977728	87,538176
199	7	18	5,4884	55,1474432	64,52250854	82,7211648
200	7	19	6,5764	66,0796672	77,31321062	99,1195008
201	7	20	5,9952	60,2397696	70,48053043	90,3596544

202	7	21	6,3144	63,4470912	74,2330967	95,1706368
203	7	22	6,4904	65,2155392	76,30218086	97,8233088
204	7	23	6,1248	61,5419904	72,00412877	92,3129856
205	7	24	5,8888	59,1706624	69,22967501	88,7559936
206	7	25	5,8288	58,5677824	68,52430541	87,8516736
207	7	26	6,1236	61,5299328	71,99002138	92,2948992
208	7	27	6,134	61,634432	72,11228544	92,451648
209	7	28	5,8724	59,0058752	69,03687398	88,5088128
210	7	29	5,6912	57,1851776	66,90665779	85,7777664
211	7	30	5,5976	56,2446848	65,80628122	84,3670272
212	7	31	5,9156	59,4399488	69,5447401	89,1599232
213	8	1	6,0484	60,7743232	71,10595814	91,1614848
214	8	2	6,156	61,855488	72,37092096	92,783232
215	8	3	6,13	61,59424	72,0652608	92,39136
216	8	4	5,7288	57,5629824	67,34868941	86,3444736
217	8	5	6,0976	61,2686848	71,68436122	91,9030272
218	8	6	6,0624	60,9149952	71,27054438	91,3724928
219	8	7	5,7936	58,2140928	68,11048858	87,3211392
220	8	8	5,7712	57,9890176	67,84715059	86,9835264
221	8	9	5,8812	59,0942976	69,14032819	88,6414464
222	8	10	5,7496	57,7719808	67,59321754	86,6579712
223	8	11	6,0512	60,8024576	71,13887539	91,2036864
224	8	12	5,442	54,681216	63,97702272	82,021824
225	8	13	5,3968	54,2270464	63,44564429	81,3405696
226	8	14	5,0088	50,3284224	58,88425421	75,4926336
227	8	15	5,366	53,917568	63,08355456	80,876352
228	8	16	5,690416667	57,17730667	66,8974488	85,76596
229	8	17	5,7708	57,9849984	67,84244813	86,9774976
230	8	18	5,5436	55,7020928	65,17144858	83,5531392
231	8	19	5,5144	55,4086912	64,8281687	83,1130368
232	8	20	5,2584	52,8364032	61,81859174	79,2546048
233	8	21	5,2792	53,0454016	62,06311987	79,5681024
234	8	22	4,964	49,878272	58,35757824	74,817408
235	8	23	5,1136	51,3814528	60,11629978	77,0721792
236	8	24	5,2488	52,7399424	61,70573261	79,1099136
237	8	25	5,0444	50,6861312	59,3027735	76,0291968
238	8	26	4,9136	49,3718528	57,76506778	74,0577792
239	8	27	4,4384	44,5970432	52,17854054	66,8955648
240	8	28	4,6212	46,4338176	54,32756659	69,6507264
241	8	29	4,3872	44,0825856	51,57662515	66,1238784
242	8	30	4,5856	46,0761088	53,9090473	69,1141632
243	8	31	4,1596	41,7956608	48,90092314	62,6934912
244	9	1	4,3044	43,2506112	50,6032151	64,8759168

245	9	2	4,504	45,256192	52,94974464	67,884288
246	9	3	4,4268	44,4804864	52,04216909	66,7207296
247	9	4	4,5312	45,5294976	53,26951219	68,2942464
248	9	5	4,4608	44,8221184	52,44187853	67,2331776
249	9	6	4,09	41,09632	48,0826944	61,64448
250	9	7	4,05	40,6944	47,612448	61,0416
251	9	8	4,0204	40,3969792	47,26446566	60,5954688
252	9	9	4,0148	40,3407104	47,19863117	60,5110656
253	9	10	4,1636	41,8358528	48,94794778	62,7537792
254	9	11	4,126	41,458048	48,50591616	62,187072
255	9	12	4,4884	45,0994432	52,76634854	67,6491648
256	9	13	4,2768	42,9732864	50,27874509	64,4599296
257	9	14	4,1724	41,9242752	49,05140198	62,8864128
258	9	15	4,2732	42,9371136	50,23642291	64,4056704
259	9	16	3,8536	38,7209728	45,30353818	58,0814592
260	9	17	4,0256	40,4492288	47,3255977	60,6738432
261	9	18	4,1496	41,6951808	48,78336154	62,5427712
262	9	19	3,7592	37,7724416	44,19375667	56,6586624
263	9	20	3,8232	38,4155136	44,94615091	57,6232704
264	9	21	3,3504	33,6648192	39,38783846	50,4972288
265	9	22	3,528	35,449344	41,47573248	53,174016
266	9	23	3,0608	30,7549184	35,98325453	46,1323776
267	9	24	3,168	31,832064	37,24351488	47,748096
268	9	25	2,8984	29,1231232	34,07405414	43,6846848
269	9	26	3,1152	31,3015296	36,62278963	46,9522944
270	9	27	3,1532	31,6833536	37,06952371	47,5250304
271	9	28	3,07	30,84736	36,0914112	46,27104
272	9	29	3,1588	31,7396224	37,13535821	47,6094336
273	9	30	2,794	28,074112	32,84671104	42,111168
274	10	1	3,2968	33,1262464	38,75770829	49,6893696
275	10	2	3,2212	32,3666176	37,86894259	48,5499264
276	10	3	3,198	32,133504	37,59619968	48,200256
277	10	4	3,062	30,766976	35,99736192	46,150464
278	10	5	2,8112	28,2469376	33,04891699	42,3704064
279	10	6	2,8328	28,4639744	33,30285005	42,6959616
280	10	7	2,894	29,078912	34,02232704	43,618368
281	10	8	3,0676	30,8232448	36,06319642	46,2348672
282	10	9	2,6	26,1248	30,566016	39,1872
283	10	10	2,5192	25,3129216	29,61611827	37,9693824
284	10	11	2,4416	24,5331968	28,70384026	36,7997952
285	10	12	2,278	22,889344	26,78053248	34,334016
286	10	13	2,4576	24,6939648	28,89193882	37,0409472
287	10	14	2,4344	24,4608512	28,6191959	36,6912768

288	10	15	2,3304	23,4158592	27,39655526	35,1237888
289	10	16	2,3392	23,5042816	27,50000947	35,2564224
290	10	17	2,324	23,351552	27,32131584	35,027328
291	10	18	1,93	19,39264	22,6893888	29,08896
292	10	19	1,8196	18,2833408	21,39150874	27,4250112
293	10	20	1,9876	19,9714048	23,36654362	29,9571072
294	10	21	1,9368	19,4609664	22,76933069	29,1914496
295	10	22	1,944	19,533312	22,85397504	29,299968
296	10	23	1,9852	19,9472896	23,33832883	29,9209344
297	10	24	1,8596	18,6852608	21,86175514	28,0278912
298	10	25	1,758	17,664384	20,66732928	26,496576
299	10	26	1,79875	18,07384	21,1463928	27,11076
300	10	27	1,5688	15,7633024	18,44306381	23,6449536
301	10	28	1,7388	17,4714624	20,44161101	26,2071936
302	10	29	1,8252	18,3396096	21,45734323	27,5094144
303	10	30	1,666	16,739968	19,58576256	25,109952
304	10	31	1,6712	16,7922176	19,64689459	25,1883264
305	11	1	1,72	17,28256	20,2205952	25,92384
306	11	2	1,5012	15,0840576	17,64834739	22,6260864
307	11	3	1,3964	14,0310272	16,41630182	21,0465408
308	11	4	1,2468	12,5278464	14,65758029	18,7917696
309	11	5	1,4104	14,1716992	16,58088806	21,2575488
310	11	6	1,6868	16,9489664	19,83029069	25,4234496
311	11	7	1,2844	12,9056512	15,0996119	19,3584768
312	11	8	1,3824	13,8903552	16,25171558	20,8355328
313	11	9	1,282	12,881536	15,07139712	19,322304
314	11	10	1,2664	12,7247872	14,88800102	19,0871808
315	11	11	1,2256	12,3148288	14,4083497	18,4722432
316	11	12	1,1712	11,7682176	13,76881459	17,6523264
317	11	13	1,2548	12,6082304	14,75162957	18,9123456
318	11	14	1,0848	10,9000704	12,75308237	16,3501056
319	11	15	1,0216	10,2650368	12,01009306	15,3975552
320	11	16	0,9644	9,6902912	11,3376407	14,5354368
321	11	17	1,066	10,711168	12,53206656	16,066752
322	11	18	1,046	10,510208	12,29694336	15,765312
323	11	19	0,9788	9,8349824	11,50692941	14,7524736
324	11	20	0,9984	10,0319232	11,73735014	15,0478848
325	11	21	0,892	8,962816	10,48649472	13,444224
326	11	22	0,9524	9,5697152	11,19656678	14,3545728
327	11	23	1,0672	10,7232256	12,54617395	16,0848384
328	11	24	0,998	10,027904	11,73264768	15,041856
329	11	25	0,818	8,219264	9,61653888	12,328896
330	11	26	0,8952	8,9949696	10,52411443	13,4924544

331	11	27	0,8448	8,4885504	9,931603968	12,7328256
332	11	28	0,9688	9,7345024	11,38936781	14,6017536
333	11	29	0,7464	7,4998272	8,774797824	11,2497408
334	11	30	0,7908	7,9459584	9,296771328	11,9189376
335	12	1	0,884	8,882432	10,39244544	13,323648
336	12	2	0,9152	9,1959296	10,75923763	13,7938944
337	12	3	0,8496	8,5367808	9,988033536	12,8051712
338	12	4	0,7972	8,0102656	9,372010752	12,0153984
339	12	5	0,85	8,5408	9,992736	12,8112
340	12	6	0,7272	7,3069056	8,549079552	10,9603584
341	12	7	0,9352	9,3968896	10,99436083	14,0953344
342	12	8	0,8224	8,2634752	9,668265984	12,3952128
343	12	9	0,9336	9,3808128	10,97555098	14,0712192
344	12	10	0,8048	8,0866304	9,461357568	12,1299456
345	12	11	0,9216	9,2602368	10,83447706	13,8903552
346	12	12	0,814	8,179072	9,56951424	12,268608
347	12	13	0,7	7,0336	8,229312	10,5504
348	12	14	0,8184	8,2232832	9,621241344	12,3349248
349	12	15	0,7552	7,5882496	8,878252032	11,3823744
350	12	16	0,888	8,922624	10,43947008	13,383936
351	12	17	0,8608	8,6493184	10,11970253	12,9739776
352	12	18	0,8772	8,8141056	10,31250355	13,2211584
353	12	19	0,8616	8,6573568	10,12910746	12,9860352
354	12	20	0,81	8,13888	9,5224896	12,20832
355	12	21	0,748	7,515904	8,79360768	11,273856
356	12	22	0,71	7,13408	8,3468736	10,70112
357	12	23	0,8808	8,8502784	10,35482573	13,2754176
358	12	24	0,8348	8,3880704	9,814042368	12,5821056
359	12	25	0,7684	7,7208832	9,033433344	11,5813248
360	12	26	0,822	8,259456	9,66356352	12,389184
361	12	27	0,6416	6,4467968	7,542752256	9,6701952
362	12	28	0,7488	7,5239424	8,803012608	11,2859136
363	12	29	0,8012	8,0504576	9,419035392	12,0756864
364	12	30	0,768	7,716864	9,02873088	11,575296
365	12	31	0,8308	8,3478784	9,767017728	12,5218176

Потребление электроэнергии системой трекера

Среднесуточное количество солнечных часов	Солнечные часы за месяц	Потребление приводом слежения за солнцем за месяц
2,6	7,8	2,808
4,2	25,2	9,072
5,5	49,5	17,82
7,8	93,6	33,696
10,5	168	60,48
11,8	224,2	80,712
12,5	300	108
11,3	259,9	93,564
9,5	190	68,4
7,4	133,2	47,952
4,7	47	16,92
3,4	23,8	8,568