

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 Обґрунтування раціонального режиму роботи тракерной  
установки

Виконавець:

студент II курсу, групи 141м-16-3

(підпис)

Салтиклов М.О.

(прізвище та ініціали)

Керівники/консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
<b>Проекту</b>			
<b>розділів:</b>			
Сучасний стан розвитку тракерних систем	Плаксін С.В.		
Способи керування тракерними системами	Плаксін С.В.		
Розрахунок тракерних систем	Плаксін С.В.		
Техніко-економічне обґрунтування	Тимошенко Л.В.		

<b>Рецензент</b>			
------------------	--	--	--

<b>Нормоконтроль</b>	Ципленков Д.В.		
----------------------	----------------	--	--

**Дніпропетровськ  
2018  
Міністерство освіти і науки України  
Державний вищий навчальний заклад  
"Національний гірничий університет"**

---

---

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри

**Відновлюваних джерел енергії**  
(повна назва)

---

\_\_\_\_\_ Шкрабець Ф.П.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 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 Салтиков М.О.  
(група) (прізвище та ініціали)

Тема магістерської дисертації Обґрунтування раціонального режиму  
роботи тракерної установки

---

#### **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** Отримання електричної енергії шляхом перетворення  
сонячного випромінювання

---

**Предмет досліджень** Вибір раціонального режиму роботи слідкуючого пристрою

---

**Мета НДР** Виявити найбільш раціональний та ефективний режим роботи  
трекерної системи

---

**Вихідні дані для проведення роботи** Рухома двоосьова система кріплення сонячних  
панелей з автоматичним керуванням;  
Атлас інсоляції з сайту НАСА

---

#### **3 ОЧІКУВАНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ**

**Наукова новизна** полягає у висвітлюванні ефективності різних режимів курування  
трекерними системами

---

---

**Практична цінність** полягає в тому, що впровадження запропонованого режиму керування трекерною системою дозволить звести до мінімуму витрати енергії для Роботи виконавчих пристроїв

#### 4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ:

---

---

---

#### 5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок-кінець)
Огляд наукових досліджень. Розробка плану роботи.	05.09.17 – 02.10.17
Опрацювання розглянутої інформації. Виконання першого розділу.	03.10.17 – 23.10.17
Порівняння переваг та недоліків різних типів керування трекерними системами. Вибір найбільш ефективної систем слідування за Сонцем.	24.10.17 – 11.12.17
Розрахунок варіантів керування обраної трекерної системи. Техніко-економічний розрахунок. Оформлення пояснювальної записки.	12.12.17 – 18.01.18

#### 6 РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

**Економічний ефект** полягає у можливості знизити кількість споживаної трекером енергії, тим самим збільшити прибуток від проджу електроенергії за «зеленим» тарифом

**Соціальний ефект** полягає у збільшенні долі відновлюваної електроенергії на ринку електроенергії України, що також впливає на кількість шкідливих викидів об'єктами традиційної енергетики

#### 7 ДОДАТКОВІ ВИМОГИ

---

---

---

Завдання видав

\_\_\_\_\_ (підпис)

Плаксіні С.В.

\_\_\_\_\_ (прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_ (підпис)

Салтиков М.О.

\_\_\_\_\_ (прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 04.09.2017

Термін подання дисертації до ЕК 22.01.2018

## РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 112 стр., 10 рис., 11 табл., 41 источник.

Объект исследования: получение электроэнергии путем преобразования солнечного излучения.

Цель диссертации: определить наиболее рациональный и эффективный режим работы трекерной системы.

Во введении отмечается влияние суточного и годовичного движения Солнца по небесной сфере на количество падающей энергии на горизонтальную поверхность.

В первом разделе приведены известные на данный момент результаты исследований и экспериментов по работе разных систем слежения за Солнцем.

Во втором разделе рассмотрены применяемые способы позиционирования следящей площадки перпендикулярно солнечным лучам. Определены преимущества и недостатки каждого рассматриваемого способа.

В третьем разделе произведен расчет и сравнение работы трекерных систем с разными алгоритмами управления.

В разделе технико-экономического обоснования оценен экономический эффект от применения того или иного алгоритма.

ТРЕКЕР, ТРЕКЕРНАЯ СИСТЕМА, СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ, ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ, АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ТРЕКЕРОМ, ТИПЫ ТРЕКЕРОВ

# РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 112 ст., 10 рис., 11 табл., 41 джерело.

Об'єкт дослідження: отримання електроенергії шляхом перетворення сонячного випромінювання.

Мета дисертації: визначити найбільш раціональний і ефективний режим роботи трекерної системи.

У вступі зазначається вплив добового і річного руху Сонця по небесній сфері на кількість падаючої енергії на горизонтальну поверхню.

У першому розділі наведено відомі на даний момент результати досліджень і експериментів щодо роботи різних систем стеження за Сонцем.

У другому розділі розглянуті способи, що застосовуються для позиціонування слідкуючого майданчика перпендикулярно сонячним променям. Визначено переваги та недоліки кожного розглянутого способу.

У третьому розділі проведено розрахунок і порівняння роботи трекерних систем з різними алгоритмами управління.

У розділі техніко-економічного обґрунтування оцінений економічний ефект від застосування того чи іншого алгоритму.

ТРЕКЕР, ТРЕКЕРНА СИСТЕМА, СИСТЕМА СТЕЖЕННЯ ЗА СОНЦЕМ, ПОЗИЦІОНУВАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ, АЛГОРИТМ УПРАВЛІННЯ ТРЕКЕРОМ, ТИПИ ТРЕКЕРІВ

## **ABSTRACT**

Explanatory note from 112 p., 10 fig., 11 tab., 41 sources.

The major objective of this study is to obtain energy by conversion of solar radiation.

The aim of the present paper is to determine the most rational and efficient mode of operation of the tracking system.

The introduction notes the influence of daily and annual motion of the Sun through the celestial sphere on the amount of incident energy on a horizontal surface.

The first section contains the currently known results of researches and experiments on various tracking systems for the Sun.

In the second section, the methods of positioning the tracking platform perpendicular to the rays of the sun are con

The third section calculates and compares the tracker systems work with different control algorithms.

In the section of the feasibility study, the economic effect of the application of an algorithm is estimated.

**TRACKER, TRACKER SYSTEM, SUN TRACKING SYSTEM, POSITIONING OF SOLAR PANELS, TRACKER MANAGEMENT ALGORITHM, TYPES OF TRACKERS**

## Содержание

Список сокращений .....	8
Введение.....	9
Раздел 1. Современное состояние развития трекерных систем .....	11
1.1 Некоторые астрономические данные .....	11
1.2 Излучение на наклонных и отслеживающих поверхностях .....	12
1.3 Увеличение энергии в системах слежения .....	16
1.4 Методы отслеживания Солнца .....	18
1.4.1 Пассивные трекеры .....	18
1.4.2 Активные трекеры .....	19
1.4.3 Микропроцессор и электрооптический сенсор .....	20
1.4.4 Управление по дате и времени .....	26
1.4.5 Сочетание датчика освещенности и даты / времени .....	27
Вывод по разделу 1 .....	29
Раздел 2. Способы управления трекерными системами .....	31
2.1 Пассивные трекерные системы .....	31
2.2 Активные трекерные системы .....	33
Вывод по разделу 2 .....	41
Раздел 3. Расчет трекерных систем .....	42
Раздел 4. Технико-экономическое обоснование .....	60
Введение.....	60
Расчет экономического эффекта от применения трекерной установки с разной точностью позиционирования.....	61
Вывод.....	62
Выводы .....	64
Список использованных источников .....	65
Приложения .....	69

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ПЛК – Программируемый логический контроллер;

КПД – коэффициент полезного действия;

НАСА – (англ. National Aeronautics and Space Administration, сокр. NASA) Национальное управление по воздухоплаванию и исследованию космического пространства;

ФЭМ – фотоэлектрический модуль;

ПК – персональный компьютер;

RTC – (англ. Real Time Clock) Часы реального времени;

GPS – (англ. Global Positioning System) система глобального позиционирования.



## ВВЕДЕНИЕ

Поиск достаточного количества вырабатываемой «чистой» энергии на будущее – одна из самых сложных проблем общества. Альтернативные источники возобновляемой энергии, такие как солнечная энергия, могут быть использованы для возрастающей потребности человека в энергии. Покрытие 0,16% поверхности Земли с 10% эффективными системами солнечного преобразования обеспечило бы 20 ТВт мощности, что почти в два раза превышает мировой уровень потребления ископаемой энергии. Прямое преобразование солнечного света в электричество осуществляется через солнечные фотоэлектрические элементы. Современная эра солнечных фотоэлектрических элементов началась в 1954 году, когда Д. Чапин, К. Фуллер и Г. Пирсон в Bell Labs продемонстрировали солнечные элементы на основе р-п переходов в одиночных кристаллах кремния с эффективностью 5-6%. Пиковая мощность (Вт) — это мощность, создаваемая солнечным модулем, освещенным в стандартных условиях: интенсивность солнечной энергии 1000 Вт/м<sup>2</sup>, окружающая температура 25°С и спектр, близкий к солнечному свету, проходящему через атмосферу, когда солнце находится на 42° возвышение от горизонта (когда путь через атмосферу в 1,5 раза больше, чем тогда, когда Солнце находится в зените). Учитывая изменение освещенности в течении дня и суток, средняя электрическая мощность, производимая солнечным элементом в течение года, составляет около 20% от его значения  $W_p$  [1].

Часть падающей энергии уменьшается за счет рассеяния или поглощения молекулами воздуха. Излучение, которое не отражается и не рассеивается, а достигает поверхности напрямую, называется прямым излучением. Рассеянное излучение, достигающее поверхности Земли, называется диффузным излучением. Альbedo – это доля излучения, достигающего земли, которая отражается обратно в атмосферу, часть из

которой поглощается приемником.

Суточное и сезонное движение Земли влияет на интенсивность поступающего излучения на солнечные системы. Стационарно установленные солнечные панели позволяют собрать лишь небольшую долю от всей поступающей энергии. Солнечные трекеры перемещают солнечные системы, сохраняя наилучшую ориентацию относительно Солнца для максимизации производства электроэнергии. Хотя потребление энергии солнечным трекером не является существенным, его использование может увеличить количество полученной электрической энергии, преобразованной из солнечной на 10-100% в разные периоды времени и в разных географических условиях.

Целью данной работы является определение наиболее рационального и энергетически эффективного режима работы следящего устройства для обеспечения максимально возможного производства энергии при минимальном собственном потреблении.

## РАЗДЕЛ 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАЗВИТИЯ ТРЕКЕРНЫХ СИСТЕМ

### 1.1 Некоторые астрономические данные

Земля вращается вокруг Солнца по эллиптической орбите, плоскость этой орбиты называется эклипстикой. Время, затраченное на то, чтобы Земля прошла полный путь по орбите, является годом. Относительное положение Солнца и Земли удобно представить с помощью небесной сферы вокруг Земли. Экваториальная плоскость пересекает небесную сферу в небесном экваторе и полярную ось в небесных полюсах. Затем движение Земли вокруг Солнца изображается видимым движением Солнца в эллиптическом состоянии, которое наклонено на  $23.45^\circ$  относительно небесного экватора. Угол между линией, соединяющей центры Солнца и Земли и ее проекцию на экваториальную плоскость, называется углом склонения Солнца ( $\delta$ ). Этот угол бывает равен нулю весной (20/21 марта) и осенью (22/23 сентября) в дни равноденствий.

Сама Земля вращается со скоростью одного оборота в день вокруг полярной оси. Ежедневный поворот Земли изображается вращением небесной сферы вокруг полярной оси, а мгновенное положение Солнца описывается часовым углом  $\omega$ , углом между проходящим через Солнце меридианом и меридианом участка. Угол часа равен нулю в истинный полдень и увеличивается к востоку. Для наблюдателей на Земной поверхности, в месте с географической широтой  $\phi$  удобная система координат определяется вертикальной линией на участке, которая пересекает небесную сферу в двух точках, зените и надире и подставляет угол  $\phi$  с полярным (рис.1.1). Большой круг, перпендикулярный вертикальной оси, является горизонтом [2].

Широта ( $\phi$ ) точки или местоположения представляет собой угол,

создаваемый радиальной линией, соединяющей местоположение с центром Земли с проекцией линии на экваториальной плоскости. Ось вращения Земли пересекает земную поверхность на  $90^\circ$  широтах (Северный полюс) и  $-90^\circ$  широтах (Южный полюс). Любое местоположение на поверхности земли может быть определено путем пересечения угла долготы и угла широты.

Угол возвышения Солнца ( $\alpha$ ) определяется как вертикальный угол между проекцией солнечных лучей на горизонтальную плоскость и направлением солнечных лучей, проходящих через точку, как показано на рис 1.1. В качестве альтернативы можно описать высоту солнца в терминах солнечного зенитного угла ( $\theta_z$ ), который является вертикальным углом между лучами солнца и линией, перпендикулярной горизонтальной плоскости через точку ( $\theta_z = 90 - \alpha$ ). Угол солнечного азимута ( $\gamma_s$ ) представляет собой горизонтальный угол, измеренный с юга (в северном полушарии) до горизонтальной проекции солнечных лучей [3].

Были проведены исследования для определения отношений между этими параметрами и расчета положения Солнца. Walraven вычислил параметр для определения положения солнца программой FORTRAN. Вычисленными параметрами были: время, длительность солнца, склонение, местный азимут, возвышение, восход и закат в реальном времени. Было упомянуто, что рассчитанное положение Солнца было с точностью 0,018 [4].

## **1.2 Излучение на наклонных и отслеживающих поверхностях**

Данные солнечной радиации обычно даются в виде глобального излучения на горизонтальной поверхности, а солнечные панели обычно располагаются под углом к горизонтальной плоскости; поэтому необходимо соответствующим образом рассчитывать энергию, поступающую в

фотоэлектрическую систему. Расчет происходит в три этапа. На первом этапе используются данные для определения диффузных и пучковых компонентов глобального облучения на горизонтальной плоскости. Это осуществляется с использованием внеземного дневного облучения,  $B_0$  в качестве эталона и расчета отношения  $K_T = G / B_0$ , известного как индекс ясности, где  $G$  — ежедневное глобальное облучение на горизонтальной плоскости (обычно среднемесячное) и  $K_T$  описывает среднее затухание солнечной радиации атмосферой на данном участке в течение данного месяца.



Рисунок 1.1 - Схематическое изображение солнечных углов [2].

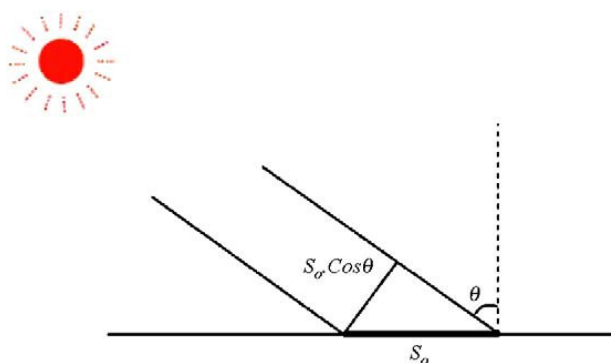


Рисунок 1.2 — Угол падения солнечного излучения  $\theta$  [5].

На втором этапе диффузное облучение получается с использованием эмпирического правила, согласно которому диффузная фракция  $D/G$  глобального излучения является универсальной функцией индекса ясности  $K_T$  ( $D$  — среднемесячное среднесуточное диффузное облучение на

горизонтальной плоскости в Вт/м<sup>2</sup>).

На третьем этапе соответствующая угловая зависимость каждого компонента используется для определения диффузного и лучевого облучения на наклонной поверхности. С учетом отражательной способности окружающей области можно также определить альбедо. Суммарное ежедневное облучение на наклонной поверхности затем получается путем добавления трех компонентов [2].

Солнце движется по небу в течение дня. В случае неподвижных солнечных коллекторов проекция площади коллектора на плоскость, перпендикулярная направлению излучения, задается функцией косинуса угла падения (рис.1.2).

Чем больше угол склонения  $\theta$ , тем ниже выдаваемая мощность. Теоретический расчет вырабатываемой энергии при использовании следящих коллекторов осуществляется с предположением, что максимальная интенсивность излучения  $I=1100\text{Вт}\cdot\text{м}^2$  падает на площадь, ориентированную перпендикулярно направлению излучения. Принимая длину дня  $t=12\text{ч.}=43200\text{с.}$ , мощность следящей системы, которая всегда оптимально ориентирована на солнце, сравнивается с мощностью фиксированной системы, ориентированной перпендикулярно направлению излучения только в полдень. Площадь коллектора обозначается как  $S_0$ .

а) Для фиксированной системы площадь проекции на площади, сориентированной перпендикулярно направлению излучения, выражается как:  $S = S_0 \cdot \cos\theta$ , где  $\theta$  изменяется в интервале  $(-\pi/2, +\pi/2)$  в течение дня. Угловая скорость движения Солнца, пересекающего небо, равна

$$\omega = 2\pi / T = 7.27 \times 10^{-5} \text{ рад/с.};$$

дифференциал падающей энергии равен:

$$dW = IS dt.$$

Пренебрегая влиянием атмосферы, энергия на единицу площади рассчитывается на весь день:

$$W = \int_{-21.6}^{+21.6} I \cdot S_0 \cdot \cos \omega t dt = IS \left[ \frac{\sin \omega t}{\omega} \right]_{-21.6}^{+21.6} = \frac{2 \cdot I \cdot S}{\omega} =$$

$$= 3.03 \cdot 10^7 \text{ Вт} \cdot \text{с}/\text{м}^2 \text{ в сутки} = 8,41 \text{ кВт} \cdot \text{час}/\text{м}^2 \text{ в сутки.}$$

б) Для следящей системы, пренебрегая влиянием атмосферы, энергия на единицу площади в течение всего дня:

$$W = I \cdot S_0 \cdot t = 4,75 \cdot 10^7 \text{ Вт} \cdot \text{с} = 13,2 \text{ кВт} \cdot \text{час}/\text{м}^2 \text{ в сутки.}$$

Приведенные выше расчеты показывают, что следящая система вырабатывает на 57% больше энергии чем статическая. Это количество энергии может быть получено, например, на поверхности Луны. Солнечные лучи, достигающие земной поверхности, проходят через толстый слой атмосферы. При учете влияния атмосферы, инсоляция на поверхности Земли окажется меньше.

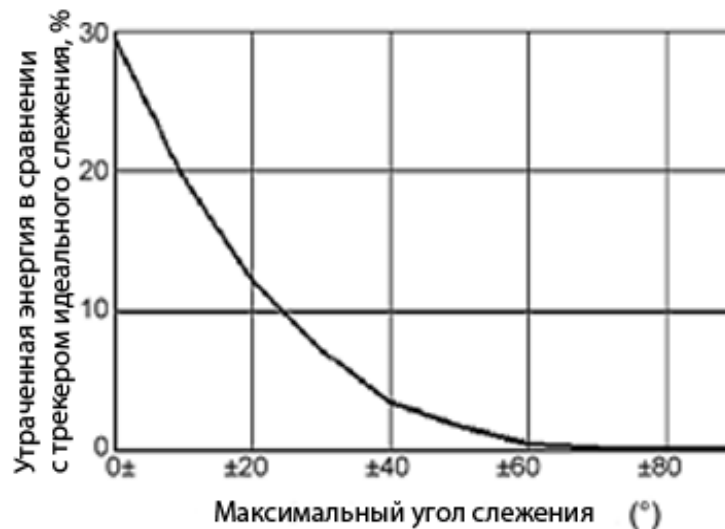


Рисунок 1.3 — Энергия, потерянная в зависимости от максимального угла отслеживания по сравнению с идеальным отслеживанием [5].

Кроме того, в расчетах можно рассмотреть длину дня более 12 часов. На рис 1.3 показана зависимость потерянной энергии в зависимости от

максимального угла отслеживания по сравнению с оптимальным углом. На рисунке видно, что при углах слежения не менее  $\pm 60^\circ$  существенное усиление энергии не получено [5].

### 1.3 Увеличение энергии в системах слежения

Слежение за солнцем может быть реализовано с использованием одноосевой и, для более высокой точности, двухосевой системами слежения. Для двухосевой системы слежения за солнцем необходимы две координаты позиционирования: полярное (экваториальное) слежение и азимутальное (возвышение).

Солнечный трекер – это устройство, которое поддерживает фотоэлектрические панели в оптимальном положении – перпендикулярно солнечным лучам в дневное время, и увеличивает количество собранной энергии. Первый трекер, представленный К. Финстером в 1962 году, был полностью механическим. Спустя год Сааведра представила механизм с автоматическим электронным управлением, который использовался для ориентации пиргелиометра Eppley [6].

Трекеры не должны указывать прямо на солнце, чтобы быть эффективными. Если солнечная панель отключена на  $10^\circ$ , выдаваемая мощность остается на уровне 98,5% от максимальной возможной при идеальном позиционировании. В очень облачных и туманных местах увеличение в годовом объеме от трекеров может быть ниже 20%. В общем случае, годовой прирост составляет от 30 до 40%. Коэффициент усиления в случайный день может варьироваться от почти нуля до почти 100% [7].

Т. Томсон проанализировал эффективность двухосевого единичного автономного плоского концентратора. Сравнение результатов моделирования и эксперимента показало, что использование простого трекинга с низкой потребляемой энергией для краткого ежедневного



движения увеличило выработку энергии за сезон на 10-20% по сравнению с коллектором, установленным под оптимальным углом [8].

Группа исследователей во главе с Джоном Аджи изучали рыночные тенденции и прикладное применение технологий слежения за Солнцем, связанные с ними затраты, требования к обслуживанию и повышение эффективности таких систем. Их исследования рассматривали гидравлические системы, управляемые программно, основанные на датчиках, такие как одноосевые, двухосевые, а также трекеры с полярной осью. Они пришли к выводу, что гидравлическая система слежения подходит для установок с малой мощностью. Они обнаружили, что характеристики системы отслеживания полярных осей были аналогичны характеристикам двухосевого типа, а его стоимость была равна стоимости одноосевой системы слежения [9].

Н. Хельва с группой исследователей сравнили стационарные и следящие фотоэлектрические системы для оценки энергопотребления систем слежения и влияния точности слежения на выработку энергии. Сравнимыми системами были: фиксированная система с углом наклона  $40^\circ$ , вертикально-осевая система слежения (с использованием времени, даты и параметров участка для управления), и двухосевой трекер (управляемый микропроцессором, принимающим команды с ПК). Использовались несколько датчиков числа оборотов и конечных выключателей. Кривые сравнения между различными системами слежения за солнцем показали, что увеличение годовой выработки энергии с помощью двухосевого трекера и одноосевого трекера вертикального слежения составляло 30 и 18% соответственно. Потребляемая мощность, обусловленная микропроцессорами, электрооборудованием, датчиками, электрическими переключателями и приводами составляла 50 Вт·ч/сут и 22 Вт·ч/сутки, при ошибке отслеживания  $\pm 0,56^\circ$  и  $\pm 10^\circ$  соответственно [10].

## **1.4 Методы отслеживания Солнца**

Наличие солнечного трекера не является необходимым для работы солнечных батарей, но с его помощью можно увеличить производительность установки. Несмотря на то, что солнечные трекеры могут увеличить энергетический прирост ФЭС, при их установке необходимо учитывать некоторые проблемы, такие как стоимость, надежность, потребление энергии, техническое обслуживание и производительность.

Системы отслеживания имеют все или некоторые из следующих характеристик [11]:

- Один или два движущих двигателя;
- Светочувствительное устройство;
- Автономное или вспомогательное энергоснабжение;
- Следование и перемещение в соответствии с календарем;
- Непрерывное или ступенчатое движение;
- Отслеживание круглый год или сезонное отслеживание.

Были рассмотрены несколько методов наблюдения за солнцем, которые позволяют удерживать солнечные батареи перпендикулярно солнечным лучам. Идеальный трекер позволил бы фотоэлементам точно указывать на Солнце, компенсируя оба изменения: азимутальное смещение Солнца (в течение дня), широтное смещение Солнца (во время сезонных изменений). Системы слежения за Солнцем обычно классифицируются по двум категориям: пассивные (механические) и активные (электрические) трекеры.

### **1.4.1 Пассивные трекеры**

Пассивные солнечные трекеры основаны на термическом расширении рабочего тела (обычно фреона) или сплавах с памятью формы. Обычно этот

вид трекера состоит из пары исполнительных механизмов, работающих друг против друга, которые сбалансированы равным освещением. При разной освещенности исполнительных механизмов неуравновешенные силы используются для ориентации устройства в таком направлении, когда восстанавливается равное освещение исполнительных механизмов и баланс сил. Пассивные солнечные трекеры, по сравнению с активными трекерами, менее сложны, но работают с низкой точностью и при низких температурах перестают работать. Тесты показали, что пассивные трекеры сопоставимы с электрическими системами с точки зрения производительности. Хотя пассивные трекеры часто дешевле, они все еще не получили широкого применения. [12]

#### **1.4.2 Активные трекеры**

Существует два основных вида активных трекеров: основанные на микропроцессоре и электрооптических датчиках и основанные на специализированном программном обеспечении. Электрооптические солнечные трекеры обычно состоят, по меньшей мере, из одной пары фоторезисторов. При разности освещенности возникает разность сопротивлений, эта информация обрабатывается микроконтроллером, который выдает управляющий сигнал на привод. Возможные способы установки фотосенсоров показаны на рис. 6. Системы, основанные на программном обеспечении, находят положение Солнца основываясь на таких данных как: дата, время и географические координаты, и управляют направлением трекера.

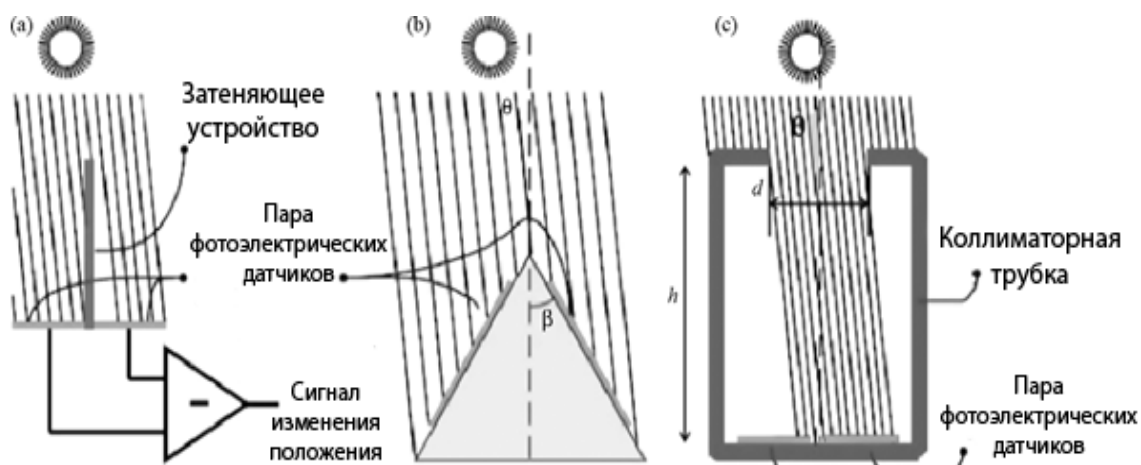


Рисунок 1.6 — Принцип балансировки теней (а) солнцезащитные датчики (б) наклоненное крепление фотодатчиков (с) точное наведение солнца с помощью коллиматора [13].

### 1.4.3 Микропроцессор и электрооптический сенсор

В этом типе при разном освещении электрооптических датчиков формируется дифференциальный сигнал управления (рис.1.6а), который используется для вращения двигателя и ориентации устройства в таком направлении, при котором освещение электрооптических датчиков становится равным и сбалансированным. Кроме того, фотодиоды могут быть установлены на наклонных плоскостях, чтобы повысить чувствительность (рис.1.6б). Такой способ, как правило, используется в системах с концентратором. Затеняющее устройство представлено в виде коллиматорной трубки, которая предотвращает попадание диффузного излучения в датчик и позволяет получить точное измерение положения Солнца (рис.1.6с) [13].

Такие трекеры с высокой точностью предназначены в основном для солнечных систем-концентраторов. Эти трекеры сложны и, следовательно, дороги и ненадежны.

Абдалла С. со своей командой спроектировал и построил двухосевую систему без обратной связи, контролируруемую программируемым

логическим контроллером. Принцип работы этой системы основан на математическом определении положения поверхности, которое определяется двумя углами: углом наклона и азимутальным углом. Использовались два следящих двигателя, один для ориентации вокруг горизонтальной оси, а другой для ориентации вокруг вертикальной оси. Световой день делился на четыре интервала, и во время каждого из них была определена и запрограммирована в ПЛК скорость вращения Солнца и электродвигателей. На рис 1.7 показано сравнение энергий, полученной со следящей системы и фиксированной поверхности с оптимальным углом наклона. Было определено, что использование поверхности с двумя осями отслеживания приводит к увеличению общей ежедневной выработки на 41,34% [14,15].

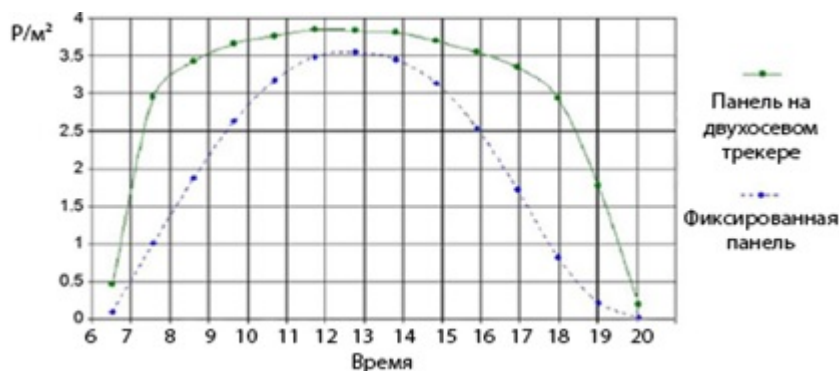


Рисунок 1.7 — Сравнение энергии между следящей и фиксированной солнечными системами [14].

Румянцев В.Д. с группой конструкторов спроектировал и построил систему слежения за Солнцем с обратной связью, установленной мощностью 1 кВт. Их конструкция солнечного трекера была основана на использовании самых дешевых материалов, таких как гнутые перфорированные профили, изготовленные из оцинкованной стали. Механизм слежения полностью автоматизирован с помощью аналогового датчика солнца. Трекер состоял из двух основных движущихся частей: базовой платформы, движущейся вокруг вертикальной оси, и подвесной платформы с солнечными модулями, движущимися вокруг горизонтальной

оси. Базовая платформа была оснащена тремя колесами, одно из которых было соединено с азимутальным приводом. Подвесная платформа была рамкой, в которой размещались три модуля. Положение подвесной рамы может варьироваться в диапазоне  $90^\circ$  относительно горизонтальной плоскости, обеспечивая ориентацию модулей относительно высоты Солнца. Базовая платформа была подвижна одним из колес, движущихся по кругу большого радиуса. Если двигатели были постоянно задействованы, скорость вращения платформ была близка к 1 обороту в час, то есть намного быстрее, чем это было необходимо для нормального отслеживания. Непрерывное вращение двигателя применялось для возвращения трекера с позиции «заката» на «восход солнца» и для быстрого «поиска» Солнца после пасмурных периодов. При нормальном отслеживании двигатели включались периодически, через каждые 8-10 с [16].

Аль-Мохаммад разработал одноосевую систему слежения за Солнцем, основанную на блоке ПЛК, чтобы исследовать улучшение суточной выходной мощности фотовольтаического модуля. Два фоторезистивных датчика были разделены барьером для обеспечения тени для одного из них. По мере увеличения интенсивности солнечного излучения удельное сопротивление датчика уменьшается. Два выходных сигнала устройства подключаются непосредственно к аналоговым входам ПЛК и сравниваются для получения требуемого выходного сигнала для активации электромеханической системы слежения за Солнцем. Для ПЛК была разработана программа для управления, мониторинга и сбора данных с использованием специального программного обеспечения. Специальная компьютерная программа для автоматического обнаружения и связи с ПК с RS232 была разработана с использованием Visual Basic 5. Производительность солнечного трекера оценивалась и контролировалась. Выходная мощность показала значительное увеличение в ранние и поздние

часы дня. Фактически, общее улучшение в режиме отслеживания превысило 40% за период с 6:00 до 10:00 и в период с 15:00 до 17:00. Однако улучшение составило около 2-4% в середине дня. Среднее общее повышение выработки энергии за весь день было более, чем на 20% больше, по сравнению с фиксированным модулем [17].

О. Бингол предложил, внедрил и протестировал двухосевую систему отслеживания солнечных лучей на основе микроконтроллера. Он использовал светозависимые резисторы в качестве датчиков, шаговые двигатели в качестве исполнительных механизмов и микроконтроллер. Кроме того, система была подключена к ПК через RS232 для мониторинга положения Солнца. Кристалл с частотой 4 МГц использовался в качестве генератора тактовых сигналов для микроконтроллера. В тесте учувствовали две экспериментальные установки солнечных коллекторов, одна стационарна и вторая вращающаяся. Температуру панелей измеряли с частотой 50 раз за одну минуту. Разница температур между вращающейся и неподвижной панелью достигала 9 °С. Этот результат подтвердил, что поворотная панель, содержащая солнечную систему слежения, имела большую плотность света, чем стационарная панель [18].

Т. Петерсон спроектировал и построил солнечный трекер с микроконтроллером, который имел два биполярных шаговых двигателя для поддержания требуемого крутящего момента и обеспечения 200 шагов на оборот для вращения двух ФЭМ вокруг оси высоты и азимута. Они оценили три алгоритма отслеживания для отслеживания солнца. Первый алгоритм управляет ФЭМ в круговом движении в сферических координатах с произвольным радиусом, выбранным пользователем, чтобы найти точку на круге для оптимального напряжения. Второй алгоритм управляет ФЭМ в квадратном шаблоне, чтобы найти градиент напряжения, и использует это, чтобы решить, куда двигаться. Третий алгоритм использует вторую

стратегию для определения пяти точек на расстоянии 1 час, затем с использованием многопараметрического нелинейного наименьшего квадрата определяется широта, день года, время суток. Затем предсказано следующее движение Солнца.

После ряда экспериментов Петерсон пришел к выводу, что при разности углов солнечных лучей и ориентации панели в  $1^\circ$ , получается 99,98% от максимально возможной энергии, а если разница углов  $10^\circ$  от перпендикуляра – доступно 98,5% от максимального значения [19].

Компания Girasolar спроектировала и построила программируемый солнечный трекер, который может отслеживать солнце в двух осях: азимутальном и зенитном. Его площадь поверхности составляла  $58 \text{ м}^2$  с массой 2100 кг, способной вращаться с азимутальной скоростью 0,5 об/мин (в режиме быстрого поиска) и скоростью азимутального движения 0,06 об/мин (в режиме слежения). Максимальный угол отклонения составлял  $2^\circ$  от положения Солнца. Его конструкция спроектирована так, чтобы выдерживать скорость ветра до 105 км / ч. Заявляется, что рост выработки энергии при его использовании составляет до 35% по сравнению с фиксированными установками [20].

С. Гамильтон в своей диссертации разработал и построил устройство для отслеживания позиции Солнца, управляемое микроконтроллером, которое использовало два двигателя для наклона панелей в двух плоскостях движения. Алгоритм был разработан для считывания и усиления значений датчиков, а затем для сравнения данных в цифровой форме для определения точного положения Солнца для активации позиционирующих однополярных шаговых двигателей. Датчик представлял собой четырехстороннюю пирамиду в структуре с солнечными батареями, установленными с каждой стороны. Микроконтроллер запрограммирован на языке С. Устройство было протестировано как в реальных условиях, так



и в лаборатории с использованием портативного источника света, который был установлен в 16 положениях внутри сферической области. Результаты показали, что система слежения за солнцем собирала максимальную энергию в течение дня, в то время как стационарная система собирала максимальную энергию только тогда, когда Солнце располагалось в максимальной точке – зените [21].

Хуанг Б. со своей командой спроектировал и оценил одноосевой механизм слежения за Солнцем, основанный всего на трех фиксированных углах (трехпозиционное отслеживание): утром, днем и вечером. Механизм включает в себя опору с одним полюсом, платформу с регулировкой наклона, раму с солнечной панелью, приводимую в движение двигателем и датчиком положения Солнца. Датчик положения Солнца состоит из двух фоточувствительных элементов, разделенных вертикальной затеняющей пластиной. Три сигнальных переключателя были установлены на редукторе рамы, чтобы подавать сигналы в систему управления. Таким образом, установленное расположение переключателя определяет угол остановки. Многие аналитические исследования показывают, что максимальное солнечное падающее излучение может быть получено, если угол наклоненной поверхности приблизительно равен широте. Для каждого угла остановки они вычисляли годовую общую энергию при различных углах переключения датчика и определяли максимальную годовую общую энергию. Результаты показали, что оптимальный угол остановки составлял  $50^\circ$ , а оптимальный угол переключения составлял  $25^\circ$ , что составляло половину угла остановки. Из результатов расчетной годовой суммарной энергии можно было сказать, что генерация энергии солнечными модулями возрастет на 24,5% по сравнению с фиксированными модулями [22].

К. Айучи с группой исследователей разработал управляемый

гелиостатом с помощью фотодиода с замкнутым контуром с использованием экваториального крепления. Кроме того, два датчика использовали один для облачного покрова, а другой для обнаружения днем или ночью. Датчики состоят из двух бок о бок фотоэлементов, которые генерируют ток, который пропорционален освещенной области. Если солнечная радиация становится меньше  $180 \text{ Вт/м}^2$ , режим работы гелиостата переходит в режим облачности, и рама вращается с постоянной скоростью  $15^\circ/\text{ч}$ . Их экспериментальные и модулируемые исследования показали, что в ясную погоду трековая угловая погрешность управляемого датчиком гелиостата составила  $0,002$  рад. Наконец, было сделано заключение, что сенсорная система для отслеживания может быть более подходящей для небольшой солнечной системы из-за снижения эффективности в пасмурные дни [23].

#### **1.4.4 Управление по дате и времени**

Системы, работа которых основана на дате и времени работает, базируясь на следующих параметрах: географические координаты установки, дата и время. Для определения базовых параметром, как правило, используется набор высокоточных датчиков, например, модуль реального времени, GPS, датчик скорости ветра. Входные параметры передаются на компьютер или процессор, который обрабатывает информацию и подает управляющий сигнал.

Эдвардс Б. исследовал работу компьютерной системы слежения за Солнцем для параболических коллекторов. Компьютер системы ежедневно переключает скорость каждого из коллекторных приводов. Оказалось, что для точного наблюдения за Солнцем система требует вывода данных от центрального контроллера всего  $500$  бит/с для  $10\,000$  коллекторов [24].

С. Абдалла разработал односегментное следящее за Солнцем

устройство площадью  $1\text{ м}^2$  с управлением ПЛК. В этой конструкции двигатель поворачивает структуру вокруг вертикальной оси (азимутальное отслеживание). Потребление энергии двигателем и электрической системой оценивалось в 3% от собранной энергии. Дневные часы были разделены на четыре интервала, а скорость двигателя была запрограммирована в ПЛК в каждом интервале. Графические результаты экспериментов показали увеличение до 40% с утра до середины дня и до 22% в вечернее время для режима слежения [25].

Дэвис П. разработал механизм слежения за солнцем, используя экваториальные и эклиптические оси, которые пересекаются друг с другом. В этой конструкции Солнце рассматривалось как фиксированная точка относительно движения Земли, поэтому следящая пластина должна вращаться вокруг земной орбиты и вращаться с той же угловой скоростью Земли, но в противоположном направлении. Треугольный модуль поворачивается шаровым шарниром, обеспечивающим свободное вращение. Предполагалось, что ошибка отслеживания составит около  $\pm 2^\circ$ . Основным преимуществом этой системы является использование двигателя с точной постоянной скоростью без какой-либо сложной управляющей электроники [26].

#### **1.4.5 Сочетание датчика освещенности и даты / времени**

П. Рот, А. Горгиев и Х. Боудинов спроектировали и построили двухосевую систему ориентации на Солнце. Они использовали пиргелиометр в качестве измерительного прибора для наблюдения за Солнцем, потенциометры и концевые выключатели, связанные с осями движения (по одному на каждую ось), для передачи сигнала на основной процессор пропорционально перемещению осей, используется микропроцессор в качестве звена, подключенный к ПК и двум датчикам,

один для информации о положении Солнца, а другой для указания интенсивности солнечного излучения. В режиме «часов» трекер вычисляет положение Солнца на основе информации о дате и времени его часов. Ошибки положения измеряются в течение дня и сохраняются для последующего анализа. Анализируемые данные, собранные в течение дня, учитываются для формирования нового улучшенного набора параметров для устранения погрешностей установки. Эти данные используются на следующий день для вычисления более точных положений солнца. В режиме поиска Солнца трекер использует данные положения солнца для активного управления системой. Если интенсивность падает ниже определенного уровня, она временно возвращается в режим часов. Для подготовки и тестирования на опоре солнечного трекера был установлен пиргелиометр Erpley. Чтобы сделать измерения более точными и сравнить измеренную освещенность с пиргелиометром Erpley на тестируемом трекере, использовались три дополнительных пиргелиометра. Эксперименты показали хорошие результаты, сопоставимые с результатами швейцарского солнечного трекера INTRA, но по очень низкой цене (в 75 раз дешевле швейцарского трекера) [6, 27].

К. Аджай и Дж. Нагарайю спроектировали одноосевой солнечный трекер, основанный на микроконтроллере и методах, управляемых временем, для установки на концентрированном солнечном параболическом коллекторе. Датчик скорости ветра, датчик облучения и датчик температуры были подключены к порту микроконтроллера, взаимодействующего с часами реального времени (RTC). Процессор оперирует данными, полученными от датчиков и данными от RTC, для расчета положения Солнца и отправки сигналов на двигатель. Высота тени в верхней части световых датчиков составляла 86 мм, что приводило к точности равной  $1^\circ$ . Точность также зависит от интенсивности солнечного

излучения. При низких интенсивностях работает только система контроля времени. Когда сигнал от любого из светочувствительных резисторов подают опорное напряжение, выход компаратора передает сигнал «0». Это является причиной сигнала ошибки для движения коллектора. Алгоритм разработан так, что несколько функций в программном обеспечении делают систему надежной. Производительность контроллера при различных условиях окружающей среды, таких как солнечные дни, облачные дни, туманные условия и т. д., показывает, что набор солнечных датчиков был очень чувствителен к обнаружению небольших изменений положения Солнца и обеспечивал точность в пределах  $1^\circ$  [28].

Бакос Г. разработал и построил двухосевую систему слежения за солнцем, которая основана на сочетании традиционных фоторезисторов и способа программного управления. Электромеханическое устройство состоит из четырех реле, двух электронных схем, двух фоторезисторов и двух двигателей переменного тока. Для ручного управления, изображения графического представления и определения времени восхода и заката Солнца для системы, подключенной к компьютеру, был написан код на языке программирования Visual C++. Система может отслеживать Солнце в направлениях с востока на запад и с севера на юг. Был сделан вывод о том, что двухосевая система слежения до 46,46% эффективнее по сравнению с фиксированной поверхностью [29].

### **Вывод по разделу 1**

Исходя из рассмотренных результатов исследований и экспериментов можно сказать, что на данный момент разработано достаточно большое количество разнообразных способов слежения. Однако, не была решена задача сравнения систем позиционирования следящих площадок. И вопрос выбора наиболее рационального способа управления трекерными системами остается открытым. В данной магистерской диссертации

рассмотрены основные применяемые способы позиционирования следящих площадок для увеличения генерации электроэнергии фотоэлектрическими модулями.

## РАЗДЕЛ 2. СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРЕКЕРНЫМИ СИСТЕМАМИ

На сегодняшний день, можно обобщенно выделить два типа трекерных систем, отличающихся по типу приводного механизма:

- пассивные трекеры;
- активные трекеры.

Название пассивных трекеров связано с принципом их работы. Для движения опорной рамы с солнечными панелями такой трекер не требует специального подвода энергии, а работает за счет естественных процессов изменения интенсивности солнечного излучения. Таким образом, собственное электропотребление трекера является равным нулю.

Активные трекерные системы, в отличие от пассивных, требуют питания электрической энергией для передвижения опорной площадки.

### 2.1 Пассивные трекерные системы

В пассивных трекерах используется два основных физических явления, которые способствуют механическому движению конструкции.

Первое физическое явление – это температурное расширение материалов. Для создания движущего воздействия необходимо создать разное значение термических расширений двух элементов конструкции. Для достижения этой цели применяют, например, биметаллическую пластину. Выбирают пару металлов с разным коэффициентом термического расширения, элементы металлов жестко закрепляются на краях сваркой или заклепками. На практике, такой парой может выступать, например, пара алюминия и железа. Эффект, наблюдаемый при изменении температуры проиллюстрирован на рис. 2.1. Возникающих в металлах внутренних усилий оказывается достаточно для приведения в движения небольших трекерных установок [30].

Такой же физический эффект используется в электротехнике для приведения в движение теплового расцепителя в разных коммутационных

устройствах [31]. Однако, в случае применения биметаллической пластины для теплового расцепителя, влияние на устройство окружающей среды является вредным, может нарушать правильность работы устройства и вызывать ложные срабатывания; а в случае применения для устройств слежения за Солнцем – влияние окружающей среды является основным и главным «управляющим сигналом» и, одновременно, источником энергии.

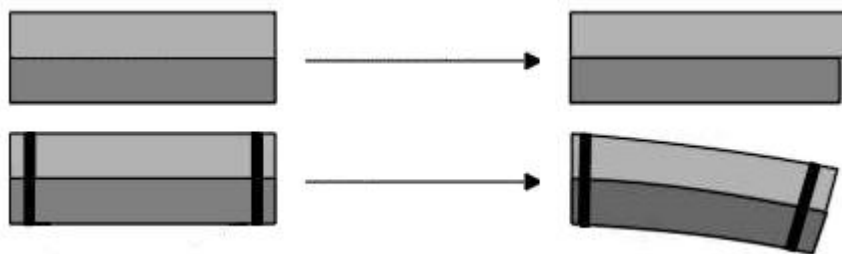


Рисунок 2.1 – Эффект, наблюдаемый при нагревании биметаллической пластины. Верхний элемент имеет больший коэффициент температурного расширения, относительно нижнего [32].

Второе, применяемое в пассивных трекерах, физическое явление – это эффект памяти формы, наблюдаемый у некоторых сплавов металлов. Такие материалы обладают обратимостью неупругой деформации. Явление самопроизвольного восстановления формы – эффект памяти формы – может наблюдаться как в изотермических условиях, так и при температурных изменениях. При теплосменах такие металлические материалы могут многократно обратимо деформироваться.

Способность к восстановлению деформации не может быть подавлена даже при высоком силовом воздействии. Уровень реактивных напряжений некоторых материалов с эффектом памяти формы может составлять до 1000 – 1300 МПа (1000-1300кН/м<sup>2</sup>). Таким образом, данное физическое явление можно использовать для механического движения следящей площадки, используя в качестве источника тепла солнечную энергию [33].

Преимуществами пассивных следящих систем являются:

- отсутствие необходимости в питании электроэнергией;



- простая конструкция, обеспечивающая сравнительно высокую надежность;

Недостатками пассивных трекерных систем являются:

- сложность теплового расчета для специальных сплавов, который должен обеспечить нужный угол наклона панели при определенных условиях;
- пассивные трекеры, как правило только одноосевые, что не позволяет достигать максимального значения возможной выработки энергии;
- внутренние силы, возникающие в сплавах металлов, оказываются достаточными только для небольших систем слежения.

## **2.2 Активные трекерные системы**

Активные трекеры в отличие от пассивных, для своей работы требуют постоянного электропитания. По принципу управления активными трекерами можно выделить следующие типы систем:

- управление с помощью фотоэлектрических датчиков;
- управление с помощью заданного алгоритма;
- гибридная система управления.

Рассмотрим принцип работы системы с управлением с помощью фотоэлектрических датчиков. Работа такой системы базируется на принципе сравнения показаний фотоэлектрических датчиков с помощью микроконтроллера, который в свою очередь формирует управляющий сигнал, отправляемый к исполнительным устройствам. Исполнительными устройствами в трекерной системе являются электродвигатели, связанные с редукторами.

Принцип работы системы слежения, основанный на сравнении показателей фотоэлектрических датчиков изображен на рис. 2.2.

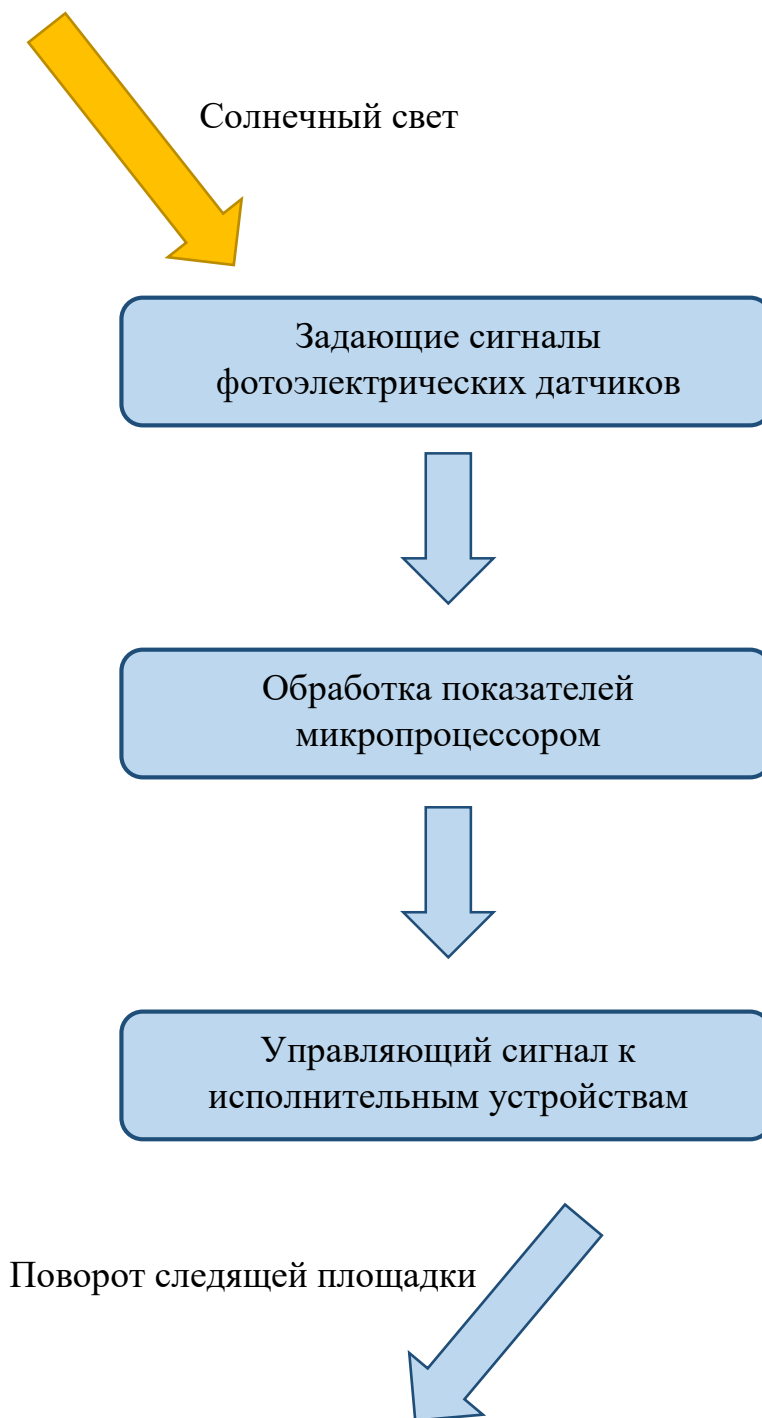


Рисунок 2.2 – Принцип работы системы слежения, основанный на сравнении показателей фотоэлектрических датчиков.

Для правильной работы следящей системы, принцип работы которой основан на сравнении показателей фотоэлектрических датчиков необходимо обеспечить два основных условия: правильная установка фотодатчиков и корректный программный код для микроконтроллера.

Реализация второго условия сильно зависит от применяемого в конкретной установке типа микроконтроллера. Для разных типов микроконтроллеров необходим код на разных языках программирования, например, C, C++, C#, Basic, Assembler. Независимо от языка программирования, к коду программы предъявляется следующее требование: алгоритм программы должен обеспечивать высокую точность считывания данных и позиционирования, при этом он должен отсекают колебания, вызванные погрешностью измерения либо помехами в принимаемом сигнале.

Задача программы микроконтроллера состоит в том, чтобы подавать управляющие сигналы на исполнительные устройства при соблюдении одних условий (разница показателей фотоэлектрических датчиков) и отключить управляющий сигнал в момент соблюдения другого условия (разница показателей отсутствует).

Правильная установка фотодатчиков должна обеспечить необходимую разницу показателей одной или двух пар фотоэлектрических сенсоров. Существует три основных способа установки фотоэлектрических датчиков. Схема установки изображена на рис. 2.3.

Первый способ установки предполагает расположение двух датчиков на одной плоскости, параллельной следящей плоскости. Строго по середине между двумя датчиками располагается затеняющее устройство. Это затеняющее устройство ограничивает уровень освещенности одного из датчиков, при условии, что все устройство повернуто относительно солнечных лучей на некоторый градус. При этом, разница уровня освещенности фотодатчиков будет прямопропорциональна углу между плоскостью и

солнечными лучами. В случае, когда следящая площадка повернута к Солнцу под углом в  $90^\circ$ , уровень освещенности фотоэлектрических датчиков по обе стороны от затеняющего устройства будет равен. Это условие соответствует моменту отключения управляющего сигнала с исполнительных устройств.

Второй способ установки предполагает расположение фотоэлектрических датчиков на двух гранях треугольной призмы, либо на четырех гранях пирамиды с квадратом в основании. В случае такого расположения разница уровня освещенности обеспечивается самим расположением датчиков.

Третий способ установки обеспечивает самую большую точность показаний датчиков. Однако, требует высокоточных датчиков и наличия коллиматорной трубки. Коллиматорная трубка – это устройство, которое имеет в центре узкую прорезь, которая ограничивает попадание на датчики отраженных и преломлённых солнечных лучей и пропускает только прямые солнечные лучи. Такой способ определения положения Солнца применяется достаточно редко, так как устройство с таким принципом имеет значительно более высокую стоимость относительно аналогов [13].

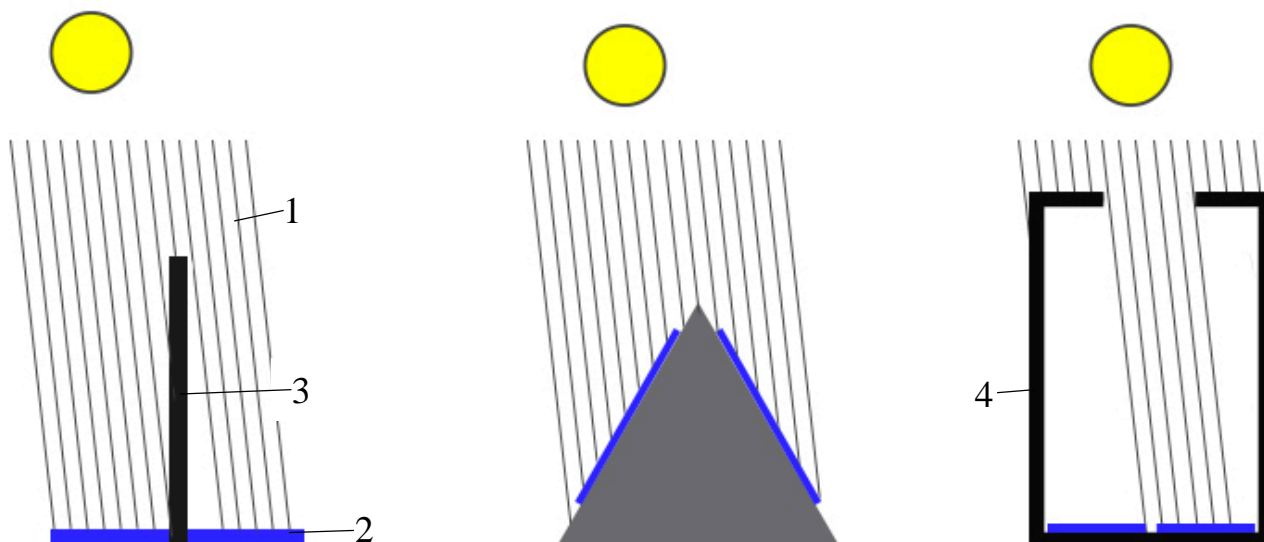


Рисунок 2.3 – Схема установки фотоэлектрических датчиков:  
1 – солнечные лучи; 2 – фотоэлектрические датчики; 3 – затеняющее устройство; 4 – коллиматорная трубка.

Преимуществом систем, использующих для ориентации на Солнце принцип сравнения показаний фотоэлектрических датчиков, является относительная простота алгоритма работы. Общий недостаток таких систем проявляется в облачные дни. В случае, когда облако затеняет трекерную систему с фотоэлектрическими датчиками, последние фиксируют близкие значения освещенности с обеих сторон затеняющего устройства, либо граней пирамиды. Это связано с тем, что водяной пар в облаке относительно равномерно рассеивает солнечный свет, обеспечивая почти одинаковую освещенность всех фотодатчиков с мнимым источником света, находящимся перпендикулярно к поверхности Земли. В следствии такого явления, микроконтроллер подает такие управляющие сигналы, что следящая платформа ориентируется параллельно поверхности Земли. После окончания времени затенения облаком, система начинает совершать движения в поиске нового положения Солнца. Подобное поведение системы приводит к повышенным затратам энергии на поворот конструкции во время облачности и по окончании этого времени во время поиска нового положения. При этом повышения выработки солнечными панелями электроэнергии не наблюдается.

Система слежения за Солнцем, управляемая предварительно заданным алгоритмом имеет преимущество перед вышеописанной. Такая система основана на принципе установки определенных углов положения следящей площадки в соответствии с текущим временем. Трекер, основанный на алгоритме не требует установки датчиков и анализа данных в режиме реального времени. Управление такой системой осуществляется с помощью программы. Программа имеет базу данных с углами наклона и поворота для определенных отрезков времени для каждого дня в году. Также, база данных может иметь начальные углы установки следящей площадки для каждого дня в году. В этом случае, программа подает управляющие сигналы для поворота площадки на определенный угол через заданные промежутки времени.

Такая система имеет определенную гибкость в настройке. Программное управление позволяет пропускать некоторые точки позиционирования в случае, когда алгоритм опирается на базу данных с углами для каждого момента времени. В случае, когда база данных содержит только начальные углы для каждого дня, программа позволяет оперировать углами поворота и отрезками времени между позиционированием. Такие гибкие настройки дают возможность изменять потребляемое количество энергии на движение следящей площадки, хотя это влияет также и на количество выработанной электроэнергии солнечными модулями.

Недостатком системы позиционирования, основанной на предварительно заданном алгоритме, является отсутствие обратной связи за исключение выработанной энергии. Это значит, что при возникновении ошибки или сбоя в алгоритме, последствия будут обнаружены только спустя некоторое время, и при условии наличия данных для сравнения.

Существуют системы, не имеющие таких недостатков как в системах, основанных на показаниях фотоэлектрических датчиков и основанных на предварительном алгоритме. Эти системы используют одновременно оба принципа позиционирования. Такая гибридная система может иметь два своих принципа работы.

Первый принцип предполагает управление следящей площадкой трекера, основываясь на показаниях фотоэлектрических датчиков. Однако, во время облачности, когда солнечный свет равномерно рассеивается и одновременно с чем падает уровень освещенности, алгоритм управления фиксирует пониженный уровень освещенности и переключает режим управления в «режим часов». В новом режиме система продолжает движение, основываясь на базу данных положения Солнца, относительно текущего времени и переключается обратно в «следящий режим» в момент, когда

зафиксированный фотоэлектрическими датчиками уровень освещенности окажется выше заданного.

Принцип работы такой системы изображен на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 – Принцип работы гибридной системы слежения с переключением режимов.

Второй принцип работы гибридной системы слежения состоит в использовании алгоритма для позиционирования следящей площадки. Однако в этой системе используются фотоэлектрические датчики в качестве обратной связи, для регистрации возможных расхождений между текущим положением площадки и фактической разности освещенности пары фотоэлектрических датчиков. Принцип работы такой системы изображен на рис. 2.5.



Рисунок 2.5 – Принцип работы гибридной системы слежения с обратной связью.



Активные трекерные системы имеют недостаток перед пассивными в том, что для их работы необходимо постоянное электропитание. Однако, активные следящие устройства имеют ряд достоинств:

- высокая точность позиционирования;
- большая несущая способность системы;
- гибкость в управлении.

### **Вывод по разделу 2**

В данном разделе были рассмотрены основные принципы управления трекерных систем, такие как: пассивные трекерные системы с использованием эффекта памяти некоторых сплавов металлов и пассивные трекеры с использованием биметаллических пластин; активные трекеры, управление которых основано на показаниях фотоэлектрических датчиков, на предварительно заданном алгоритме и гибридные системы управления.

Наиболее гибкими и эффективными системами управления трекерными установками являются гибридные системы, в виду отсутствия недостатков, присущих остальным системам управления. Единственным недостатком гибридной системы можно считать повышенную сложность алгоритма. Далее произведем оценку эффективности трекерных систем, использующих предварительно заданный алгоритм для позиционирования следящей площадки как основной принцип управления.

### РАЗДЕЛ 3. РАСЧЕТ ТРЕКЕРНЫХ СИСТЕМ

Во втором разделе данной диссертации были рассмотрены существующие принципы управления трекерными системами. Было определено, что наиболее гибкими и эффективными являются гибридные системы управления.

Оценить эффективность системы слежения за Солнцем можно с помощью сравнения количества энергии, добавленной за счет следящей системы, по сравнению со стационарной станцией и количества энергии, затраченной на ориентацию следящей площадки. Для такого сравнения, первым этапом, необходимо найти энергию, которая будет получена со стационарной фотоэлектрической станции определенной площади, вторым этапом, следует определить количество энергии, вырабатываемой такой же станцией, но со следящим устройством.

Для определения получаемой и затрачиваемой энергии станцией с трекером, необходимо задаться параметрами самого трекера. Необходимые параметры:

- площадь солнечных панелей, размещаемых на следящей площадке трекера;
- мощность двигателя, который поворачивает следящую площадку;
- мощность двигателя, который наклоняет следящую площадку;
- возможная точность позиционирования.

Кроме того, необходимо выбрать солнечные панели, которые будут использоваться в системе. Также необходимо выбрать координаты, для которых будет рассчитана система.

Для данного расчета выбрана трекерная система от немецкой компании Hanning, которая состоит из двух элементов: поворотного механизма HFG-L Solar и наклонного механизма SL95 Solar. Основные параметры выбранной

системы приведены в табл. 3.1 [34]. Техническая документация данного устройства приведена в приложении А.

Таблица 3.1 – Основные параметры трекерной системы

Максимальная площадь установки солнечных панелей	60м <sup>2</sup>
Мощность HFG-L Solar	360Вт
Мощность SL95 Solar	450Вт
Точность позиционирования	0.3°

Солнечные панели для расчета выберем Jinko Solar JKM250P-60. Параметры выбранной панели приведены в табл. 3.2 [35]. Техническая документация приведена в приложении Б.

Таблица 3.2 – Параметры солнечной панели Jinko Solar JKM250P-60

Тип ячеек	Монокристалл, 156*156мм
Максимальная мощность	250Вт
Напряжение при максимальной мощности	30,6В
Ток при максимальной мощности	8,17А
Напряжение холостого хода	37,6В
Ток короткого замыкания	8,7А
КПД	15,27%
Рабочая температура	-40°С – +85°С
Максимальное напряжение цепи	1000В
Максимальный ток в цепи	15А
Температурный коэффициент мощности	-0,43%/°С
Габаритные размеры	1650*992*45мм

Расчет проведем для координат  $48^{\circ}24'$  северной широты,  $35^{\circ}18'$  восточной долготы (Украина, пгт. Илларионово).

Для начала, рассчитаем, какое количество энергии выработает за год стационарная солнечная электростанция.

Определим количество солнечной энергии, приходящей на наклонную поверхность фотоэлектрических панелей за один год. Оптимальным углом наклона для выбранной местности, с учетом ориентации работы системы круглый год, является угол равный  $48^{\circ}$ .

Количество вырабатываемой солнечной энергии за год фотоэлектрической станцией определяется по следующей формуле:

$$E_{\text{год}} = \sum_1^{365} W_i \cdot S \cdot \eta_{inv};$$

где,  $W_i$  – энергия, выработанная с  $1\text{ м}^2$  наклонной поверхности за один день;

$S$  – общая эффективная площадь солнечной станции.

Общая эффективная площадь солнечной станции определяется следующим образом:

$$S = N_m \cdot N_c \cdot S_c;$$

где,  $N_m$  – количество солнечных модулей в станции;

$N_c$  – количество фотоэлектрических ячеек на одном модуле, для выбранной модели панелей равняется 60;

$S_c$  – площадь одной фотоэлектрической ячейки,

$$S_c = 0,156 \cdot 0,156 = 0,024 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Определим количество солнечных модулей в станции. Максимально возможная площадь установки для трековой системы равняется  $60\text{ м}^2$ . Найдём площадь одного солнечного модуля:

$$S_{\Pi} = 1,65 \cdot 0,992 = 1,64 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Тогда, количество солнечных модулей в станции:

$$N_m = 60/1,64 = 36,58 \approx 36 \text{ модулей.}$$

Найдем общую эффективную площадь солнечной электростанции:

$$S = 36 \cdot 60 \cdot 0,024 = 51,84 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Энергия, выработанная за 1 день с  $1\text{ м}^2$  наклонной поверхности, определяется по формуле:

$$W_i = E_i \cdot \eta_m;$$

где,  $E_i$  – солнечная энергия, падающая на  $1\text{ м}^2$  наклонной поверхности за один день;

$\eta_m$  – КПД солнечной панели.

Солнечная инсоляция на  $1\text{ м}^2$  наклонной поверхности определяется по формуле:

$$E_i = \frac{E_{\text{гор}}}{\sin \alpha_i} \cdot \sin(\alpha_i + \beta);$$

где,  $E_{\text{гор}}$  – солнечная энергия, получаемая за сутки на  $1\text{ м}^2$  горизонтальной поверхности,

$\alpha_i$  – угол высоты Солнца,

$\beta$  – угол наклона солнечной панели [36].

База данных о среднесуточной инсоляции для каждого дня в году сформирована на основании информации полученной с сайта НАСА, путем усреднения за 30 лет [37]. Таблица данных, на основании которых ведется расчет, приведена в приложении В, фрагмент которой приведен в табл. 3.3.

Таблица 3.3 – Фрагмент базы данных среднесуточной инсоляции за  
каждый день в году

Номер дня в году	Дата	Инсоляция, Вт*ч
1	1 января	867,81
2	2 января	862,5
3	3 января	866,56
4	4 января	1034,06
5	5 января	864,69
6	6 января	990,31
7	7 января	977,5
8	8 января	883,13
9	9 января	953,13
10	10 января	924,69
11	11 января	1021,56
12	12 января	986,56
13	13 января	1096,56
14	14 января	1090,94
15	15 января	1094,38
16	16 января	999,06
17	17 января	1177,81
18	18 января	1153,75
19	19 января	1118,13
20	20 января	1198,44
21	21 января	1040,31
22	22 января	1240
23	23 января	1176,88
24	24 января	1249,69
25	25 января	1345
26	26 января	1237,19
27	27 января	1320
28	28 января	1382,19
29	29 января	1213,13
30	30 января	1502,5

Результаты расчета солнечной энергии, падающей на  $1\text{ м}^2$  наклонной поверхности под углом  $48^\circ$  сведены в таблицу в приложении Г, фрагмент которой отображен в табл. 3.4.

Таблица 3.4 – Фрагмент таблицы с результатами расчета падающей солнечной энергии на  $1\text{ м}^2$  наклонной поверхности

Номер дня в году	Дата	Инсоляция, Вт*ч
1	1 января	2150,5
2	2 января	2117,76
3	3 января	2108,48
4	4 января	2493,55
5	5 января	2066,7
6	6 января	2346,3
7	7 января	2295,96
8	8 января	2056,6
9	9 января	2200,89
10	10 января	2066,7
11	11 января	2346,3
12	12 января	2295,96
13	13 января	2056,6
14	14 января	2200,89
15	15 января	2117,42
16	16 января	2319,96
17	17 января	2222,2
18	18 января	2450,04
19	19 января	2418,01
20	20 января	2406,46
21	21 января	2179,7
22	22 января	2549,8
23	23 января	2478,58
24	24 января	2383,83
25	25 января	2535,87
26	26 января	2184,91
27	27 января	2585,13
28	28 января	2435,63
29	29 января	2567,64
30	30 января	2743,69
31	31 января	2622,33

Определим, количество электрической энергии, вырабатываемое  $1\text{ м}^2$  солнечных панелей за каждый день. Для примера, рассчитаем значение для первого января:

$$W_i = 2150,5 \cdot 0,1527 = 328,38 \text{ (Вт} \cdot \text{ч)};$$

Данные о вырабатываемой электрической энергии за каждый день сведены в таблицу в приложении Д. В табл. 3.5 приведен фрагмент данных о вырабатываемой энергии с 1м<sup>2</sup> наклонной поверхности, с учетом КПД солнечных панелей.

Таблица 3.5 – Фрагмент данных о ежедневной выработке электроэнергии с 1м<sup>2</sup> наклонной поверхности

Номер дня в году	Дата	Электроэнергия, Вт*ч
1	1 января	328,38
2	2 января	323,38
3	3 января	321,96
4	4 января	380,77
5	5 января	315,59
6	6 января	358,28
7	7 января	350,59
8	8 января	314,04
9	9 января	336,08
10	10 января	323,33
11	11 января	354,26
12	12 января	339,33
13	13 января	374,12
14	14 января	369,23
15	15 января	367,47
16	16 января	332,84
17	17 января	389,35
18	18 января	378,48
19	19 января	364,01
20	20 января	387,23
21	21 января	333,64
22	22 января	394,75
23	23 января	371,92
24	24 января	392,08
25	25 января	418,96
26	26 января	382,65



Продолжение таблицы 3.5 – Фрагмент данных о ежедневной выработке электроэнергии с 1 м<sup>2</sup> наклонной поверхности

Номер дня в году	Дата	Электроэнергия, Вт*ч
27	27 января	405,39
28	28 января	421,53
29	29 января	367,42
30	30 января	451,95
31	31 января	400,43

Зная количество вырабатываемой энергии с 1 м<sup>2</sup> наклонной поверхности и общую эффективную площадь станции, найдем количество вырабатываемой энергии со всей фотоэлектрической станции:

$$E_{\text{д}} = W_i \cdot S.$$

Например, для первого января:

$$E_{\text{д}} = 328,38 \cdot 51,84 = 17023,22 \text{ (Вт} \cdot \text{ч)} = 17,02 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Полная таблица данных приведена в приложении Е.

Для более точной оценки количества вырабатываемой энергии фотоэлектрической станцией необходимо учесть возможные потери в проводнике. Примем их равными 1%. Также необходимо учесть КПД инвертора, который позволит преобразовать род тока из постоянного в переменный, для дальнейшего подключения к сети.

Выберем инвертор марки SMA Sunny Boy 9000TL U-208. Его основные технические параметры приведены в табл. 3.6 [38]. Техническое описание данного устройства приведено в приложении Ж.

Таблица 3.6 – Основные технические параметры инвертора SMA Sunny  
Boy 9000TL U-208

Номинальная мощность	9000Вт
Максимальное напряжение на входе	600В
Максимальный ток на входе	31А
Номинальное напряжение на выходе	183 – 229 В
Максимальный выходной ток	43,3А
Коэффициент мощности	1
КПД	98%
Степень защиты	IP 54
Габаритные размеры	470*615*240 мм

Дневная генерация электрической энергии солнечной станцией с учетом потерь в проводнике и КПД инвертора будет составлять:

$$E_{\text{день}} = E_{\text{д}} \cdot 0,99 \cdot 0,98;$$

для первого января:

$$E_{\text{день}} = 17,02 \cdot 0,99 \cdot 0,98 = 16,51 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}.$$

Данные о выработке энергии за каждый день собраны в таблицу, размещенную в приложении 3. Результат подсчета годовой выработки приведен в табл. 3.7.

Таблица 3.7 – Количество выработанной электроэнергии стационарной солнечной станцией по месяцам

Месяц	Выработано энергии, кВт·ч
Январь	570,76
Февраль	781,75
Март	1090,2
Апрель	1249,3
Май	1541,2
Июнь	1387,2
Июль	1574,9
Август	1600,8
Сентябрь	1265,9
Октябрь	933,64
Ноябрь	564,54
Декабрь	559,87
<b>За год</b>	<b>13120,19</b>

Следующим шагом будет определение количества выработанной и потребленной электроэнергии фотоэлектрической станцией со следящим устройством.

Для начала необходимо определить количество поступающей солнечной энергии на следящую площадку. Для этого применяется такая же методика расчета, как и для стационарных систем. Однако, в случае со следящей системой, непрерывно изменяются не только угол высоты и азимутальный угол Солнца, но также и угол наклона одновременно с углом поворота

солнечных панелей. Такое количество переменных делает расчет достаточно сложным и объемным, что повышает вероятность возникновения ошибок при ручном подсчете. Поэтому, было принято решения воспользоваться специализированным программным обеспечением для расчета фотоэлектрических систем – PVsyst V6.43. Данная программа позволяет смоделировать работу фотоэлектрической системы с любыми параметрами, заданными пользователем. Также, PVsyst имеет собственную базу данных оборудования, такого как солнечные панели и инверторы, кроме того, программа имеет доступ к базе данных метеорологических измерений Meteonorm. После процедуры моделирования, PVsyst выдает пользователю отчет о работы смоделированной системы [39].

По результатам моделирования фотоэлектрической системы, состоящей из 36 солнечных панелей Jinko Solar JKM250P-60, установленных на следящую платформу и одного инвертора SMA Sunny Boy 9000TL U-208 имеем годовую выработку электрической энергии: 15,79 МВт·ч. Полный отчет программы приведен в приложении И.

В отчете видно, что программа учитывает большое количество факторов, влияющих на производство энергии фотоэлектрической станцией; в связи с вышеуказанным, было принято решение произвести расчет генерации энергии со стационарной фотоэлектрической станции также с помощью программы PVsyst. Отчет с результатами моделирования стационарной фотоэлектростанции приведен в приложении К. Стационарная система, состоящая из 36 солнечных панелей Jinko Solar JKM250P-60, установленных на следящую платформу и одного инвертора SMA Sunny Boy 9000TL U-208 имеем годовую выработку электрической энергии: 11,47 МВт·ч.

Следующим шагом будет определение затраченной станцией энергии на ориентирование следящей площадки. Для определения количества затрачиваемой энергии не обязательно знать значения углов положения

площадки в каждый момент времени, но необходимо определить количество включений приводных электродвигателей.

Сначала, определим количество необходимых включений привода, который устанавливает площадку в правильный угол наклона. Найдем промежуток времени, за который Солнце изменяет угол высоты на  $1^\circ$ .

Для этого, зададимся четырьмя опорными датами в году:

- весеннее равноденствие – 20 марта;
- летнее солнцестояние – 21 июня;
- осеннее равноденствие – 22 сентября;
- зимнее солнцестояние – 21 декабря.

Углы высоты Солнца над горизонтом для широты  $48^\circ$  записаны в табл. 3.8 [40].

Таблица 3.8 – Углы высоты Солнца для широты  $48^\circ$  для ключевых дат

Весеннее равноденствие	20 марта	79 день	$42^\circ$
Летнее солнцестояние	21 июня	171 день	$65,5^\circ$
Осеннее равноденствие	22 сентября	264 день	$42^\circ$
Зимнее солнцестояние	21 декабря	355 день	$18,5^\circ$

Для определения угла высоты Солнца для каждого дня разобьем год на 4 промежутка между ключевыми датами. Разделив разность углов высоты Солнца на количество дней между ключевыми датами получим значение изменения угла солнца за один день:

$$\Delta\alpha = \frac{\alpha_{\text{ЛС}} - \alpha_{\text{ВД}}}{N_{\text{ЛС}} - N_{\text{ВД}}} = \frac{65,5^\circ - 42^\circ}{171 - 79} = 0,25^\circ/\text{день}.$$

Таким образом, угол склонения Солнца над горизонтом меняется на  $1^\circ$  раз в 4 дня.

Найдем промежуток времени, за который азимутальный угол меняется на  $1^\circ$ . Известно, что Земля совершает один оборот вокруг своей оси за 24 часа. Значит, азимутальный угол изменяется по формуле:

$$\Delta\gamma = \frac{360^\circ}{24 \cdot 60\text{мин}} = 0,25^\circ/\text{мин.}$$

Определим количество необходимых включений привода, для поворота следящей площадки для каждого дня. Для этого необходимо длину светового дня разделить на отрезок времени, который соответствует одному включению привода для обеспечения желаемой точности.

Максимальной точности позиционирования можно достичь при непрерывном слежении за Солнцем, однако для этого необходима система, обеспечивающая число оборотов в минуту равное:

$$n = \frac{1\text{об.}}{24 \cdot 60\text{мин}} = 0,000694 \text{ об/мин} = 6,94 \cdot 10^{-4} \text{ об/мин.}$$

Опираясь, на параметры трекерной системы, определим условия включения и работы привода. Так как, угол поворотного устройства ограничивается углами  $15^\circ$  и  $345^\circ$ , то один оборот составляет  $345^\circ - 15^\circ = 330^\circ$ . Минимальная возможная скорость поворота достигается за счет частотного регулирования и составляет  $0,1$  об/мин. Из этого следует, что обеспечить непрерывное слежение, используя выбранную трекерную систему невозможно. Значит, для достижения точности позиционирования  $1^\circ$  привод должен включаться каждые 4 минуты и работать на протяжении:

$$t_{\text{пр}} = \frac{60\text{с}}{330^\circ \cdot 0,1} = 1,8\text{с.}$$

Точность положения контролируется датчиком Холла и заявлена на уровне  $< 0,3^\circ$ .

Длину светового дня найдем с помощью данных о времени восхода и заката для выбранной местности. Необходимые данные собраны в приложении Л, фрагмент которого содержится в табл. 3.9 [41].

Таблица 3.9 – Фрагмент базы данных о времени восхода, заката и длительности светового дня

Дата	Восход солнца	Закат солнца	Продолжительность дня
1 января	7:32	15:56	8 ч. 24 мин.
2 января	7:32	15:57	8 ч. 25 мин.
3 января	7:32	15:58	8 ч. 26 мин.
4 января	7:32	15:59	8 ч. 27 мин.
5 января	7:32	16:00	8 ч. 28 мин.
6 января	7:31	16:01	8 ч. 30 мин.
7 января	7:31	16:02	8 ч. 31 мин.
8 января	7:31	16:03	8 ч. 32 мин.
9 января	7:30	16:05	8 ч. 35 мин.
10 января	7:30	16:06	8 ч. 36 мин.
11 января	7:29	16:07	8 ч. 38 мин.
12 января	7:29	16:09	8 ч. 40 мин.
13 января	7:28	16:10	8 ч. 42 мин.
14 января	7:28	16:11	8 ч. 43 мин.
15 января	7:27	16:13	8 ч. 46 мин.
16 января	7:26	16:14	8 ч. 48 мин.
17 января	7:25	16:15	8 ч. 50 мин.
18 января	7:25	16:17	8 ч. 52 мин.
19 января	7:24	16:18	8 ч. 54 мин.
20 января	7:23	16:20	8 ч. 57 мин.
21 января	7:22	16:21	8 ч. 59 мин.
22 января	7:21	16:23	9 ч. 2 мин.
23 января	7:20	16:24	9 ч. 4 мин.
24 января	7:19	16:26	9 ч. 7 мин.
25 января	7:18	16:28	9 ч. 10 мин.
26 января	7:17	16:29	9 ч. 12 мин.
27 января	7:16	16:31	9 ч. 15 мин.
28 января	7:14	16:32	9 ч. 18 мин.
29 января	7:13	16:34	9 ч. 21 мин.
30 января	7:12	16:35	9 ч. 23 мин.
31 января	7:10	16:37	9 ч. 27 мин.

Количество включений поворотного привода для первого января:

$$n_{\text{вкл}} = \frac{8 \cdot 60 + 24}{4} = 126 \text{ включений.}$$

Количество включений поворотного привода для каждого дня в году и затраченная энергия определены в приложении М. Фрагмент данных приведен в табл. 3.10.

Таблица 3.10 – Фрагмент данных о количестве включений и затраченной на поворот энергии

Дата	Количество включений за день	Потрачено энергии, Вт*ч
1 января	126	100,8
2 января	126	100,8
3 января	126	100,8
4 января	126	100,8
5 января	127	101,6
6 января	127	101,6
7 января	127	101,6
8 января	128	102,4
9 января	128	102,4
10 января	129	103,2
11 января	129	103,2
12 января	130	104
13 января	130	104
14 января	130	104
15 января	131	104,8
16 января	132	105,6
17 января	132	105,6
18 января	133	106,4
19 января	133	106,4
20 января	134	107,2



Количество энергии, затраченной на ориентацию следящей площадки за год:

$$E_{\text{зат}} = E_{\text{пов}} + E_{\text{нак}};$$

где,  $E_{\text{пов}}$  – энергия, затраченная за год поворотным устройством,

$E_{\text{нак}}$  – энергия, затраченная за год, устройством для наклонного устройства.

$$E_{\text{пов}} = \sum_1^{365} E_{\text{пов}i} = 54,76 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$E_{\text{нак}} = \sum_1^n E_{\text{нак}i} = 92 \text{ Вт} \cdot \text{ч};$$

$$E_{\text{зат}} = 54,85 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

Для уменьшения затрат энергии можно уменьшить количество раз включения привода поворота. Однако вместе с этим уменьшится и точность позиционирования.

Для сравнения выберем следующие значения точности:

$1^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $5^\circ$  и  $10^\circ$ .

Для трех последних случаев проведем аналогичный расчет первому. Таблица со значениями количества раз включения и затраченной энергии за день отображены в приложении Н. Результаты расчета приведены в табл. 3.11.

Таблица 3.11 – Количество затраченной энергии на позиционирование системы при разных заданных точностях

Затрачено энергии за год, при заданной точности $1^\circ$ , кВт·ч	Затрачено энергии за год, при заданной точности $2^\circ$ , кВт·ч	Затрачено энергии за год, при заданной точности $5^\circ$ , кВт·ч	Затрачено энергии за год, при заданной точности $10^\circ$ , кВт·ч
54,85	34,68	21,18	16,98

Стоит учесть, что при понижении точности слежения уменьшается не только количество затраченной энергии, но и количество выработанной. Согласно практическим экспериментам, количество выработанной энергии станцией, с установленной точностью слежения  $10^\circ$  составляет 98,5% от количества энергии, выработанной станцией с установленной точность в  $1^\circ$  [5,7].

Таким образом, количество энергии, выработанной моделируемой в данной работе станцией, при установке точности слежения  $10^\circ$  будет составлять 15,55 МВт·ч; при точности слежения  $5^\circ$  – 15,67 МВт·ч; при точности  $2^\circ$  – 15,74 МВт·ч.

Для возможности сравнения энергетической эффективности алгоритмов управления систем слежения за Солнцем с разной точностью позиционирования, определим долю потребленной энергии относительно добавленной по сравнению со стационарной станцией:

$$k = \frac{E_{\text{зат}}}{E_{\text{T}} - E_{\text{C}}} \cdot 100\%;$$

для станции с точностью позиционирования  $1^\circ$ :

$$k = \frac{54,85}{(15,79 - 11,47) \cdot 1000} \cdot 100\% = 1,27\%;$$

для станции с точностью позиционирования  $2^\circ$ :

$$k = \frac{34,68}{(15,74 - 11,47) \cdot 1000} \cdot 100\% = 0,81\%;$$

для станции с точностью позиционирования  $5^\circ$ :

$$k = \frac{21,18}{(15,67 - 11,47) \cdot 1000} \cdot 100\% = 0,5\%;$$

для станции с точностью позиционирования  $10^\circ$ :

$$k = \frac{16,98}{(15,55 - 11,47) \cdot 1000} \cdot 100\% = 0,42\%.$$

С точки зрения энергетической эффективности, более рациональным является применение алгоритма управления с меньшей точностью позиционирования. Это связано с тем, что для обеспечения менее точного позиционирования требуется затратить значительно меньшее количество энергии, но при этом генерация энергии уменьшается не так значительно. Стоит заметить, что такая закономерность ограничивается точностью позиционирования  $10^\circ$  для монокристаллических панелей, и  $30^\circ$  для поликристаллических и панелей из аморфного кремния [5,7]. Однако при выборе алгоритма для применения в реальных условиях стоит опираться не только на энергетическую эффективность, но и на технико-экономические показатели.

## РАЗДЕЛ 4. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

### Введение

Продуктивность работы солнечных панелей напрямую зависит от количества получаемой солнечной энергии. Максимального значения генерация электричества достигает в момент, когда рабочая поверхность солнечных модулей располагается перпендикулярно потоку солнечного излучения. Добиться данного требования для солнечных установок возможно только при использовании специальных поворотных конструкций с двухосевой системой слежения за солнцем.

Динамические системы крепления солнечных панелей (подвижные трекеры) служат для обеспечения автоматического слежения за положением Солнца на протяжении всего светового дня и ориентации закрепленных на них солнечных батарей, а так же обеспечивают коррекцию угла наклона панели в зависимости от времени года. Установка трекерной системы позволяет добиться увеличения выработки электроэнергии по сравнению с солнечными электростанциями, использующими неподвижно закрепленные солнечные батареи.

Такие солнечные установки, кроме явных преимуществ в максимальном использовании солнечной энергии, являются достаточно дорогими устройствами, потребляют, хоть и незначительно, но постоянно энергию, требуют большую по площади площадку для установки по сравнению с фиксированными конструкциями.

Для того чтобы выяснить наиболее эффективный принцип управления трекерной системой необходимо сравнить экономический эффект от каждого из рассматриваемых вариантов.

Во втором разделе данной работы было определено, что наиболее рациональными являются системы позиционирования, алгоритм которых основан на базе данных положения Солнца относительно Земли для определенных моментов времени. Рассмотрим экономический эффект от

трекерных систем выбранного типа с разной установленной точностью позиционирования.

### **Расчет экономического эффекта от применения трекерной установки с разной точностью позиционирования**

Для того, чтобы рассчитать экономический эффект от применения трекерных систем необходимо сравнить прибыль, получаемую от продажи электрической энергии в сеть по «зеленому» тарифу. «Зеленый» тариф – это специальный тариф, по которому закупается электрическая энергия, произведенная на объектах электроэнергетики из альтернативных источников энергии. В данном случае, произведенной стационарной солнечной станцией и станциями, с применением трекерных систем с рассматриваемыми алгоритмами управления.

Коэффициент «зеленого» тарифа для объектов, введенных в эксплуатацию с 01.01.2017 по 31.12.2019 для электроэнергии, произведенной из энергии солнечного излучения наземными объектами электроэнергетики составляет 2,79. Согласно постановлению Национальной комиссии, осуществляющей государственное регулирование в сферах энергетики и коммунальных услуг 26.02.2015 № 220 тариф за 1кВт\*ч составляет 140 коп. Таким образом, цена проданного 1кВт\*ч по «зеленому» тарифу составит 390,6 коп.

Найдем количество электроэнергии, которое моделируемые системы продают в сеть по «зеленому» тарифу. Для этого необходимо найти разность между генерируемой и потребляемой энергией для каждой системы:

1. Стационарная система генерирует 11470 кВт·ч за год и не потребляет энергию. Стоимость проданной электроэнергии определяется по формуле:

$$C_э = W_{пр} \cdot Ц_э, \text{ грн.},$$

где  $W_{пр}$  – количество продаваемой в сеть за год электроэнергии, кВт·ч;

$C_3$  – цена продаваемой электроэнергии, грн.

$$W_{\text{пр}} = W_{\text{Г}} - W_{\text{зат}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где  $W_{\text{Г}}$  – количество генерируемой за год электроэнергии, кВт·ч;

$W_{\text{зат}}$  – количество затраченной за год электроэнергии, кВт·ч.

$$C_3 = 11470 \cdot 3,906 = 44801,82 \text{ грн.}$$

2. Следящая система с точностью позиционирования  $10^\circ$  генерирует 15550 кВт·ч и потребляет 16,98 кВт·ч.

$$W_{\text{пр}} = 15550 - 16,98 = 15533,02 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

$$C_3 = 15533,02 \cdot 3,906 = 60671,98 \text{ грн.}$$

3. Следящая система с точностью позиционирования  $5^\circ$  генерирует 15670 кВт·ч и потребляет 21,18 кВт·ч.

$$W_{\text{пр}} = 15670 - 21,18 = 15648,82 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

$$C_3 = 15648,82 \cdot 3,906 = 61124,29 \text{ грн.}$$

4. Следящая система с точностью позиционирования  $2^\circ$  генерирует 15740 кВт·ч и потребляет 34,68 кВт·ч.

$$W_{\text{пр}} = 15740 - 34,68 = 15705,32 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

$$C_3 = 15705,32 \cdot 3,906 = 61344,98 \text{ грн.}$$

5. Следящая система с точностью позиционирования  $1^\circ$  генерирует 15790 кВт·ч и потребляет 54,85 кВт·ч.

$$W_{\text{пр}} = 15790 - 54,85 = 15739,15 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

$$C_3 = 15739,15 \cdot 3,906 = 61477,12 \text{ грн.}$$

### Вывод

Несмотря на более высокую энергетическую эффективность системы слежения с меньшей точностью позиционирования, все же больший доход приносит система, с большей точностью позиционирования.

Экономический эффект от применения наиболее точного алгоритма управления одним трекером составляет 16675,3 грн. относительно

стационарной системы, и 805,14 грн. относительно наименее точно позиционируемой системы.

Для более точного определения экономического эффекта необходимо учитывать расходы, связанные с эксплуатацией конкретного типа трекерной установки.

## ВЫВОДЫ

Наличие солнечного трекера не является необходимым для работы солнечных батарей, но с его помощью можно увеличить производительность системы. Были рассмотрены несколько методов слежения за Солнцем, которые позволяют удерживать солнечные батареи перпендикулярно солнечным лучам. Идеальный трекер позволил бы фотоэлементам точно указывать на Солнце, компенсируя оба изменения: азимутальное смещение Солнца и широтное смещение Солнца. Были рассмотрены пассивные и активные трекеры, их преимущества и недостатки.

Пассивные солнечные трекеры, по сравнению с активными трекерами, менее сложны, но работают с низкой точностью и при низких температурах перестают работать. Активные трекеры разделяются на два основных вида: основанные на микропроцессоре и электрооптических датчиках и основанные на специализированном программном обеспечении. Кроме того, существуют гибридные системы управления трекерной установкой, использующие два способа отслеживания положения Солнца, которые позволяют оптимизировать работу трекера. Единственным недостатком гибридной системы можно считать повышенную сложность алгоритма.

Один из способов оценить эффективность трекерной системы – сравнить количество энергии, затраченной на ориентацию следящей площадки и разность количества генерируемой энергии с помощью системы слежения за Солнцем и стационарной солнечной станции.

Для осуществления количественной оценки было выбрано оборудование и проведено моделирование работы систем, с разными алгоритмами работы. В результате чего, было определено что энергетически более эффективным является алгоритм с меньшей точностью позиционирования

Для оценки экономического эффект от применения трекерных систем произведено сравнение прибыли, получаемой от продажи электрической энергии в сеть по «зеленому» тарифу. Техничко-экономический расчет показал, что более высокий экономический эффект производит система с более высокой точностью позиционирования.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. California Institute of Technology. Basic research needs for solar energy utilization. Report of the basic energy sciences workshop on solar energy utilization; April 18–21, 2005.
2. Markvart T.. Solar electricity, 2nd ed., New York: John Wiley and Sons Inc.; 1996.
3. Khlaichom P., Sonthipermpon K.. Optimization of solar tracking system based on genetic algorithms; 2006.
4. Walraven R.. Calculating the position of the sun. Solar Energy 1977;20:393
5. Poulek V, Libra M.. New bifacial solar trackers and tracking concentrators; 2007.
6. Roth P., Georgiev A., Boudinov H.. Cheap two-axis sun following device. Energy Conversion and Management 2005;46:1179–92.
7. Should you install a solar tracker? [Электронный ресурс] // Tracstar - Режим доступа: <http://www.helmholz.us/smallpowersystems/>
8. Tomson T.. Discrete two-positional tracking of solar collectors. Renewable Energy 2008;33:400–5.
9. Agee J.T., Obok-Opok A., Lazzer M.D.. Solar tracker technologies: market trends and field applications. Advanced Materials Research 2007;18–19:339–44.
10. Helwa N.H., Bahgat ABG., Shafee AMRE, Shenawy ETE. Maximum collectable solar energy by different solar tracking systems. Energy Sources 2000;22:23–4.
11. Kvasznicza Z., Elmer G.. Optimizing solar tracking systems for solar cells. In: The 4th Serbian–Hungarian joint symposium on intelligent systems; 2006.
12. Clifford M.J., Eastwood D.. Design of a novel passive solar tracker. Solar Energy 2004;77:269–80.
13. Heredia I.L., Moreno J.M., Magalhaes P.H., Cervantes R., Laurent O.. Inspira's CPV sun tracking (concentrator photovoltaics). Springer; 2007; p. 221–51.

14. Abdallah S., Nijmeh S.. Two axes sun tracking system with PLC control. *Energy Conversion and Management* 2004;45:1931–9.
15. Mamlook R., Nijmeh S., Abdallah S.M.. A programmable logic controller to control two axis sun tracking system. *Information Technology Journal* 2006;5(6):1083–7.
16. Rumyantsev V., Chalov A., Ionova E., Larionov V., Andreev V.. Concentrator PV modules with multi-junction cells and primary/secondary refractive optical elements. In: *The 19th European photovoltaic solar energy conference*; 2004.
17. Al-Mohamad A.. Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a suntracking system. *Applied Energy* 2004;79:345–54.
18. Bingol O., ALTINTAS, O'NER Y.. Microcontroller based solar-tracking system and its implementation. *Journal of Engineering Sciences* 2006;12(2):243–8.
19. Peterson T., Rice J., Valane J.. Solar tracker [Электронный ресурс] // IT Services for Teaching, Learning, and Research - Режим доступа: <http://ltc.cit.cornell.edu/courses/ee476/FinalProjects/s2005/tp62/website/solartracker>
20. Debasol, solar power [Электронный ресурс] // Solar tracker - Режим доступа: [www.girasolar.com](http://www.girasolar.com)
21. Hamilton S.J.. Sun-tracking solar cell array system. Bachelor of Engineering Thesis Division of Electrical Engineering. Department of Computer Science & Electrical Engineering, University of Queensland; 1999.
22. Huang B.J., Sun FS.. Feasibility study of one-axis three positions tracking solar PV with low concentration ratio reflector. *Energy Conversion and Management* 2007;48:1273–80.
23. Aiuchi K., Yoshida K., Onozaki M., Katayama Y., Nakamura M.. Sensor-controlled heliostat with an equatorial mount. *Solar Energy* 2006;80:1089–97.

24. Edwards B.P.. Computer based sun following system. *Solar Energy* 1978;21: 491–6.
25. Abdallah S., Badran O.O.. Sun tracking system for productivity enhancement of solar still. *Desalination* 2008;220:669–76.
26. Davies P.A.. Sun tracking mechanism using equatorial and ecliptic axes. *Solar Energy* 1993;50(6):487–9.
27. Roth P., Georgiev A., Boudinov H.. Design and construction of a system for suntracking. *Renewable Energy* 2004;29:393–402.
28. Ajay K., Nagaraju J.. Micro-controller based sun tracker for line focus concentrating collectors. *Journal of the Solar Energy Society of India* 2003;13 (1&2):1–8.
29. Bakos G.C.. Design and construction of a two-axis sun tracking system for parabolic trough collector (PTC) efficiency improvement. *Renewable Energy* 2006;31:2411–21.
30. Mwithiga G, Kigo SN. Performance of a solar dryer with limited sun tracking capability. *Journal of Food Engineering* 2006;74:247–52.
31. Описание параметра. Тип расцепителей [Электронный ресурс] // Профсектор - Режим доступа: <https://profsector.com/parameter/342/tip-rastsepiteley>
32. Биметаллическая пластина [Электронный ресурс] // Википедия - Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Биметаллическая\\_пластина#/media/File:Bimetaal.jpg](https://ru.wikipedia.org/wiki/Биметаллическая_пластина#/media/File:Bimetaal.jpg)
33. Металлы с памятью формы. Механизм эффекта памяти формы [Электронный ресурс] // Украинская Ассоциация Сталеплавильщиков - Режим доступа: <http://uas.su/books/newmaterial/101/razdel101.php>
34. Hamatic moving [Электронный ресурс] HANNING ELEKTRO-WERKE GmbH & Co. KG - Режим доступа: <https://www.hanning-hew.com/en/products/hamatic-moving/>

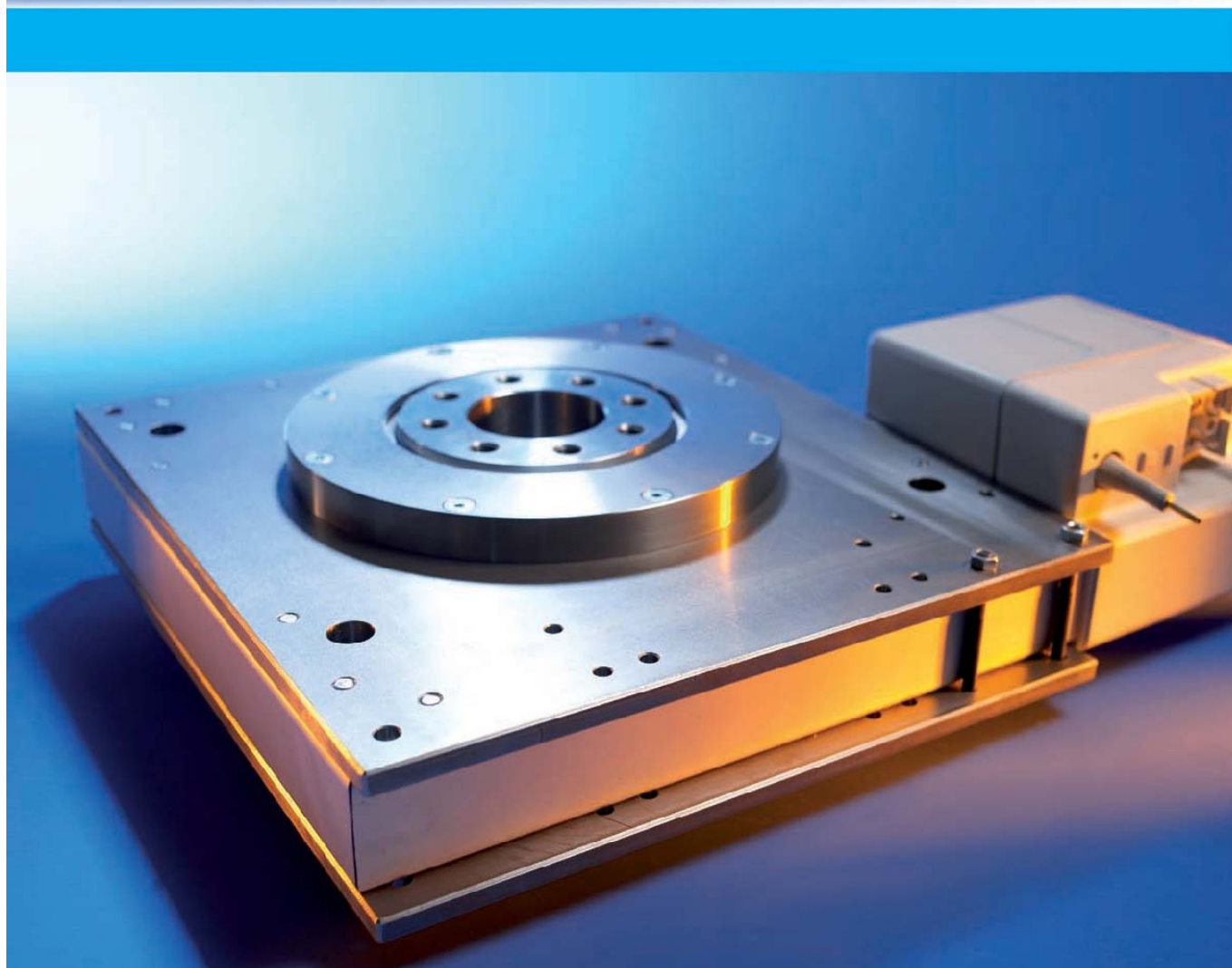
35. JKM250M-60 MONO CRYSTALLINE MODULE [Электронный ресурс]  
Jinko Solar | Your Best Supplier of Modules, Cells & Wafers - Режим доступа:  
[https://www.jinkosolar.com/product\\_592.html](https://www.jinkosolar.com/product_592.html)
36. Солнечное излучение на наклонной поверхности [Электронный ресурс]  
PVC DROM Christiana Honsberg и Stuart Bowden - Режим доступа:  
<http://pvc drom.pveducation.org/RU/SUNLIGHT/MODTILT.HTM>
37. NASA Prediction of Worldwide Energy Resource [Электронный ресурс] //  
NASA - POWER - Режим доступа: <https://power.larc.nasa.gov/cgi-bin/hirestimeser.cgi>
38. SUNNY BOY 9000TL-US / 10000TL-US / 11000TL-US [Электронный ресурс] // SMA Solar Technology AG - Inverter, Photovoltaics solutions - Режим доступа: <https://www.sma.de/en/products/solarinverters/sunny-boy-9000tl-us-10000tl-us-11000tl-us.html>
39. Software [Электронный ресурс] // PVsyst. Photovoltaic software - Режим доступа: <http://www.pvsyst.com/en/software>
40. Приложение II. Высота солнца над горизонтом [Электронный ресурс] // Книга "Земные ландшафты"- Режим доступа: <https://landschafty.jimdo.com/приложение-ii-высота-солнца-над-горизонтом/>
41. Восход и закат солнца в Днепропетровске / Продолжительность светового дня / Данные за весь год [Электронный ресурс] Погода для туристов. Прогнозы, статистика, анализ - Режим доступа: <https://pogoda.turtella.ru/Ukraine/Dnepropetrovsk/sun/>

## ПРИЛОЖЕНИЯ



# TRACKING SYSTEM

for solar cells  
consisting of low-profile gearbox, tilting drive and control unit



# low-profile gearbox – tilting drive – control unit

## Solar tracking system for solar cells

Tracking systems adjust solar cells to the current position of the sun. Depending on the location, the tracking system can increase the efficiency of the cell by up to 40 % compared with stationary systems. Our system is suitable for solar modules up to 60 m<sup>2</sup> and two-axis programmable tracking.

The low-profile gearbox (see front picture) comprises a powerful asynchronous motor and a rugged low-backlash gearbox with a high gear reduction of 3430:1. The low-profile geared motor is made of high-quality material including zinc-coated steel and anodized aluminum to meet the requirements specific for solar applications. The asynchronous motor used is available in three different sizes: as 400 V three-phase AC motor, 100 V, 115 V and 230 V AC motor and as frequency-controlled three-phase AC motor with 36 V DC supply.

### Features

- Integrated limit switches (approx. 15° – 345°)
- South reference switch (180°)
- Signal detection for position control with Hall sensors (Hall IC)

### Your benefits

- Battery backup (36 V)
- High traversing accuracy
- Smooth start and stop in the event of adjustments
- One stop shopping for the entire system

Technical data (low-profile gearbox)	
Internal diameter	60 mm
Torque (dynamic)	1,000 Nm
Torque (static)	8,000 Nm
Load (axial, radial)	50,000 N
Gear backlash	< 0.3°
Speed (4/2-pole)	0.35 / 0.70 rev/min
Speed (frequency controlled)	0.1 – 1 rev/min



Tilting drive SL 95 solar

Technical data (tilting drive)		
Type	Tension, pressure and breaking load (static)	Tension, pressure and breaking load (dynamic)
SL 95	45,000 N	15,000 N

HANNING solar controls can monitor and control up to eight solar tracking systems. It is also possible to build up a network by using a router. The system is controlled via CAN bus and remote monitoring is possible from any location using a PC connected to an ISDN line. The system is also equipped with a storm protection which in strong winds automatically moves the solar panels into a position where they are least exposed. In addition the system offers a freely programmable night position which ensures that the panels do not move during the night and start operating again in the morning.



HANNING ELEKTRO-WERKE GmbH & Co. KG  
Holter Straße 90, D-33813 Oerlinghausen  
Postfach 1361, D-33806 Oerlinghausen

Tel +49 (5202) 707-0 · Fax +49 (5202) 707-301  
info@hanning-hew.com · www.hanning-hew.com

Printed in Germany · Subject to technical alterations · Tracking System/E/05.11/Ka

## The matching solution for every task

HANNING offers a wide range of electrical and electronic drive components such as three-phase and AC motors, linear actuators, radial blowers, drain and circulation pumps and frequency inverters.

The individual designs of all components as well as HANNING's comprehensive engineering know-how ensure best solutions for drive requirements.

## Приложение Б – Технические параметры солнечной панели



# JKM250M-60

MONO CRYSTALLINE MODULE

230-250 Watt

Jinko Solar introduces a brand-new line of high performance modules in wide application.

### KEY FEATURES

Our solar cells offer high conversion efficiency to ensure the highest quality

Our high performing modules have an industry low tolerance of 0~+3% (optional)

The modules can withstand high wind-pressure, snow loads and extreme temperatures

Passed IEC 5400 Pa mechanical loading test

### QUALITY & SAFETY

Industry leading power output warranty  
(12 years/90%, 25 years/80%)

10-year warranty on materials & workmanship (optional)

ISO 9001:2008 (Quality Management System) certified factory

IEC61215、IEC61730 certified products



### APPLICATIONS



On-grid residential roof-tops



On-grid commercial/  
industrial roof-tops



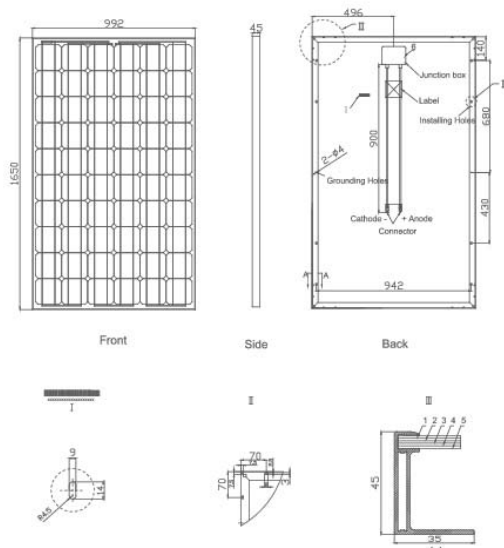
Solar power plants



Off-grid systems



## Engineering Drawings

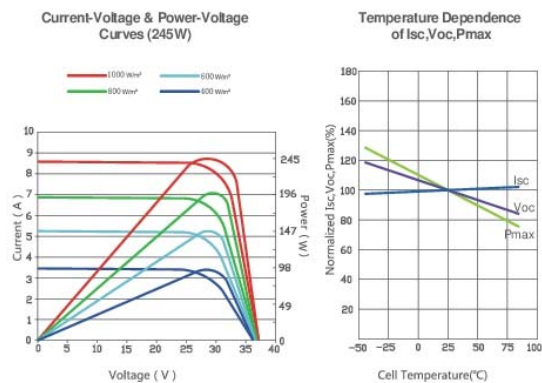


## Packaging Configuration

( Two boxes + 4pcs addition module = One pallet )

23 pcs/box, 50 pcs/pallet, 700 pcs/40'HQ Container

## Electrical Performance & Temperature Dependence



## Mechanical Characteristics

Cell Type	Mono-crystalline	156×156mm (6 inch)
No. of cells	60	(6×10)
Dimensions	1650×992×45mm	(64.97×39.06×1.77 inch)
Weight	19.0kg	(41.9 lbs.)
Front Glass	3.2mm, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass	
Frame	Anodized Aluminium Alloy	
Junction Box	IP65 Rated	
Output Cables	TÜV 1×4.0mm² / UL 12AWG, Length:900mm	

## SPECIFICATIONS

Module Type	JKM230M	JKM235M	JKM240M	JKM245M	JKM250M
Maximum Power at STC(Pmax)	230Wp	235Wp	240Wp	245Wp	250Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	29.9V	30.0V	30.2V	30.4V	30.6V
Maximum Power Current (Imp)	7.69A	7.83A	7.95A	8.06A	8.17A
Open-circuit Voltage (Voc)	37.1V	37.2V	37.3V	37.4V	37.6V
Short-circuit Current (Isc)	8.20A	8.31A	8.45A	8.58A	8.70A
Module Efficiency(%)	14.05%	14.36%	14.66%	14.97%	15.27%
Operating Temperature(°C)	-40°C ~ +85°C				
Maximum system voltage	600V ( UL ) /1000V (IEC) DC				
Maximum series fuse rating	15A				
Power tolerance	0 ~ +3% (optional)				
Temperature coefficients of Pmax	-0.43%/°C				
Temperature coefficients of Voc	-0.30%/°C				
Temperature coefficients of Isc	0.04%/°C				
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C				

STC: Irradiance 1000W/m² Module Temperature 25°C AM=1.5

\* Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby.

## Приложение В – Инсоляция на горизонтальную поверхность

№ дня в году	Инсоляция, Вт·ч	35	1730,63	72	3053,75	109	4052,81	146	5532,81
1	867,81	36	1728,75	73	3239,38	110	3993,44	147	5916,56
2	862,5	37	1776,88	74	3176,88	111	4283,75	148	5430,94
3	866,56	38	1827,5	75	2976,88	112	4500	149	5585,94
4	1034,06	39	1889,06	76	2894,38	113	4330,94	150	5601,88
5	864,69	40	1891,25	77	2829,69	114	4748,44	151	5252,5
6	990,31	41	1872,19	78	2885,31	115	4749,06	152	5540,31
7	977,5	42	1897,5	79	3020,63	116	5005,31	153	5208,75
8	883,13	43	1897,81	80	3310,63	117	5050,94	154	5865
9	953,13	44	1711,25	81	3513,44	118	5164,69	155	6201,25
10	924,69	45	1804,38	82	3607,81	119	5093,13	156	5986,25
11	1021,56	46	1799,06	83	3579,69	120	5355	157	6001,88
12	986,56	47	1852,5	84	3464,38	121	5700,94	158	5909,69
13	1096,56	48	2225,94	85	3274,38	122	5425,63	159	5900,63
14	1090,94	49	2327,19	86	3629,06	123	4993,75	160	6332,81
15	1094,38	50	2278,75	87	3220,63	124	5411,25	161	6058,75
16	999,06	51	2095,94	88	3351,88	125	5576,56	162	6222,81
17	1177,81	52	2131,56	89	4290,63	126	5108,44	163	5684,38
18	1153,75	53	2466,25	90	3974,38	127	5487,81	164	6110,63
19	1118,13	54	2418,13	91	3247,81	128	5050,94	165	6185,31
20	1198,44	55	2545,94	92	3583,75	129	5475,63	166	6115,31
21	1040,31	56	2668,44	93	3655,63	130	5543,44	167	5831,25
22	1240	57	2642,5	94	4057,81	131	5601,25	168	5689,38
23	1176,88	58	2611,56	95	4015,31	132	5386,56	169	5830,63
24	1249,69	59	2540,94	96	3920,94	133	6221,25	170	5615,63
25	1345	60	2040	97	3250,63	134	5690,63	171	5546,56
26	1237,19	61	2316,88	98	3216,88	135	5783,44	172	5385
27	1320	62	2271,56	99	3443,75	136	5701,25	173	5665,31
28	1382,19	63	2382,19	100	3370,94	137	6108,44	174	6025,31
29	1213,13	64	2468,44	101	3411,25	138	5687,81	175	5865
30	1502,5	65	2554,69	102	3892,5	139	5839,06	176	5524,38
31	1340,31	66	2706,56	103	4087,19	140	5835,31	177	5227,19
32	1522,81	67	2649,69	104	4056,25	141	5662,81	178	5400,94
33	1580,94	68	2914,69	105	3844,06	142	5761,56	179	5496,88
34	1623,75	69	2888,75	106	3988,44	143	5686,25	180	5432,5
		70	2865	107	4349,06	144	5671,88	181	5758,75
		71	2656,56	108	4453,13	145	5898,13	182	5949,39

183	6034,85	220	5797,58	257	3976,67	294	1909,7	331	920,3
184	6040,61	221	5531,52	258	4003,94	295	1900	332	935,15
185	6080	222	5634,24	259	3867,58	296	2051,21	333	804,85
186	5990,61	223	5760,3	260	3871,52	297	1714,85	334	852,12
187	6280,61	224	5467,88	261	3864,55	298	1861,52	335	966,06
188	5769,7	225	5152,73	262	3638,18	299	1566,06	336	988,48
189	5929,7	226	4780	263	3793,64	300	1660,91	337	1000,61
190	5983,64	227	5716,36	264	3350	301	1715,76	338	1016,06
191	5817,27	228	5471,52	265	3346,97	302	1800,3	339	944,55
192	5733,94	229	5671,82	266	3420,3	303	1671,21	340	826,97
193	6135,45	230	5404,85	267	3043,33	304	1627,88	341	960
194	5980,3	231	5272,42	268	2944,55	305	1689,39	342	925,15
195	6013,64	232	5129,09	269	3258,48	306	1636,67	343	927,58
196	5767,58	233	5076,97	270	3271,82	307	1494,55	344	897,27
197	5799,39	234	4879,09	271	3066,06	308	1492,42	345	910,91
198	5654,55	235	4866,06	272	3128,48	309	1568,18	346	789,09
199	5703,94	236	4956,67	273	2815,45	310	1440,3	347	824,24
200	6202,73	237	5180	274	3174,24	311	1367,58	348	820,3
201	6133,94	238	4829,09	275	2939,7	312	1336,67	349	810
202	6218,79	239	4530,3	276	3162,12	313	1419,39	350	964,24
203	6103,64	240	4582,12	277	2882,12	314	1253,03	351	960,3
204	5916,06	241	4500,61	278	3015,45	315	1282,73	352	918,79
205	5631,52	242	4633,64	279	2836,06	316	1238,18	353	910
206	5561,52	243	4366,36	280	2881,52	317	1153,64	354	797,27
207	5681,21	244	4582,73	281	2879,7	318	1189,7	355	819,39
208	5724,85	245	4400,61	282	2418,18	319	1067,88	356	824,55
209	5953,03	246	4416,36	283	2629,7	320	1026,97	357	956,67
210	5549,09	247	4632,73	284	2584,85	321	1178,18	358	893,03
211	5675,15	248	4279,09	285	2435,76	322	1105,15	359	886,97
212	5605,76	249	3995,15	286	2597,27	323	1078,48	360	906,97
213	5848,18	250	4021,82	287	2551,21	324	990,91	361	752,12
214	5899,7	251	3935,45	288	2496,97	325	973,33	362	796,06
215	5775,15	252	3722,12	289	2333,94	326	911,21	363	906,06
216	5361,21	253	3978,79	290	2187,58	327	1104,55	364	837,88
217	5835,45	254	4073,03	291	1940,91	328	999,7	365	956,67
218	5790,61	255	4026,06	292	1924,85	329	879,39		
219	5712,73	256	4053,64	293	2031,82	330	1003,03		

Приложение Г – Инсоляция на наклонную поверхность 1м<sup>2</sup>

№ дня в году	Инсоляция на наклонную поверхность, кВт·ч						
1	2,15	34	3,11	71	4,11	108	5,79
2	2,12	35	3,3	72	4,7	109	5,25
3	2,11	36	3,27	73	4,96	110	5,15
4	2,49	37	3,34	74	4,84	111	5,5
5	2,07	38	3,41	75	4,52	112	5,75
6	2,35	39	3,51	76	4,37	113	5,51
7	2,3	40	3,49	77	4,25	114	6,02
8	2,06	41	3,43	78	4,31	115	5,99
9	2,2	42	3,46	79	4,49	116	6,29
10	2,12	43	3,44	80	4,9	117	6,32
11	2,32	44	3,08	81	5,17	118	6,43
12	2,22	45	3,23	82	5,29	119	6,32
13	2,45	46	3,2	83	5,22	120	6,61
14	2,42	47	3,27	84	5,03	121	7,01
15	2,41	48	3,91	85	4,73	122	6,64
16	2,18	49	4,06	86	5,22	123	6,09
17	2,55	50	3,96	87	4,61	124	6,57
18	2,48	51	3,62	88	4,77	125	6,74
19	2,38	52	3,66	89	6,08	126	6,15
20	2,54	53	4,21	90	5,61	127	6,58
21	2,18	54	4,1	91	4,56	128	6,03
22	2,59	55	4,3	92	5,01	129	6,51
23	2,44	56	4,48	93	5,09	130	6,56
24	2,57	57	4,41	94	5,62	131	6,6
25	2,74	58	4,33	95	5,53	132	6,33
26	2,51	59	4,19	96	5,38	133	7,28
27	2,65	60	3,35	97	4,44	134	6,63
28	2,76	61	3,78	98	4,37	135	6,71
29	2,41	62	3,69	99	4,66	136	6,59
30	2,96	63	3,85	100	4,54	137	7,03
31	2,62	64	3,96	101	4,58	138	6,52
32	2,96	65	4,08	102	5,2	139	6,66
33	3,05	66	4,3	103	5,43	140	6,63
		67	4,19	104	5,37	141	6,41
		68	4,58	105	5,06	142	6,49
		69	4,52	106	5,23	143	6,38
		70	4,46	107	5,68	144	6,34

145	6,57	183	6,4	221	6,86	259	5,7
146	6,14	184	6,44	222	7,02	260	5,73
147	6,54	185	6,5	223	7,2	261	5,75
148	5,98	186	6,43	224	6,87	262	5,44
149	6,12	187	6,77	225	6,5	263	5,67
150	6,11	188	6,25	226	6,05	264	5,03
151	5,71	189	6,45	227	7,27	265	5,05
152	6	190	6,53	228	6,99	266	5,19
153	5,62	191	6,37	229	7,28	267	4,64
154	6,3	192	6,31	230	6,97	268	4,51
155	6,63	193	6,78	231	6,82	269	5,02
156	6,38	194	6,63	232	6,67	270	5,07
157	6,37	195	6,7	233	6,63	271	4,77
158	6,25	196	6,45	234	6,4	272	4,89
159	6,21	197	6,51	235	6,41	273	4,43
160	6,64	198	6,37	236	6,56	274	5,02
161	6,33	199	6,46	237	6,89	275	4,67
162	6,47	200	7,05	238	6,45	276	5,05
163	5,89	201	7	239	6,08	277	4,63
164	6,31	202	7,12	240	6,17	278	4,87
165	6,36	203	7,02	241	6,09	279	4,6
166	6,26	204	6,83	242	6,3	280	4,7
167	5,95	205	6,53	243	5,96	281	4,73
168	5,78	206	6,48	244	6,29	282	3,99
169	5,9	207	6,64	245	6,06	283	4,36
170	5,66	208	6,72	246	6,11	284	4,31
171	5,61	209	7,02	247	6,44	285	4,09
172	5,47	210	6,57	248	5,98	286	4,38
173	5,78	211	6,75	249	5,61	287	4,33
174	6,17	212	6,69	250	5,67	288	4,26
175	6,03	213	7,01	251	5,58	289	4,01
176	5,7	214	7,1	252	5,3	290	3,78
177	5,42	215	6,98	253	5,69	291	3,37
178	5,62	216	6,51	254	5,85	292	3,36
179	5,74	217	7,11	255	5,81	293	3,57
180	5,7	218	7,09	256	5,88	294	3,38
181	6,06	219	7,02	257	5,8	295	3,38
182	6,29	220	7,16	258	5,87	296	3,67

297	3,09
298	3,37
299	2,85
300	3,05
301	3,17
302	3,34
303	3,12
304	3,06
305	3,2
306	3,12
307	2,87
308	2,88
309	3,05
310	2,82
311	2,69
312	2,65
313	2,83
314	2,52

315	2,6
316	2,53
317	2,37
318	2,46
319	2,23
320	2,16
321	2,49
322	2,36
323	2,32
324	2,15
325	2,12
326	2
327	2,45
328	2,23
329	1,98
330	2,28
331	2,11
332	2,16

333	1,87
334	2
335	2,29
336	2,36
337	2,41
338	2,47
339	2,32
340	2,05
341	2,4
342	2,34
343	2,36
344	2,31
345	2,37
346	2,07
347	2,19
348	2,2
349	2,19
350	2,64

351	2,66
352	2,57
353	2,57
354	2,3
355	2,34
356	2,33
357	2,67
358	2,47
359	2,43
360	2,46
361	2,02
362	2,11
363	2,38
364	2,18
365	2,46

Приложение Д – Вырабатываемая энергия с 1м<sup>2</sup> наклонной поверхности, с учетом  
КПД солнечных панелей

№ дня в году	Эл-энергия, Вт·ч/сут	34	475,47	70	680,79	106	798,87	142	991,77
1	328,38	35	503,45	71	628,02	107	867,27	143	974,84
2	323,38	36	499,63	72	718,23	108	884,13	144	968,45
3	321,96	37	510,23	73	758,01	109	801,13	145	1003
4	380,77	38	521,41	74	739,63	110	785,96	146	937,11
5	315,59	39	535,56	75	689,59	111	839,44	147	998,07
6	358,28	40	532,8	76	667,12	112	878	148	912,47
7	350,59	41	524,14	77	648,97	113	841,36	149	934,74
8	314,04	42	527,93	78	658,45	114	918,5	150	933,65
9	336,08	43	524,77	79	685,93	115	914,68	151	871,92
10	323,33	44	470,29	80	748,1	116	959,91	152	916,01
11	354,26	45	492,88	81	790,05	117	964,52	153	857,75
12	339,33	46	488,47	82	807,34	118	982,05	154	961,96
13	374,12	47	499,98	83	797,17	119	964,33	155	1013,1
14	369,23	48	597,21	84	767,78	120	1009,6	156	974,03
15	367,47	49	620,69	85	722,2	121	1070,3	157	972,68
16	332,84	50	604,22	86	796,61	122	1014,3	158	953,93
17	389,35	51	552,52	87	703,6	123	929,67	159	948,68
18	378,48	52	558,67	88	728,81	124	1003,2	160	1014,1
19	364,01	53	642,69	89	928,54	125	1029,5	161	966,37
20	387,23	54	626,56	90	856,07	126	939,13	162	988,6
21	333,64	55	655,95	91	696,31	127	1004,7	163	899,47
22	394,75	56	683,66	92	764,76	128	920,85	164	963,08
23	371,92	57	673,23	93	776,49	129	994,14	165	970,99
24	392,08	58	661,67	94	857,94	130	1002,3	166	956,19
25	418,96	59	640,23	95	845,06	131	1008,6	167	908,16
26	382,65	60	511,19	96	821,43	132	965,91	168	882,55
27	405,39	61	577,42	97	677,89	133	1111	169	900,88
28	421,53	62	563,06	98	667,81	134	1012,1	170	864,18
29	367,42	63	587,31	99	711,68	135	1024,4	171	856,95
30	451,95	64	605,32	100	693,49	136	1005,7	172	835,3
31	400,43	65	623,15	101	698,64	137	1073,1	173	882,27
32	451,9	66	656,71	102	793,63	138	995,13	174	942,07
33	466,02	67	639,53	103	829,61	139	1017,4	175	920,66
		68	699,82	104	819,68	140	1012,7	176	870,64
		69	689,99	105	773,36	141	978,73	177	827,09

178	857,99	216	993,84	254	894,01	292	513,39	330	347,83
179	876,71	217	1086,3	255	887,94	293	545,12	331	321,8
180	869,9	218	1082,5	256	898,32	294	515,42	332	329,74
181	925,82	219	1072,5	257	885,52	295	515,88	333	286,21
182	960,29	220	1093	258	895,93	296	560,31	334	305,62
183	977,98	221	1047,3	259	869,64	297	471,28	335	349,51
184	982,83	222	1071,3	260	874,79	298	514,73	336	360,77
185	993,2	223	1099,9	261	877,52	299	435,72	337	368,45
186	982,51	224	1048,6	262	830,21	300	464,99	338	377,51
187	1034,2	225	992,37	263	865,73	301	483,36	339	354,14
188	953,89	226	924,56	264	768,3	302	510,39	340	312,93
189	984,28	227	1110,5	265	771,44	303	476,82	341	366,66
190	997,23	228	1067,5	266	792,3	304	467,45	342	356,7
191	973,41	229	1111,4	267	708,54	305	488,26	343	361,07
192	963,33	230	1063,7	268	689,02	306	476,12	344	352,67
193	1034,9	231	1042,2	269	766,38	307	437,64	345	361,56
194	1012,9	232	1018,3	270	773,46	308	439,93	346	316,34
195	1022,6	233	1012,4	271	728,56	309	465,36	347	333,77
196	984,74	234	977,21	272	747,25	310	430,3	348	335,59
197	994,19	235	978,92	273	676	311	411,36	349	334,82
198	973,3	236	1001,6	274	766,14	312	404,84	350	402,79
199	985,79	237	1051,4	275	713,27	313	432,88	351	405,44
200	1076,4	238	984,54	276	771,32	314	384,82	352	392,12
201	1068,8	239	927,77	277	706,77	315	396,73	353	392,65
202	1088	240	942,61	278	743,44	316	385,69	354	351,86
203	1072,2	241	930,03	279	702,99	317	361,94	355	357,56
204	1043,5	242	961,87	280	718,14	318	375,97	356	355,83
205	997,4	243	910,52	281	721,61	319	339,95	357	408,34
206	989,05	244	960,01	282	609,3	320	329,36	358	377,09
207	1014,5	245	926,1	283	666,26	321	380,68	359	370,56
208	1026,5	246	933,7	284	658,55	322	359,79	360	374,95
209	1071,9	247	983,98	285	624,04	323	353,79	361	307,73
210	1003,3	248	913,09	286	669,18	324	327,57	362	322,4
211	1030,3	249	856,48	287	661,05	325	324,27	363	363,27
212	1022	250	866,24	288	650,7	326	305,96	364	332,62
213	1070,6	251	851,63	289	611,71	327	373,84	365	376,06
214	1084,5	252	809,27	290	576,68	328	341,07		
215	1066,1	253	869,18	291	514,64	329	302,47		



## Приложение Е – Количество вырабатываемой энергии со всех ФЭМ

№ дня	Эл энергия, Вт·ч/сут	36	25900,82	73	39295,24	110	40744,17	147	51739,95
1	17023,22	37	26450,32	74	38342,42	111	43516,57	148	47302,44
2	16764,02	38	27029,89	75	35748,35	112	45515,52	149	48456,92
3	16690,41	39	27763,43	76	34583,5	113	43616,1	150	48400,42
4	19739,12	40	27620,35	77	33642,6	114	47615,04	151	45200,33
5	16360,19	41	27171,42	78	34134,05	115	47417,01	152	47485,96
6	18573,24	42	27367,89	79	35558,61	116	49761,73	153	44465,76
7	18174,59	43	27204,08	80	38781,5	117	50000,72	154	49868,01
8	16279,83	44	24379,83	81	40956,19	118	50909,47	155	52516,51
9	17422,39	45	25550,9	82	41852,51	119	49990,87	156	50493,72
10	16761,43	46	25322,28	83	41325,29	120	52338,7	157	50423,73
11	18364,84	47	25918,96	84	39801,72	121	55484,35	158	49451,73
12	17590,87	48	30959,37	85	37438,85	122	52582,87	159	49179,57
13	19394,38	49	32176,57	86	41296,26	123	48194,09	160	52571,46
14	19140,88	50	31322,76	87	36474,62	124	52004,33	161	50096,62
15	19049,64	51	28642,64	88	37781,51	125	53368,76	162	51249,02
16	17254,43	52	28961,45	89	48135,51	126	48684,5	163	46628,52
17	20183,9	53	33317,05	90	44378,67	127	52082,61	164	49926,07
18	19620,4	54	32480,87	91	36096,71	128	47736,86	165	50336,12
19	18870,28	55	34004,45	92	39645,16	129	51536,22	166	49568,89
20	20074	56	35440,93	93	40253,24	130	51958,71	167	47079,01
21	17295,9	57	34900,24	94	44475,61	131	52283,75	168	45751,39
22	20463,84	58	34300,97	95	43807,91	132	50072,77	169	46701,62
23	19280,33	59	33189,52	96	42582,93	133	57594,24	170	44799,09
24	20325,43	60	26500,09	97	35141,82	134	52465,71	171	44424,29
25	21718,89	61	29933,45	98	34619,27	135	53102,82	172	43301,95
26	19836,58	62	29189,03	99	36893,49	136	52133,93	173	45736,88
27	21015,42	63	30446,15	100	35950,52	137	55629,5	174	48836,91
28	21852,12	64	31379,79	101	36217,5	138	51587,54	175	47727,01
29	19047,05	65	32304,1	102	41141,78	139	52744,09	176	45133,98
30	23429,09	66	34043,85	103	43006,98	140	52495,78	177	42876,35
31	20758,29	67	33153,24	104	42492,21	141	50737,36	178	44478,2
32	23426,5	68	36278,67	105	40090,98	142	51413,36	179	45448,65
33	24158,48	69	35769,08	106	41413,42	143	50535,71	180	45095,62
34	24648,36	70	35292,15	107	44959,28	144	50204,45	181	47994,51
35	26098,85	71	32556,56	108	45833,3	145	51996,56	182	49781,43
		72	37233,04	109	41530,58	146	48579,78	183	50698,48

184	50949,91
185	51487,49
186	50933,32
187	53613,45
188	49449,66
189	51025,08
190	51696,4
191	50461,57
192	49939,03
193	53651,29
194	52506,14
195	53012,1
196	51048,92
197	51538,81
198	50455,87
199	51103,35
200	55798,5
201	55405,04
202	56400,88
203	55582,85
204	54095,56
205	51705,22
206	51272,35
207	52591,68
208	53214,8
209	55564,7
210	52009
211	53411,27
212	52977,89
213	55499,39
214	56222,55
215	55266,11
216	51520,67
217	56313,79
218	56116,8
219	55596,33
220	56661,64

221	54291
222	55535,16
223	57020,37
224	54357,35
225	51444,46
226	47929,19
227	57565,73
228	55338,68
229	57613,94
230	55141,69
231	54025,57
232	52787,64
233	52481,26
234	50658,57
235	50747,21
236	51921,91
237	54503,02
238	51038,55
239	48095,6
240	48864,9
241	48212,76
242	49863,34
243	47201,36
244	49766,92
245	48009,02
246	48403,01
247	51009,52
248	47334,59
249	44399,92
250	44905,88
251	44148,5
252	41952,56
253	45058,29
254	46345,48
255	46030,81
256	46568,91
257	45905,36

258	46445,01
259	45082,14
260	45349,11
261	45490,64
262	43038,09
263	44879,44
264	39828,67
265	39991,45
266	41072,83
267	36730,71
268	35718,8
269	39729,14
270	40096,17
271	37768,55
272	38737,44
273	35043,84
274	39716,7
275	36975,92
276	39985,23
277	36638,96
278	38539,93
279	36443
280	37228,38
281	37408,26
282	31586,11
283	34538,92
284	34139,23
285	32350,23
286	34690,29
287	34268,83
288	33732,29
289	31711,05
290	29895,09
291	26678,94
292	26614,14
293	28259,02
294	26719,37

295	26743,22
296	29046,47
297	24431,16
298	26683,6
299	22587,72
300	24105,08
301	25057,38
302	26458,62
303	24718,35
304	24232,61
305	25311,4
306	24682,06
307	22687,26
308	22805,97
309	24124,26
310	22306,75
311	21324,9
312	20986,91
313	22440,5
314	19949,07
315	20566,48
316	19994,17
317	18762,97
318	19490,28
319	17623,01
320	17074,02
321	19734,45
322	18651,51
323	18340,47
324	16981,23
325	16810,16
326	15860,97
327	19379,87
328	17681,07
329	15680,04
330	18031,51
331	16682,11

332	17093,72
333	14837,13
334	15843,34
335	18118,6
336	18702,32
337	19100,45
338	19570,12
339	18358,62
340	16222,29
341	19007,65
342	18491,33
343	18717,87
344	18282,41
345	18743,27
346	16399,07
347	17302,64
348	17396,99
349	17357,07
350	20880,63
351	21018,01
352	20327,5
353	20354,98
354	18240,42
355	18535,91
356	18446,23
357	21168,35
358	19548,35
359	19209,83
360	19437,41
361	15952,72
362	16713,22
363	18831,92
364	17243,02
365	19494,95

## Приложение Ж – Технические параметры инвертора



SUNNY BOY 9000TL-US / 10000TL-US / 11000TL-US

SB 9000TLUS-12 / SB 10000TLUS-12 / SB 11000TLUS-12



**NOW AVAILABLE FOR 240 V**



<p><b>Innovative</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• First transformerless SMA inverter to be certified in accordance with UL 1741</li> <li>• First inverter with arc-fault circuit interrupter listed according to UL 1699B</li> </ul>	<p><b>Economical</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximum efficiency of 98.7%</li> <li>• Class-leading CEC efficiency of 98.5%</li> <li>• Superior MPP tracking with OptiTrac™</li> <li>• Transformerless, with H5 topology</li> </ul>	<p><b>Reliable</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• OptiCool™ active temperature management</li> </ul>	<p><b>Convenient</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Integrated DC disconnect</li> <li>• SMA Power Balancer for three-phase grid connection</li> <li>• WebConnect compatible</li> </ul>
--	--	--	--

### SUNNY BOY 9000TL-US / 10000TL-US / 11000TL-US

Transformerless design, maximum energy production

The Sunny Boy TL-US series is UL listed for North America and features SMA's innovative H5 topology, resulting in superior efficiencies of more than 98 percent and unmatched solar power production. The transformerless design reduces weight, increases the speed of payback and provides optimum value for any residential or decentralized commercial PV system. The Sunny Boy TL-US series for North America is the ideal choice in transformerless technology.

## SUNNY BOY 9000TL-US / 10000TL-US / 11000TL-US

Technical data	Sunny Boy 9000TL-US	
	208 V	240 V
<b>Input (DC)</b>		
Max. usable DC power (@ $\cos \varphi = 1$ )	9400 W	9400 W
Max. input voltage	600 V	600 V
MPP voltage range / rated input voltage	300 V - 480 V / 345 V	345 V - 480 V / 379 V
Min. input voltage / initial input voltage	300 V / 360 V	345 V / 360 V
Max. input current	31.0 A	27.1 A
Max. input current per string	31.0 A	27.1 A
Number of independent MPP inputs	1	1
Strings per MPP input @ Combiner Box	6	6
<b>Output (AC)</b>		
Rated power / max. apparent AC power	9000 W / 9000 VA	
Nominal AC voltage / nominal AC voltage range	208 V / 183 V - 229 V	240 V / 211 V - 264 V
AC power frequency	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz
Max. output current	43.3 A	37.5 A
Power factor at rated power	1	
Feed-in phases / connection phases	1 / 2	
<b>Efficiency</b>		
CEC efficiency / max. efficiency	98 % / 98.6 %	98 % / 98.7 %
<b>Protective devices</b>		
DC reverse polarity protection	●	
AC short-circuit current capability	●	
Galvanic isolation	-	
All-pole-sensitive residual-current monitoring unit	●	
Arc-fault circuit interrupter (according to UL 1699B)	●	
Protection class	I	
Overvoltage category	IV	
<b>General data</b>		
Dimensions (W / H / D)	470 / 615 / 240 mm (18.4 / 24.1 / 9.5 inch)	
Dimensions of DC Disconnect (W / H / D)	187 / 297 / 190 mm (7.28 / 11.7 / 7.5 inch)	
Weight	3.5 kg / 7.8 lb	
Weight of DC Disconnect	3.5 kg / 8 lb	
Operating temperature range	-40 °C ... +60 °C / -40 °F ... +140 °F	
Noise emission (typical)	46 dB(A)	
Self-consumption (night)	0.15 W	
Topology	Transformerless H5	
Cooling concept	OptiCool	
Degree of protection	NEMA 3R	
Degree of protection of connection area	NEMA 3R	
Max. permissible value for relative humidity (non-condensing)	100 %	
<b>Features</b>		
DC connection	Screw terminal	
AC connection	Screw terminal	
Display	Text line	
Interface: RS485 / Bluetooth / WebConnect	○ / ○ / ○	
Warranty: 10 / 15 / 20 years	● / ○ / ○	
Certificates and approvals (more available on request)	UL1741, UL1998, IEEE1547, FCC Part 15 (Class A & B), CAN/CSA C22.2 107.1-1, UL 1699B	
● Standard features ○ Optional features - Not available		
NOTE: US inverters ship with gray lids Data at nominal conditions		
Type designation	SB 9000TLUS-12	

Приложение 3 – Генерация электрической энергии с учетом потерь в проводнике  
и КПД инвертора

№ дня	Энергии, кВт·ч/сут						
1	16,51	34	23,92	70	34,24	106	40,18
2	16,26	35	25,32	71	31,59	107	43,62
3	16,19	36	25,13	72	36,12	108	44,46
4	19,15	37	25,66	73	38,13	109	40,29
5	15,87	38	26,22	74	37,2	110	39,53
6	18,02	39	26,93	75	34,68	111	42,22
7	17,63	40	26,8	76	33,55	112	44,16
8	15,79	41	26,36	77	32,64	113	42,32
9	16,9	42	26,55	78	33,11	114	46,2
10	16,26	43	26,39	79	34,5	115	46,01
11	17,81	44	23,65	80	37,62	116	48,28
12	17,07	45	24,79	81	39,74	117	48,51
13	18,81	46	24,57	82	40,6	118	49,39
14	18,57	47	25,15	83	40,1	119	48,5
15	18,48	48	30,04	84	38,61	120	50,78
16	16,74	49	31,22	85	36,32	121	53,83
17	19,58	50	30,39	86	40,07	122	51,01
18	19,04	51	27,79	87	35,38	123	46,75
19	18,31	52	28,1	88	36,65	124	50,45
20	19,47	53	32,33	89	46,71	125	51,78
21	16,78	54	31,51	90	43,06	126	47,23
22	19,85	55	32,99	91	35,02	127	50,53
23	18,71	56	34,38	92	38,47	128	46,32
24	19,72	57	33,86	93	39,05	129	50
25	21,07	58	33,28	94	43,15	130	50,41
26	19,25	59	32,2	95	42,5	131	50,72
27	20,39	60	25,71	96	41,31	132	48,58
28	21,2	61	29,04	97	34,09	133	55,87
29	18,48	62	28,32	98	33,59	134	50,91
30	22,73	63	29,54	99	35,79	135	51,52
31	20,14	64	30,44	100	34,88	136	50,58
32	22,73	65	31,34	101	35,14	137	53,97
33	23,44	66	33,03	102	39,91	138	50,05
		67	32,16	103	41,73	139	51,17
		68	35,2	104	41,22	140	50,94
		69	34,7	105	38,9	141	49,23

142	49,88
143	49,03

144	48,7
145	50,45

146	47,13
147	50,2

148	45,89
149	47,02

150	46,96
151	43,85
152	46,07
153	43,14
154	48,38
155	50,95
156	48,99
157	48,92
158	47,98
159	47,71
160	51
161	48,61
162	49,72
163	45,24
164	48,44
165	48,84
166	48,09
167	45,68
168	44,39
169	45,31
170	43,46
171	43,1
172	42,01
173	44,38
174	47,38
175	46,31
176	43,79
177	41,6
178	43,15
179	44,1
180	43,76
181	46,56
182	48,3
183	49,19
184	49,43

185	49,96
186	49,41
187	52,01
188	47,98
189	49,51
190	50,16
191	48,96
192	48,45
193	52,05
194	50,95
195	51,43
196	49,53
197	50
198	48,96
199	49,58
200	54,14
201	53,76
202	54,72
203	53,92
204	52,49
205	50,17
206	49,74
207	51,02
208	51,62
209	53,9
210	50,46
211	51,82
212	51,4
213	53,85
214	54,54
215	53,62
216	49,98
217	54,63
218	54,45
219	53,94

220	54,97
221	52,67
222	53,88
223	55,32
224	52,74
225	49,91
226	46,5
227	55,85
228	53,69
229	55,89
230	53,5
231	52,42
232	51,22
233	50,92
234	49,15
235	49,24
236	50,37
237	52,88
238	49,52
239	46,67
240	47,4
241	46,77
242	48,37
243	45,79
244	48,29
245	46,58
246	46,96
247	49,49
248	45,92
249	43,08
250	43,57
251	42,83
252	40,7
253	43,72
254	44,97

255	44,66
256	45,18
257	44,54
258	45,07
259	43,74
260	44
261	44,13
262	41,76
263	43,54
264	38,64
265	38,8
266	39,85
267	35,64
268	34,66
269	38,55
270	38,91
271	36,64
272	37,59
273	34
274	38,54
275	35,88
276	38,8
277	35,55
278	37,39
279	35,35
280	36,12
281	36,3
282	30,65
283	33,51
284	33,12
285	31,39
286	33,66
287	33,25
288	32,72
289	30,77

290	29,01
291	25,88
292	25,82
293	27,42
294	25,92
295	25,94
296	28,18
297	23,7
298	25,88
299	21,92
300	23,39
301	24,31
302	25,67
303	23,98
304	23,51
305	24,56
306	23,94
307	22,01
308	22,13

309	23,4
310	21,65
311	20,68
312	20,36
313	21,77
314	19,36
315	19,96
316	19,39
317	18,2
318	18,91
319	17,09
320	16,56
321	19,14
322	18,09
323	17,79
324	16,47
325	16,31
326	15,39
327	18,8

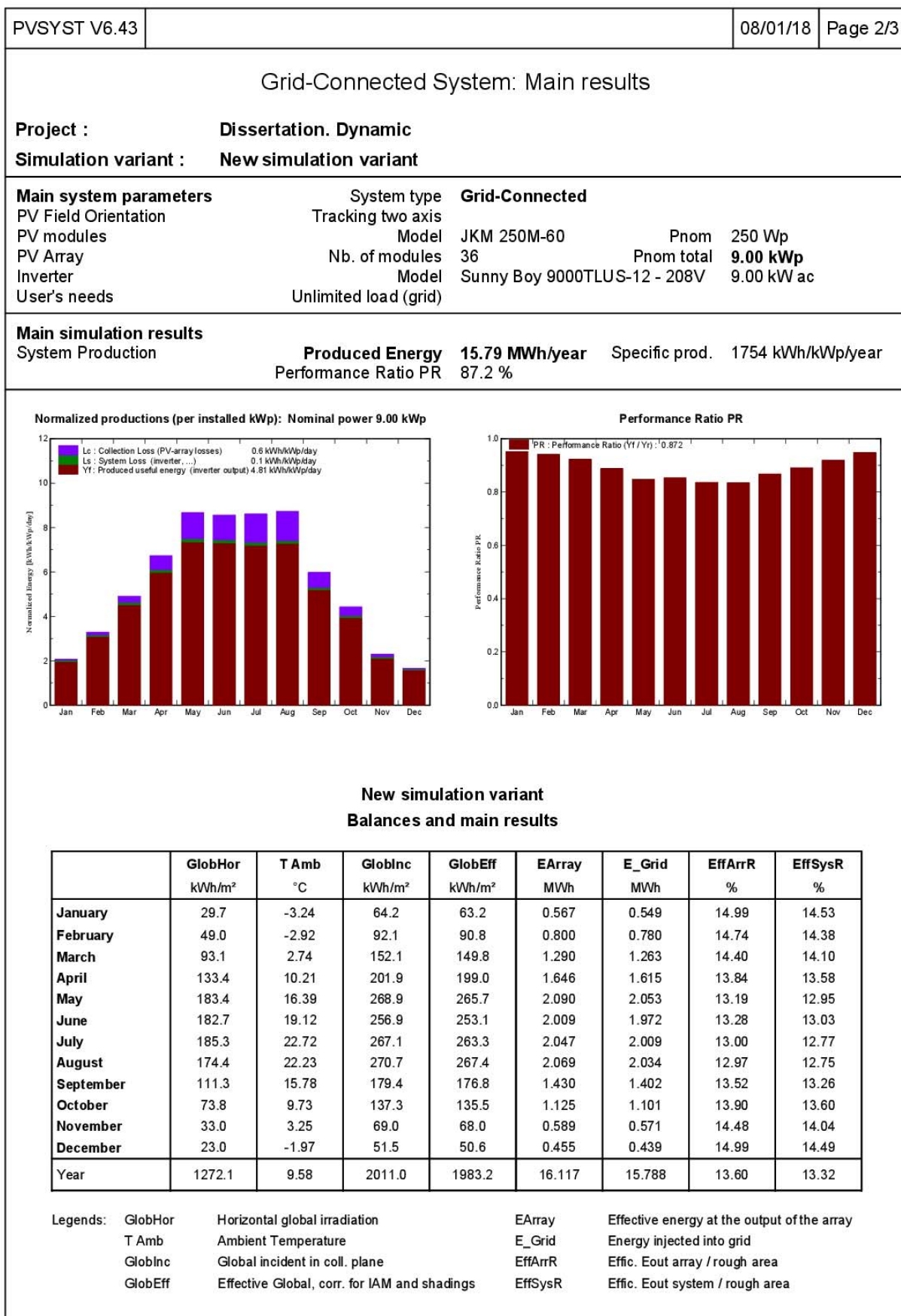
328	17,15
329	15,21
330	17,49
331	16,18
332	16,58
333	14,4
334	15,37
335	17,58
336	18,14
337	18,53
338	18,99
339	17,81
340	15,74
341	18,44
342	17,94
343	18,16
344	17,74
345	18,18
346	15,91

347	16,78
348	16,88
349	16,84
350	20,26
351	20,39
352	19,72
353	19,74
354	17,7
355	17,99
356	17,9
357	20,54
358	18,97
359	18,64
360	18,86
361	15,47
362	16,21
363	18,27
364	16,73
365	18,91

Приложение И – Отчет программы PVsyst о моделировании работы солнечной  
станции с двухосевым трекером

PVSYST V6.43		08/01/18	Page 1/3		
<b>Grid-Connected System: Simulation parameters</b>					
<b>Project :</b>	<b>Dissertation. Dynamic</b>				
<b>Geographical Site</b>	<b>Ilarionove</b>	<b>Country</b>	<b>Ukraine</b>		
<b>Situation</b>	Latitude	48.4°N	Longitude	35.3°E	
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+2	Altitude	146 m	
	Albedo	0.20			
<b>Meteo data:</b>	<b>Ilarionove</b>	Meteonorm 7.1 (1991-2010), Sat=100% - Synthetic			
<b>Simulation variant :</b>	<b>New simulation variant</b>				
	Simulation date	08/01/18 21h18			
<b>Simulation parameters</b>					
<b>Tracking plane, two axis</b>	Minimum Tilt	0°	Maximum Tilt	75°	
Rotation Limitations	Minimum Azimuth	-165°	Maximum Azimuth	165°	
<b>Models used</b>	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm	
<b>Horizon</b>	Free Horizon				
<b>Near Shadings</b>	No Shadings				
<b>PV Array Characteristics</b>					
<b>PV module</b>	Si-mono	Model	<b>JKM 250M-60</b>		
<small>Original PVsyst database</small>		Manufacturer	Jinkosolar		
Number of PV modules		In series	12 modules	In parallel	3 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	36	Unit Nom. Power	250 Wp
Array global power		Nominal (STC)	<b>9.00 kWp</b>	At operating cond.	8.08 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	327 V	I mpp	25 A
Total area		Module area	<b>58.9 m<sup>2</sup></b>	Cell area	51.3 m <sup>2</sup>
<b>Inverter</b>					
<small>Original PVsyst database</small>		Model	<b>Sunny Boy 9000TLUS-12 - 208V</b>		
		Manufacturer	SMA		
Characteristics		Operating Voltage	300-480 V	Unit Nom. Power	9.00 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	1 units	Total Power	9.0 kWac
<b>PV Array loss factors</b>					
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m <sup>2</sup> K	Uv (wind)	0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s	
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	223 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC	
Module Quality Loss			Loss Fraction	-0.8 %	
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP	
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05	
<b>User's needs :</b>	Unlimited load (grid)				



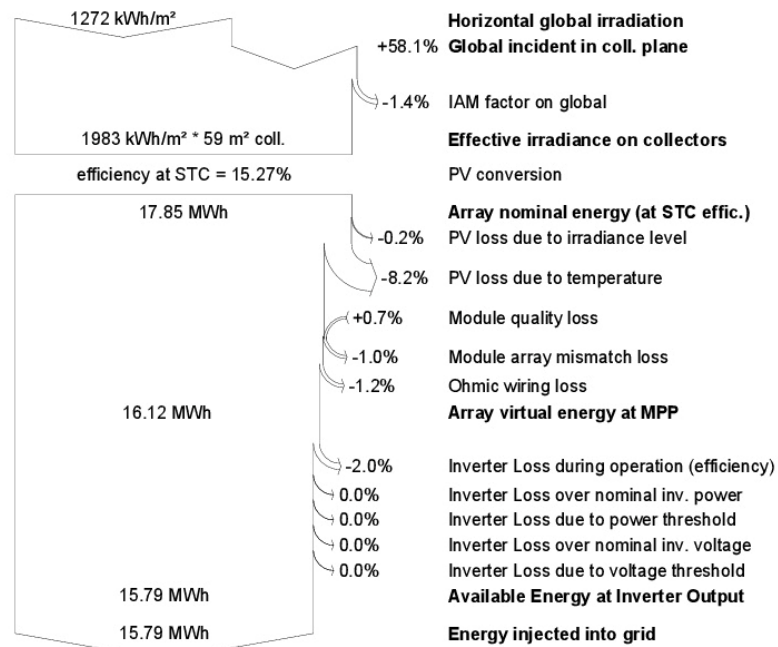


### Grid-Connected System: Loss diagram

**Project :**                    **Dissertation. Dynamic**  
**Simulation variant :**    **New simulation variant**

<b>Main system parameters</b>	System type	<b>Grid-Connected</b>	
PV Field Orientation	Tracking two axis		
PV modules	Model	JKM 250M-60	Pnom 250 Wp
PV Array	Nb. of modules	36	Pnom total <b>9.00 kWp</b>
Inverter	Model	Sunny Boy 9000TLUS-12 - 208V	9.00 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

#### Loss diagram over the whole year



Приложение К – Отчет программы PVsyst о моделировании работы стационарной  
солнечной станции

PVSYST V6.43		20/01/18	Page 1/3
<b>Grid-Connected System: Simulation parameters</b>			
<b>Project :</b>	<b>Dissertation. Static</b>		
<b>Geographical Site</b>	<b>Ilarionove</b>	<b>Country</b>	<b>Ukraine</b>
<b>Situation</b>	Latitude	48.4°N	Longitude 35.3°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+2	Altitude 146 m
	Albedo	0.20	
<b>Meteo data:</b>	<b>Ilarionove</b>	Meteonorm 7.1 (1991-2010), Sat=100% - Synthetic	
<b>Simulation variant :</b>	<b>New simulation variant</b>		
	Simulation date	20/01/18 18h38	
<b>Simulation parameters</b>			
<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt	48°	Azimuth 0°
<b>Models used</b>	Transposition	Perez	Diffuse Perez, Meteonorm
<b>Horizon</b>	Free Horizon		
<b>Near Shadings</b>	No Shadings		
<b>PV Array Characteristics</b>			
<b>PV module</b>	Si-mono	Model	<b>JKM 250M-60</b>
Original PVsyst database		Manufacturer	Jinkosolar
Number of PV modules		In series	12 modules
Total number of PV modules		Nb. modules	36
Array global power		Nominal (STC)	<b>9.00 kWp</b>
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	327 V
Total area		Module area	<b>58.9 m<sup>2</sup></b>
			In parallel 3 strings
			Unit Nom. Power 250 Wp
			At operating cond. 8.08 kWp (50°C)
			I mpp 25 A
			Cell area 51.3 m <sup>2</sup>
<b>Inverter</b>			
Original PVsyst database		Model	<b>Sunny Boy 9000TL U-208</b>
		Manufacturer	SMA
Characteristics	Operating Voltage	300-480 V	Unit Nom. Power 9.00 kWac
Inverter pack	Nb. of inverters	1 units	Total Power 9.0 kWac
<b>PV Array loss factors</b>			
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m <sup>2</sup> K	Uv (wind) 0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	223 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction -0.8 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param. 0.05
<b>User's needs :</b>	Unlimited load (grid)		

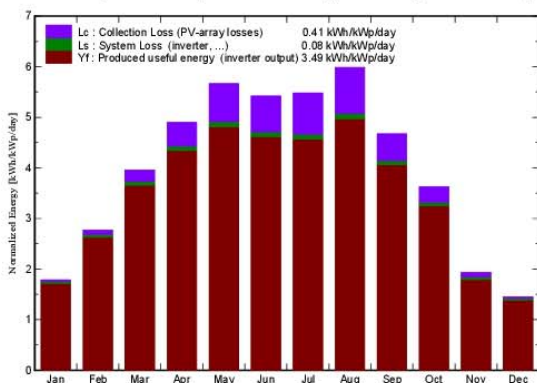
### Grid-Connected System: Main results

**Project :** Dissertation  
**Simulation variant :** New simulation variant

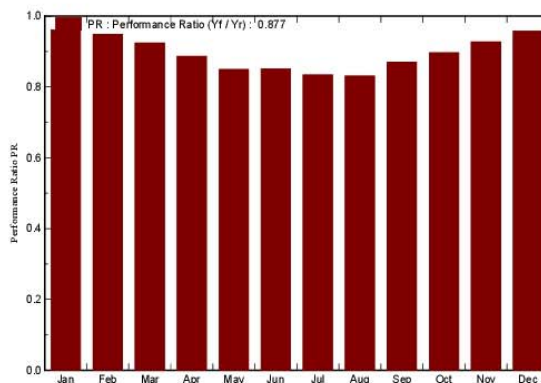
<b>Main system parameters</b>		<b>System type</b>	<b>Grid-Connected</b>
PV Field Orientation		tilt	48°
PV modules		Model	JKM 250M-60
PV Array		Nb. of modules	36
Inverter		Model	Sunny Boy 9000TL U-208
User's needs		Unlimited load (grid)	
		azimuth	0°
		Pnom	250 Wp
		Pnom total	<b>9.00 kWp</b>
		Pnom	9.00 kW ac

**Main simulation results**  
**System Production** **Produced Energy** **11.47 MWh/year** Specific prod. **1274 kWh/kWp/year**  
**Performance Ratio PR** **87.7 %**

**Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 9.00 kWp**



**Performance Ratio PR**



#### New simulation variant Balances and main results

	<b>GlobHor</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>T Amb</b> °C	<b>GlobInc</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>GlobEff</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>EArray</b> MWh	<b>E_Grid</b> MWh	<b>EffArrR</b> %	<b>EffSysR</b> %
<b>January</b>	29.7	-3.24	55.5	54.1	0.492	0.480	15.05	14.68
<b>February</b>	49.0	-2.92	77.7	75.8	0.678	0.663	14.81	14.48
<b>March</b>	93.1	2.74	122.8	119.5	1.042	1.021	14.40	14.11
<b>April</b>	133.4	10.21	147.0	142.6	1.197	1.173	13.82	13.54
<b>May</b>	183.4	16.39	175.6	170.0	1.371	1.342	13.26	12.97
<b>June</b>	182.7	19.12	162.7	157.0	1.273	1.246	13.28	13.01
<b>July</b>	185.3	22.72	169.8	163.8	1.303	1.275	13.02	12.74
<b>August</b>	174.4	22.23	185.5	179.8	1.416	1.388	12.95	12.69
<b>September</b>	111.3	15.78	140.2	136.3	1.120	1.097	13.56	13.29
<b>October</b>	73.8	9.73	112.6	109.8	0.927	0.908	13.98	13.69
<b>November</b>	33.0	3.25	58.1	56.6	0.497	0.485	14.53	14.17
<b>December</b>	23.0	-1.97	45.0	43.9	0.398	0.388	15.03	14.63
<b>Year</b>	1272.1	9.58	1452.2	1409.2	11.713	11.465	13.69	13.40

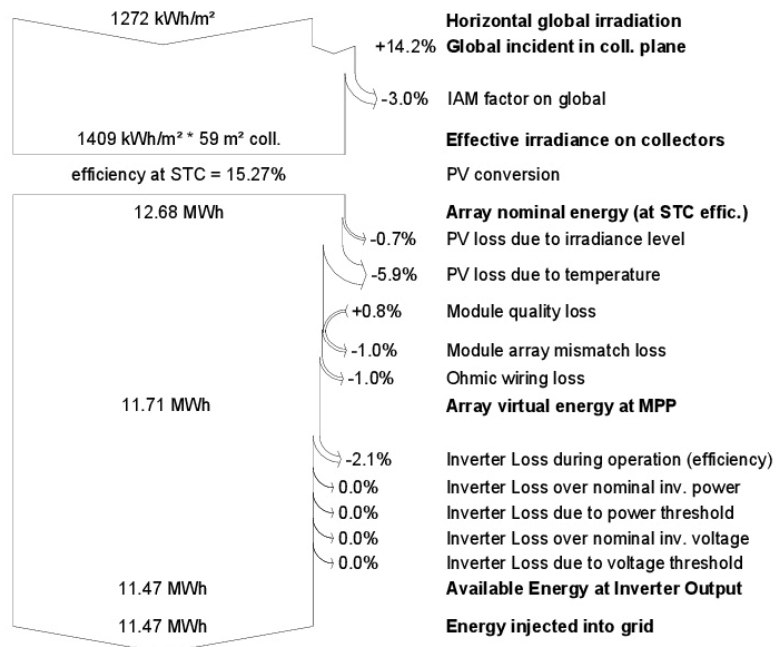
**Legends:** GlobHor Horizontal global irradiation      EArray Effective energy at the output of the array  
T Amb Ambient Temperature      E\_Grid Energy injected into grid  
GlobInc Global incident in coll. plane      EffArrR Effic. Eout array / rough area  
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings      EffSysR Effic. Eout system / rough area

### Grid-Connected System: Loss diagram

**Project :** Dissertation  
**Simulation variant :** New simulation variant

<b>Main system parameters</b>	System type	<b>Grid-Connected</b>	
PV Field Orientation	tilt	48°	azimuth 0°
PV modules	Model	JKM 250M-60	Pnom 250 Wp
PV Array	Nb. of modules	36	Pnom total <b>9.00 kWp</b>
Inverter	Model	Sunny Boy 9000TL U-208	Pnom 9.00 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

#### Loss diagram over the whole year



## Приложение Л – Время восхода и заката, длинна светового дня

Дата	Восход	Закат	Время
01 января	7:32	15:56	8 ч. 24 мин.
02 января	7:32	15:57	8 ч. 25 мин.
03 января	7:32	15:58	8 ч. 26 мин.
04 января	7:32	15:59	8 ч. 27 мин.
05 января	7:32	16:00	8 ч. 28 мин.
06 января	7:31	16:01	8 ч. 30 мин.
07 января	7:31	16:02	8 ч. 31 мин.
08 января	7:31	16:03	8 ч. 32 мин.
09 января	7:30	16:05	8 ч. 35 мин.
10 января	7:30	16:06	8 ч. 36 мин.
11 января	7:29	16:07	8 ч. 38 мин.
12 января	7:29	16:09	8 ч. 40 мин.
13 января	7:28	16:10	8 ч. 42 мин.
14 января	7:28	16:11	8 ч. 43 мин.
15 января	7:27	16:13	8 ч. 46 мин.
16 января	7:26	16:14	8 ч. 48 мин.
17 января	7:25	16:15	8 ч. 50 мин.
18 января	7:25	16:17	8 ч. 52 мин.
19 января	7:24	16:18	8 ч. 54 мин.
20 января	7:23	16:20	8 ч. 57 мин.
21 января	7:22	16:21	8 ч. 59 мин.
22 января	7:21	16:23	9 ч. 2 мин.

23 января	7:20	16:24	9 ч. 4 мин.
24 января	7:19	16:26	9 ч. 7 мин.
25 января	7:18	16:28	9 ч. 10 мин.
26 января	7:17	16:29	9 ч. 12 мин.
27 января	7:16	16:31	9 ч. 15 мин.
28 января	7:14	16:32	9 ч. 18 мин.
29 января	7:13	16:34	9 ч. 21 мин.
30 января	7:12	16:35	9 ч. 23 мин.
31 января	7:10	16:37	9 ч. 27 мин.
01 февраля	7:09	16:39	9 ч. 30 мин.
02 февраля	7:08	16:40	9 ч. 32 мин.
03 февраля	7:06	16:42	9 ч. 36 мин.
04 февраля	7:05	16:44	9 ч. 39 мин.
05 февраля	7:03	16:45	9 ч. 42 мин.
06 февраля	7:02	16:47	9 ч. 45 мин.
07 февраля	7:00	16:49	9 ч. 49 мин.
08 февраля	6:59	16:50	9 ч. 51 мин.
09 февраля	6:57	16:52	9 ч. 55 мин.
10 февраля	6:56	16:54	9 ч. 58 мин.
11 февраля	6:54	16:55	10 ч. 1 мин.
12 февраля	6:52	16:57	10 ч. 5 мин.
13 февраля	6:51	16:58	10 ч. 7 мин.
14 февраля	6:49	17:00	10 ч. 11 мин.
15 февраля	6:47	17:02	10 ч. 15 мин.
16 февраля	6:46	17:03	10 ч. 17 мин.

17 февраля	6:44	17:05	10 ч. 21 мин.
18 февраля	6:42	17:07	10 ч. 25 мин.
19 февраля	6:40	17:08	10 ч. 28 мин.
20 февраля	6:38	17:10	10 ч. 32 мин.
21 февраля	6:37	17:12	10 ч. 35 мин.
22 февраля	6:35	17:13	10 ч. 38 мин.
23 февраля	6:33	17:15	10 ч. 42 мин.
24 февраля	6:31	17:16	10 ч. 45 мин.
25 февраля	6:29	17:18	10 ч. 49 мин.
26 февраля	6:27	17:20	10 ч. 53 мин.
27 февраля	6:25	17:21	10 ч. 56 мин.
28 февраля	6:23	17:23	11 ч. 0 мин.
01 марта	6:21	17:24	11 ч. 3 мин.
02 марта	6:19	17:26	11 ч. 7 мин.
03 марта	6:17	17:27	11 ч. 10 мин.
04 марта	6:16	17:29	11 ч. 13 мин.
05 марта	6:14	17:30	11 ч. 16 мин.
06 марта	6:12	17:32	11 ч. 20 мин.
07 марта	6:10	17:34	11 ч. 24 мин.
08 марта	6:08	17:35	11 ч. 27 мин.
09 марта	6:06	17:37	11 ч. 31 мин.
10 марта	6:04	17:38	11 ч. 34 мин.
11 марта	6:02	17:40	11 ч. 38 мин.
12 марта	6:00	17:41	11 ч. 41 мин.
13 марта	5:58	17:43	11 ч. 45 мин.
14 марта	5:56	17:44	11 ч. 48 мин.

15 марта	5:54	17:46	11 ч. 52 мин.
16 марта	5:52	17:47	11 ч. 55 мин.
17 марта	5:49	17:49	12 ч. 0 мин.
18 марта	5:47	17:50	12 ч. 3 мин.
19 марта	5:45	17:52	12 ч. 7 мин.
20 марта	5:43	17:53	12 ч. 10 мин.
21 марта	5:41	17:55	12 ч. 14 мин.
22 марта	5:39	17:56	12 ч. 17 мин.
23 марта	5:37	17:57	12 ч. 20 мин.
24 марта	5:35	17:59	12 ч. 24 мин.
25 марта	5:33	18:00	12 ч. 27 мин.
26 марта	5:31	18:02	12 ч. 31 мин.
27 марта	6:28	19:03	12 ч. 35 мин.
28 марта	6:26	19:05	12 ч. 39 мин.
29 марта	6:24	19:06	12 ч. 42 мин.
30 марта	6:22	19:08	12 ч. 46 мин.
31 марта	6:20	19:09	12 ч. 49 мин.
01 апреля	6:18	19:11	12 ч. 53 мин.
02 апреля	6:16	19:12	12 ч. 56 мин.
03 апреля	6:14	19:14	13 ч. 0 мин.
04 апреля	6:12	19:15	13 ч. 3 мин.
05 апреля	6:10	19:17	13 ч. 7 мин.
06 апреля	6:08	19:18	13 ч. 10 мин.
07 апреля	6:06	19:20	13 ч. 14 мин.
08 апреля	6:04	19:21	13 ч. 17 мин.
09 апреля	6:02	19:23	13 ч. 21 мин.

10 апреля	6:00	19:24	13 ч. 24 мин.
11 апреля	5:58	19:26	13 ч. 28 мин.
12 апреля	5:56	19:27	13 ч. 31 мин.
13 апреля	5:54	19:29	13 ч. 35 мин.
14 апреля	5:52	19:30	13 ч. 38 мин.
15 апреля	5:50	19:31	13 ч. 41 мин.
16 апреля	5:48	19:33	13 ч. 45 мин.
17 апреля	5:46	19:34	13 ч. 48 мин.
18 апреля	5:44	19:36	13 ч. 52 мин.
19 апреля	5:43	19:37	13 ч. 54 мин.
20 апреля	5:41	19:39	13 ч. 58 мин.
21 апреля	5:39	19:40	14 ч. 1 мин.
22 апреля	5:37	19:42	14 ч. 5 мин.
23 апреля	5:35	19:43	14 ч. 8 мин.
24 апреля	5:33	19:45	14 ч. 12 мин.
25 апреля	5:32	19:46	14 ч. 14 мин.
26 апреля	5:30	19:47	14 ч. 17 мин.
27 апреля	5:28	19:49	14 ч. 21 мин.
28 апреля	5:26	19:50	14 ч. 24 мин.
29 апреля	5:24	19:52	14 ч. 28 мин.
30 апреля	5:23	19:53	14 ч. 30 мин.
01 мая	5:21	19:55	14 ч. 34 мин.
02 мая	5:19	19:56	14 ч. 37 мин.
03 мая	5:18	19:57	14 ч. 39 мин.
04 мая	5:16	19:59	14 ч. 43 мин.
05 мая	5:14	20:00	14 ч. 46 мин.

06 мая	5:13	20:02	14 ч. 49 мин.
07 мая	5:11	20:03	14 ч. 52 мин.
08 мая	5:10	20:04	14 ч. 54 мин.
09 мая	5:08	20:06	14 ч. 58 мин.
10 мая	5:07	20:07	15 ч. 0 мин.
11 мая	5:05	20:08	15 ч. 3 мин.
12 мая	5:04	20:10	15 ч. 6 мин.
13 мая	5:03	20:11	15 ч. 8 мин.
14 мая	5:01	20:12	15 ч. 11 мин.
15 мая	5:00	20:14	15 ч. 14 мин.
16 мая	4:59	20:15	15 ч. 16 мин.
17 мая	4:57	20:16	15 ч. 19 мин.
18 мая	4:56	20:18	15 ч. 22 мин.
19 мая	4:55	20:19	15 ч. 24 мин.
20 мая	4:54	20:20	15 ч. 26 мин.
21 мая	4:53	20:21	15 ч. 28 мин.
22 мая	4:51	20:22	15 ч. 31 мин.
23 мая	4:50	20:24	15 ч. 34 мин.
24 мая	4:49	20:25	15 ч. 36 мин.
25 мая	4:48	20:26	15 ч. 38 мин.
26 мая	4:48	20:27	15 ч. 39 мин.
27 мая	4:47	20:28	15 ч. 41 мин.
28 мая	4:46	20:29	15 ч. 43 мин.
29 мая	4:45	20:30	15 ч. 45 мин.
30 мая	4:44	20:31	15 ч. 47 мин.
31 мая	4:43	20:32	15 ч. 49 мин.



01 июня	4:43	20:33	15 ч. 50 мин.
02 июня	4:42	20:34	15 ч. 52 мин.
03 июня	4:41	20:35	15 ч. 54 мин.
04 июня	4:41	20:36	15 ч. 55 мин.
05 июня	4:40	20:37	15 ч. 57 мин.
06 июня	4:40	20:38	15 ч. 58 мин.
07 июня	4:39	20:38	15 ч. 59 мин.
08 июня	4:39	20:39	16 ч. 0 мин.
09 июня	4:39	20:40	16 ч. 1 мин.
10 июня	4:38	20:41	16 ч. 3 мин.
11 июня	4:38	20:41	16 ч. 3 мин.
12 июня	4:38	20:42	16 ч. 4 мин.
13 июня	4:38	20:42	16 ч. 4 мин.
14 июня	4:38	20:43	16 ч. 5 мин.
15 июня	4:38	20:43	16 ч. 5 мин.
16 июня	4:38	20:44	16 ч. 6 мин.
17 июня	4:38	20:44	16 ч. 6 мин.
18 июня	4:38	20:45	16 ч. 7 мин.
19 июня	4:38	20:45	16 ч. 7 мин.
20 июня	4:38	20:45	16 ч. 7 мин.
21 июня	4:38	20:45	16 ч. 7 мин.
22 июня	4:38	20:45	16 ч. 7 мин.
23 июня	4:39	20:46	16 ч. 7 мин.
24 июня	4:39	20:46	16 ч. 7 мин.
25 июня	4:39	20:46	16 ч. 7 мин.
26 июня	4:40	20:46	16 ч. 6 мин.

27 июня	4:40	20:46	16 ч. 6 мин.
28 июня	4:41	20:46	16 ч. 5 мин.
29 июня	4:41	20:45	16 ч. 4 мин.
30 июня	4:42	20:45	16 ч. 3 мин.
01 июля	4:42	20:45	16 ч. 3 мин.
02 июля	4:43	20:45	16 ч. 2 мин.
03 июля	4:44	20:44	16 ч. 0 мин.
04 июля	4:44	20:44	16 ч. 0 мин.
05 июля	4:45	20:44	15 ч. 59 мин.
06 июля	4:46	20:43	15 ч. 57 мин.
07 июля	4:47	20:43	15 ч. 56 мин.
08 июля	4:48	20:42	15 ч. 54 мин.
09 июля	4:48	20:41	15 ч. 53 мин.
10 июля	4:49	20:41	15 ч. 52 мин.
11 июля	4:50	20:40	15 ч. 50 мин.
12 июля	4:51	20:39	15 ч. 48 мин.
13 июля	4:52	20:39	15 ч. 47 мин.
14 июля	4:53	20:38	15 ч. 45 мин.
15 июля	4:54	20:37	15 ч. 43 мин.
16 июля	4:55	20:36	15 ч. 41 мин.
17 июля	4:56	20:35	15 ч. 39 мин.
18 июля	4:58	20:34	15 ч. 36 мин.
19 июля	4:59	20:33	15 ч. 34 мин.
20 июля	5:00	20:32	15 ч. 32 мин.
21 июля	5:01	20:31	15 ч. 30 мин.
22 июля	5:02	20:30	15 ч. 28 мин.

23 июля	5:03	20:29	15 ч. 26 мин.
24 июля	5:05	20:28	15 ч. 23 мин.
25 июля	5:06	20:26	15 ч. 20 мин.
26 июля	5:07	20:25	15 ч. 18 мин.
27 июля	5:08	20:24	15 ч. 16 мин.
28 июля	5:10	20:23	15 ч. 13 мин.
29 июля	5:11	20:21	15 ч. 10 мин.
30 июля	5:12	20:20	15 ч. 8 мин.
31 июля	5:14	20:18	15 ч. 4 мин.
01 августа	5:15	20:17	15 ч. 2 мин.
02 августа	5:16	20:16	15 ч. 0 мин.
03 августа	5:18	20:14	14 ч. 56 мин.
04 августа	5:19	20:13	14 ч. 54 мин.
05 августа	5:20	20:11	14 ч. 51 мин.
06 августа	5:22	20:10	14 ч. 48 мин.
07 августа	5:23	20:08	14 ч. 45 мин.
08 августа	5:24	20:06	14 ч. 42 мин.
09 августа	5:26	20:05	14 ч. 39 мин.
10 августа	5:27	20:03	14 ч. 36 мин.
11 августа	5:28	20:01	14 ч. 33 мин.
12 августа	5:30	20:00	14 ч. 30 мин.
13 августа	5:31	19:58	14 ч. 27 мин.
14 августа	5:33	19:56	14 ч. 23 мин.
15 августа	5:34	19:55	14 ч. 21 мин.
16 августа	5:35	19:53	14 ч. 18 мин.
17 августа	5:37	19:51	14 ч. 14 мин.

18 августа	5:38	19:49	14 ч. 11 мин.
19 августа	5:40	19:47	14 ч. 7 мин.
20 августа	5:41	19:46	14 ч. 5 мин.
21 августа	5:42	19:44	14 ч. 2 мин.
22 августа	5:44	19:42	13 ч. 58 мин.
23 августа	5:45	19:40	13 ч. 55 мин.
24 августа	5:46	19:38	13 ч. 52 мин.
25 августа	5:48	19:36	13 ч. 48 мин.
26 августа	5:49	19:34	13 ч. 45 мин.
27 августа	5:51	19:32	13 ч. 41 мин.
28 августа	5:52	19:30	13 ч. 38 мин.
29 августа	5:53	19:28	13 ч. 35 мин.
30 августа	5:55	19:26	13 ч. 31 мин.
31 августа	5:56	19:24	13 ч. 28 мин.
01 сентября	5:57	19:22	13 ч. 25 мин.
02 сентября	5:59	19:20	13 ч. 21 мин.
03 сентября	6:00	19:18	13 ч. 18 мин.
04 сентября	6:02	19:16	13 ч. 14 мин.
05 сентября	6:03	19:14	13 ч. 11 мин.
06 сентября	6:04	19:12	13 ч. 8 мин.
07 сентября	6:06	19:10	13 ч. 4 мин.
08 сентября	6:07	19:08	13 ч. 1 мин.
09 сентября	6:08	19:05	12 ч. 57 мин.
10 сентября	6:10	19:03	12 ч. 53 мин.
11 сентября	6:11	19:01	12 ч. 50 мин.
12 сентября	6:12	18:59	12 ч. 47 мин.

13 сентября	6:14	18:57	12 ч. 43 мин.
14 сентября	6:15	18:55	12 ч. 40 мин.
15 сентября	6:17	18:53	12 ч. 36 мин.
16 сентября	6:18	18:51	12 ч. 33 мин.
17 сентября	6:19	18:48	12 ч. 29 мин.
18 сентября	6:21	18:46	12 ч. 25 мин.
19 сентября	6:22	18:44	12 ч. 22 мин.
20 сентября	6:24	18:42	12 ч. 18 мин.
21 сентября	6:25	18:40	12 ч. 15 мин.
22 сентября	6:26	18:38	12 ч. 12 мин.
23 сентября	6:28	18:36	12 ч. 8 мин.
24 сентября	6:29	18:34	12 ч. 5 мин.
25 сентября	6:31	18:31	12 ч. 0 мин.
26 сентября	6:32	18:29	11 ч. 57 мин.
27 сентября	6:33	18:27	11 ч. 54 мин.
28 сентября	6:35	18:25	11 ч. 50 мин.
29 сентября	6:36	18:23	11 ч. 47 мин.
30 сентября	6:38	18:21	11 ч. 43 мин.
01 октября	6:39	18:19	11 ч. 40 мин.
02 октября	6:41	18:17	11 ч. 36 мин.
03 октября	6:42	18:15	11 ч. 33 мин.
04 октября	6:44	18:13	11 ч. 29 мин.
05 октября	6:45	18:11	11 ч. 26 мин.
06 октября	6:46	18:09	11 ч. 23 мин.
07 октября	6:48	18:07	11 ч. 19 мин.
08 октября	6:49	18:05	11 ч. 16 мин.

09 октября	6:51	18:03	11 ч. 12 мин.
10 октября	6:52	18:01	11 ч. 9 мин.
11 октября	6:54	17:59	11 ч. 5 мин.
12 октября	6:55	17:57	11 ч. 2 мин.
13 октября	6:57	17:55	10 ч. 58 мин.
14 октября	6:58	17:53	10 ч. 55 мин.
15 октября	7:00	17:51	10 ч. 51 мин.
16 октября	7:01	17:49	10 ч. 48 мин.
17 октября	7:03	17:47	10 ч. 44 мин.
18 октября	7:04	17:45	10 ч. 41 мин.
19 октября	7:06	17:44	10 ч. 38 мин.
20 октября	7:08	17:42	10 ч. 34 мин.
21 октября	7:09	17:40	10 ч. 31 мин.
22 октября	7:11	17:38	10 ч. 27 мин.
23 октября	7:12	17:36	10 ч. 24 мин.
24 октября	7:14	17:35	10 ч. 21 мин.
25 октября	7:15	17:33	10 ч. 18 мин.
26 октября	7:17	17:31	10 ч. 14 мин.
27 октября	7:18	17:29	10 ч. 11 мин.
28 октября	7:20	17:28	10 ч. 8 мин.
29 октября	7:22	17:26	10 ч. 4 мин.
30 октября	6:23	16:24	10 ч. 1 мин.
31 октября	6:24	16:22	9 ч. 58 мин.
01 ноября	6:26	16:20	9 ч. 54 мин.
02 ноября	6:27	16:19	9 ч. 52 мин.
03 ноября	6:29	16:17	9 ч. 48 мин.

04 ноября	6:31	16:16	9 ч. 45 мин.
05 ноября	6:32	16:14	9 ч. 42 мин.
06 ноября	6:34	16:13	9 ч. 39 мин.
07 ноября	6:35	16:11	9 ч. 36 мин.
08 ноября	6:37	16:10	9 ч. 33 мин.
09 ноября	6:38	16:09	9 ч. 31 мин.
10 ноября	6:40	16:07	9 ч. 27 мин.
11 ноября	6:42	16:06	9 ч. 24 мин.
12 ноября	6:43	16:05	9 ч. 22 мин.
13 ноября	6:45	16:03	9 ч. 18 мин.
14 ноября	6:46	16:02	9 ч. 16 мин.
15 ноября	6:48	16:01	9 ч. 13 мин.
16 ноября	6:49	16:00	9 ч. 11 мин.
17 ноября	6:51	15:59	9 ч. 8 мин.
18 ноября	6:52	15:58	9 ч. 6 мин.
19 ноября	6:54	15:57	9 ч. 3 мин.
20 ноября	6:55	15:56	9 ч. 1 мин.
21 ноября	6:57	15:55	8 ч. 58 мин.
22 ноября	6:58	15:54	8 ч. 56 мин.
23 ноября	7:00	15:53	8 ч. 53 мин.
24 ноября	7:01	15:52	8 ч. 51 мин.
25 ноября	7:03	15:51	8 ч. 48 мин.
26 ноября	7:04	15:51	8 ч. 47 мин.
27 ноября	7:05	15:50	8 ч. 45 мин.
28 ноября	7:07	15:49	8 ч. 42 мин.
29 ноября	7:08	15:49	8 ч. 41 мин.

30 ноября	7:09	15:48	8 ч. 39 мин.
01 декабря	7:11	15:48	8 ч. 37 мин.
02 декабря	7:12	15:47	8 ч. 35 мин.
03 декабря	7:13	15:47	8 ч. 34 мин.
04 декабря	7:14	15:46	8 ч. 32 мин.
05 декабря	7:16	15:46	8 ч. 30 мин.
06 декабря	7:17	15:46	8 ч. 29 мин.
07 декабря	7:18	15:46	8 ч. 28 мин.
08 декабря	7:19	15:45	8 ч. 26 мин.
09 декабря	7:20	15:45	8 ч. 25 мин.
10 декабря	7:21	15:45	8 ч. 24 мин.
11 декабря	7:22	15:45	8 ч. 23 мин.
12 декабря	7:23	15:45	8 ч. 22 мин.
13 декабря	7:24	15:45	8 ч. 21 мин.
14 декабря	7:25	15:45	8 ч. 20 мин.
15 декабря	7:25	15:46	8 ч. 21 мин.
16 декабря	7:26	15:46	8 ч. 20 мин.
17 декабря	7:27	15:46	8 ч. 19 мин.
18 декабря	7:28	15:46	8 ч. 18 мин.
19 декабря	7:28	15:47	8 ч. 19 мин.
20 декабря	7:29	15:47	8 ч. 18 мин.
21 декабря	7:29	15:48	8 ч. 19 мин.
22 декабря	7:30	15:48	8 ч. 18 мин.
23 декабря	7:30	15:49	8 ч. 19 мин.
24 декабря	7:31	15:49	8 ч. 18 мин.
25 декабря	7:31	15:50	8 ч. 19 мин.

26 декабря	7:31	15:51	8 ч. 20 мин.
27 декабря	7:32	15:51	8 ч. 19 мин.
28 декабря	7:32	15:52	8 ч. 20 мин.

29 декабря	7:32	15:53	8 ч. 21 мин.
30 декабря	7:32	15:54	8 ч. 22 мин.
31 декабря	7:32	15:55	8 ч. 23 мин.

## Приложение М – Количество включений привода и затраченная энергия

№ дня	Кол-во включений	Потрачено Вт·ч/сут
1	126	100,8
2	126	100,8
3	126	100,8
4	126	100,8
5	127	101,6
6	127	101,6
7	127	101,6
8	128	102,4
9	128	102,4
10	129	103,2
11	129	103,2
12	130	104
13	130	104
14	130	104
15	131	104,8
16	132	105,6
17	132	105,6
18	133	106,4
19	133	106,4
20	134	107,2
21	134	107,2
22	135	108
23	136	108,8
24	136	108,8
25	137	109,6
26	138	110,4
27	138	110,4
28	139	111,2
29	140	112
30	140	112
31	141	112,8
32	142	113,6
33	143	114,4
34	144	115,2
35	144	115,2
36	145	116
37	146	116,8
38	147	117,6
39	147	117,6
40	148	118,4
41	149	119,2
42	150	120
43	151	120,8

44	151	120,8
45	152	121,6
46	153	122,4
47	154	123,2
48	155	124
49	156	124,8
50	157	125,6
51	158	126,4
52	158	126,4
53	159	127,2
54	160	128
55	161	128,8
56	162	129,6
57	163	130,4
58	164	131,2
59	165	132
60	165	132
61	166	132,8
62	167	133,6
63	168	134,4
64	169	135,2
65	170	136
66	171	136,8
67	171	136,8
68	172	137,6
69	173	138,4
70	174	139,2
71	175	140
72	176	140,8
73	177	141,6
74	178	142,4
75	178	142,4
76	180	144
77	180	144
78	181	144,8
79	182	145,6
80	183	146,4
81	184	147,2
82	185	148
83	186	148,8
84	186	148,8
85	187	149,6
86	188	150,4
87	189	151,2
88	190	152
89	191	152,8

90	192	153,6
91	193	154,4
92	194	155,2
93	195	156
94	195	156
95	196	156,8
96	197	157,6
97	198	158,4
98	199	159,2
99	200	160
100	201	160,8
101	202	161,6
102	202	161,6
103	203	162,4
104	204	163,2
105	205	164
106	206	164,8
107	207	165,6
108	208	166,4
109	208	166,4
110	209	167,2
111	210	168
112	211	168,8
113	212	169,6
114	213	170,4
115	213	170,4
116	214	171,2
117	215	172
118	216	172,8
119	217	173,6
120	217	173,6
121	218	174,4
122	219	175,2
123	219	175,2
124	220	176
125	221	176,8
126	222	177,6
127	223	178,4
128	223	178,4
129	224	179,2
130	225	180
131	225	180
132	226	180,8
133	227	181,6
134	227	181,6
135	228	182,4

136	229	183,2
137	229	183,2
138	230	184
139	231	184,8
140	231	184,8
141	232	185,6
142	232	185,6
143	233	186,4
144	234	187,2
145	234	187,2
146	234	187,2
147	235	188
148	235	188
149	236	188,8
150	236	188,8
151	237	189,6
152	237	189,6
153	238	190,4
154	238	190,4
155	238	190,4
156	239	191,2
157	239	191,2
158	239	191,2
159	240	192
160	240	192
161	240	192
162	240	192
163	241	192,8
164	241	192,8
165	241	192,8
166	241	192,8
167	241	192,8
168	241	192,8
169	241	192,8
170	241	192,8
171	241	192,8
172	241	192,8
173	241	192,8
174	241	192,8
175	241	192,8
176	241	192,8
177	241	192,8
178	241	192,8
179	241	192,8
180	241	192,8
181	240	192
182	240	192
183	240	192

184	240	192
185	240	192
186	239	191,2
187	239	191,2
188	239	191,2
189	238	190,4
190	238	190,4
191	238	190,4
192	237	189,6
193	237	189,6
194	236	188,8
195	236	188,8
196	235	188
197	235	188
198	234	187,2
199	234	187,2
200	233	186,4
201	233	186,4
202	232	185,6
203	232	185,6
204	231	184,8
205	230	184
206	230	184
207	229	183,2
208	229	183,2
209	228	182,4
210	227	181,6
211	227	181,6
212	226	180,8
213	225	180
214	225	180
215	224	179,2
216	223	178,4
217	222	177,6
218	222	177,6
219	221	176,8
220	220	176
221	219	175,2
222	219	175,2
223	218	174,4
224	217	173,6
225	216	172,8
226	215	172
227	215	172
228	214	171,2
229	213	170,4
230	212	169,6
231	211	168,8

232	211	168,8
233	210	168
234	209	167,2
235	208	166,4
236	208	166,4
237	207	165,6
238	206	164,8
239	205	164
240	204	163,2
241	203	162,4
242	202	161,6
243	202	161,6
244	201	160,8
245	200	160
246	199	159,2
247	198	158,4
248	197	157,6
249	197	157,6
250	196	156,8
251	195	156
252	194	155,2
253	193	154,4
254	192	153,6
255	191	152,8
256	190	152
257	190	152
258	189	151,2
259	188	150,4
260	187	149,6
261	186	148,8
262	185	148
263	184	147,2
264	183	146,4
265	183	146,4
266	182	145,6
267	181	144,8
268	180	144
269	179	143,2
270	178	142,4
271	177	141,6
272	176	140,8
273	175	140
274	175	140
275	174	139,2
276	173	138,4
277	172	137,6
278	171	136,8
279	170	136

280	169	135,2
281	169	135,2
282	168	134,4
283	167	133,6
284	166	132,8
285	165	132
286	164	131,2
287	163	130,4
288	162	129,6
289	162	129,6
290	161	128,8
291	160	128
292	159	127,2
293	158	126,4
294	157	125,6
295	156	124,8
296	156	124,8
297	155	124
298	154	123,2
299	153	122,4
300	152	121,6
301	152	121,6
302	151	120,8
303	150	120
304	149	119,2
305	148	118,4
306	148	118,4
307	147	117,6
308	146	116,8

309	145	116
310	144	115,2
311	144	115,2
312	143	114,4
313	142	113,6
314	141	112,8
315	141	112,8
316	140	112
317	139	111,2
318	139	111,2
319	138	110,4
320	137	109,6
321	137	109,6
322	136	108,8
323	135	108
324	135	108
325	134	107,2
326	134	107,2
327	133	106,4
328	132	105,6
329	132	105,6
330	131	104,8
331	131	104,8
332	130	104
333	130	104
334	129	103,2
335	129	103,2
336	128	102,4
337	128	102,4

338	128	102,4
339	127	101,6
340	127	101,6
341	127	101,6
342	126	100,8
343	126	100,8
344	126	100,8
345	125	100
346	125	100
347	125	100
348	125	100
349	125	100
350	125	100
351	124	99,2
352	124	99,2
353	124	99,2
354	124	99,2
355	124	99,2
356	124	99,2
357	124	99,2
358	124	99,2
359	124	99,2
360	125	100
361	124	99,2
362	125	100
363	125	100
364	125	100
365	125	100



## Приложение Н – Количество включений привода и затраченная энергия

№ дня	Кол-во включений	Потрачено Вт·ч/су	Кол-во включений	Потрачено Вт·ч за день	Кол-во включений	Потрачено Вт·ч за день	Кол-во включений	Потрачено Вт·ч за день
	1°		2°		5°		10°	
1	126	100,8	63	63	25	37,5	12	28,8
2	126	100,8	63	63	25	37,5	12	28,8
3	126	100,8	63	63	25	37,5	12	28,8
4	126	100,8	63	63	25	37,5	12	28,8
5	127	101,6	63	63	25	37,5	12	28,8
6	127	101,6	63	63	25	37,5	12	28,8
7	127	101,6	63	63	25	37,5	12	28,8
8	128	102,4	64	64	25	37,5	12	28,8
9	128	102,4	64	64	25	37,5	12	28,8
10	129	103,2	64	64	25	37,5	12	28,8
11	129	103,2	64	64	25	37,5	12	28,8
12	130	104	65	65	26	39	13	31,2
13	130	104	65	65	26	39	13	31,2
14	130	104	65	65	26	39	13	31,2
15	131	104,8	65	65	26	39	13	31,2
16	132	105,6	66	66	26	39	13	31,2
17	132	105,6	66	66	26	39	13	31,2
18	133	106,4	66	66	26	39	13	31,2
19	133	106,4	66	66	26	39	13	31,2
20	134	107,2	67	67	26	39	13	31,2
21	134	107,2	67	67	26	39	13	31,2
22	135	108	67	67	27	40,5	13	31,2
23	136	108,8	68	68	27	40,5	13	31,2
24	136	108,8	68	68	27	40,5	13	31,2
25	137	109,6	68	68	27	40,5	13	31,2
26	138	110,4	69	69	27	40,5	13	31,2
27	138	110,4	69	69	27	40,5	13	31,2
28	139	111,2	69	69	27	40,5	13	31,2
29	140	112	70	70	28	42	14	33,6
30	140	112	70	70	28	42	14	33,6
31	141	112,8	70	70	28	42	14	33,6
32	142	113,6	71	71	28	42	14	33,6
33	143	114,4	71	71	28	42	14	33,6
34	144	115,2	72	72	28	42	14	33,6
35	144	115,2	72	72	28	42	14	33,6
36	145	116	72	72	29	43,5	14	33,6
37	146	116,8	73	73	29	43,5	14	33,6
38	147	117,6	73	73	29	43,5	14	33,6
39	147	117,6	73	73	29	43,5	14	33,6
40	148	118,4	74	74	29	43,5	14	33,6
41	149	119,2	74	74	29	43,5	14	33,6
42	150	120	75	75	30	45	15	36
43	151	120,8	75	75	30	45	15	36

44	151	120,8	75	75	30	45	15	36
45	152	121,6	76	76	30	45	15	36
46	153	122,4	76	76	30	45	15	36
47	154	123,2	77	77	30	45	15	36
48	155	124	77	77	31	46,5	15	36
49	156	124,8	78	78	31	46,5	15	36
50	157	125,6	78	78	31	46,5	15	36
51	158	126,4	79	79	31	46,5	15	36
52	158	126,4	79	79	31	46,5	15	36
53	159	127,2	79	79	31	46,5	15	36
54	160	128	80	80	32	48	16	38,4
55	161	128,8	80	80	32	48	16	38,4
56	162	129,6	81	81	32	48	16	38,4
57	163	130,4	81	81	32	48	16	38,4
58	164	131,2	82	82	32	48	16	38,4
59	165	132	82	82	33	49,5	16	38,4
60	165	132	82	82	33	49,5	16	38,4
61	166	132,8	83	83	33	49,5	16	38,4
62	167	133,6	83	83	33	49,5	16	38,4
63	168	134,4	84	84	33	49,5	16	38,4
64	169	135,2	84	84	33	49,5	16	38,4
65	170	136	85	85	34	51	17	40,8
66	171	136,8	85	85	34	51	17	40,8
67	171	136,8	85	85	34	51	17	40,8
68	172	137,6	86	86	34	51	17	40,8
69	173	138,4	86	86	34	51	17	40,8
70	174	139,2	87	87	34	51	17	40,8
71	175	140	87	87	35	52,5	17	40,8
72	176	140,8	88	88	35	52,5	17	40,8
73	177	141,6	88	88	35	52,5	17	40,8
74	178	142,4	89	89	35	52,5	17	40,8
75	178	142,4	89	89	35	52,5	17	40,8
76	180	144	90	90	36	54	18	43,2
77	180	144	90	90	36	54	18	43,2
78	181	144,8	90	90	36	54	18	43,2
79	182	145,6	91	91	36	54	18	43,2
80	183	146,4	91	91	36	54	18	43,2
81	184	147,2	92	92	36	54	18	43,2
82	185	148	92	92	37	55,5	18	43,2
83	186	148,8	93	93	37	55,5	18	43,2
84	186	148,8	93	93	37	55,5	18	43,2
85	187	149,6	93	93	37	55,5	18	43,2
86	188	150,4	94	94	37	55,5	18	43,2
87	189	151,2	94	94	37	55,5	18	43,2
88	190	152	95	95	38	57	19	45,6
89	191	152,8	95	95	38	57	19	45,6
90	192	153,6	96	96	38	57	19	45,6
91	193	154,4	96	96	38	57	19	45,6

92	194	155,2	97	97	38	57	19	45,6
93	195	156	97	97	39	58,5	19	45,6
94	195	156	97	97	39	58,5	19	45,6
95	196	156,8	98	98	39	58,5	19	45,6
96	197	157,6	98	98	39	58,5	19	45,6
97	198	158,4	99	99	39	58,5	19	45,6
98	199	159,2	99	99	39	58,5	19	45,6
99	200	160	100	100	40	60	20	48
100	201	160,8	100	100	40	60	20	48
101	202	161,6	101	101	40	60	20	48
102	202	161,6	101	101	40	60	20	48
103	203	162,4	101	101	40	60	20	48
104	204	163,2	102	102	40	60	20	48
105	205	164	102	102	41	61,5	20	48
106	206	164,8	103	103	41	61,5	20	48
107	207	165,6	103	103	41	61,5	20	48
108	208	166,4	104	104	41	61,5	20	48
109	208	166,4	104	104	41	61,5	20	48
110	209	167,2	104	104	41	61,5	20	48
111	210	168	105	105	42	63	21	50,4
112	211	168,8	105	105	42	63	21	50,4
113	212	169,6	106	106	42	63	21	50,4
114	213	170,4	106	106	42	63	21	50,4
115	213	170,4	106	106	42	63	21	50,4
116	214	171,2	107	107	42	63	21	50,4
117	215	172	107	107	43	64,5	21	50,4
118	216	172,8	108	108	43	64,5	21	50,4
119	217	173,6	108	108	43	64,5	21	50,4
120	217	173,6	108	108	43	64,5	21	50,4
121	218	174,4	109	109	43	64,5	21	50,4
122	219	175,2	109	109	43	64,5	21	50,4
123	219	175,2	109	109	43	64,5	21	50,4
124	220	176	110	110	44	66	22	52,8
125	221	176,8	110	110	44	66	22	52,8
126	222	177,6	111	111	44	66	22	52,8
127	223	178,4	111	111	44	66	22	52,8
128	223	178,4	111	111	44	66	22	52,8
129	224	179,2	112	112	44	66	22	52,8
130	225	180	112	112	45	67,5	22	52,8
131	225	180	112	112	45	67,5	22	52,8
132	226	180,8	113	113	45	67,5	22	52,8
133	227	181,6	113	113	45	67,5	22	52,8
134	227	181,6	113	113	45	67,5	22	52,8
135	228	182,4	114	114	45	67,5	22	52,8
136	229	183,2	114	114	45	67,5	22	52,8
137	229	183,2	114	114	45	67,5	22	52,8
138	230	184	115	115	46	69	23	55,2
139	231	184,8	115	115	46	69	23	55,2

140	231	184,8	115	115	46	69	23	55,2
141	232	185,6	116	116	46	69	23	55,2
142	232	185,6	116	116	46	69	23	55,2
143	233	186,4	116	116	46	69	23	55,2
144	234	187,2	117	117	46	69	23	55,2
145	234	187,2	117	117	46	69	23	55,2
146	234	187,2	117	117	46	69	23	55,2
147	235	188	117	117	47	70,5	23	55,2
148	235	188	117	117	47	70,5	23	55,2
149	236	188,8	118	118	47	70,5	23	55,2
150	236	188,8	118	118	47	70,5	23	55,2
151	237	189,6	118	118	47	70,5	23	55,2
152	237	189,6	118	118	47	70,5	23	55,2
153	238	190,4	119	119	47	70,5	23	55,2
154	238	190,4	119	119	47	70,5	23	55,2
155	238	190,4	119	119	47	70,5	23	55,2
156	239	191,2	119	119	47	70,5	23	55,2
157	239	191,2	119	119	47	70,5	23	55,2
158	239	191,2	119	119	47	70,5	23	55,2
159	240	192	120	120	48	72	24	57,6
160	240	192	120	120	48	72	24	57,6
161	240	192	120	120	48	72	24	57,6
162	240	192	120	120	48	72	24	57,6
163	241	192,8	120	120	48	72	24	57,6
164	241	192,8	120	120	48	72	24	57,6
165	241	192,8	120	120	48	72	24	57,6
166	241	192,8	120	120	48	72	24	57,6
167	241	192,8	120	120	48	72	24	57,6
168	241	192,8	120	120	48	72	24	57,6
169	241	192,8	120	120	48	72	24	57,6
170	241	192,8	120	120	48	72	24	57,6
171	241	192,8	120	120	48	72	24	57,6
172	241	192,8	120	120	48	72	24	57,6
173	241	192,8	120	120	48	72	24	57,6
174	241	192,8	120	120	48	72	24	57,6
175	241	192,8	120	120	48	72	24	57,6
176	241	192,8	120	120	48	72	24	57,6
177	241	192,8	120	120	48	72	24	57,6
178	241	192,8	120	120	48	72	24	57,6
179	241	192,8	120	120	48	72	24	57,6
180	241	192,8	120	120	48	72	24	57,6
181	240	192	120	120	48	72	24	57,6
182	240	192	120	120	48	72	24	57,6
183	240	192	120	120	48	72	24	57,6
184	240	192	120	120	48	72	24	57,6
185	240	192	120	120	48	72	24	57,6
186	239	191,2	119	119	47	70,5	23	55,2
187	239	191,2	119	119	47	70,5	23	55,2

188	239	191,2	119	119	47	70,5	23	55,2
189	238	190,4	119	119	47	70,5	23	55,2
190	238	190,4	119	119	47	70,5	23	55,2
191	238	190,4	119	119	47	70,5	23	55,2
192	237	189,6	118	118	47	70,5	23	55,2
193	237	189,6	118	118	47	70,5	23	55,2
194	236	188,8	118	118	47	70,5	23	55,2
195	236	188,8	118	118	47	70,5	23	55,2
196	235	188	117	117	47	70,5	23	55,2
197	235	188	117	117	47	70,5	23	55,2
198	234	187,2	117	117	46	69	23	55,2
199	234	187,2	117	117	46	69	23	55,2
200	233	186,4	116	116	46	69	23	55,2
201	233	186,4	116	116	46	69	23	55,2
202	232	185,6	116	116	46	69	23	55,2
203	232	185,6	116	116	46	69	23	55,2
204	231	184,8	115	115	46	69	23	55,2
205	230	184	115	115	46	69	23	55,2
206	230	184	115	115	46	69	23	55,2
207	229	183,2	114	114	45	67,5	22	52,8
208	229	183,2	114	114	45	67,5	22	52,8
209	228	182,4	114	114	45	67,5	22	52,8
210	227	181,6	113	113	45	67,5	22	52,8
211	227	181,6	113	113	45	67,5	22	52,8
212	226	180,8	113	113	45	67,5	22	52,8
213	225	180	112	112	45	67,5	22	52,8
214	225	180	112	112	45	67,5	22	52,8
215	224	179,2	112	112	44	66	22	52,8
216	223	178,4	111	111	44	66	22	52,8
217	222	177,6	111	111	44	66	22	52,8
218	222	177,6	111	111	44	66	22	52,8
219	221	176,8	110	110	44	66	22	52,8
220	220	176	110	110	44	66	22	52,8
221	219	175,2	109	109	43	64,5	21	50,4
222	219	175,2	109	109	43	64,5	21	50,4
223	218	174,4	109	109	43	64,5	21	50,4
224	217	173,6	108	108	43	64,5	21	50,4
225	216	172,8	108	108	43	64,5	21	50,4
226	215	172	107	107	43	64,5	21	50,4
227	215	172	107	107	43	64,5	21	50,4
228	214	171,2	107	107	42	63	21	50,4
229	213	170,4	106	106	42	63	21	50,4
230	212	169,6	106	106	42	63	21	50,4
231	211	168,8	105	105	42	63	21	50,4
232	211	168,8	105	105	42	63	21	50,4
233	210	168	105	105	42	63	21	50,4
234	209	167,2	104	104	41	61,5	20	48
235	208	166,4	104	104	41	61,5	20	48

236	208	166,4	104	104	41	61,5	20	48
237	207	165,6	103	103	41	61,5	20	48
238	206	164,8	103	103	41	61,5	20	48
239	205	164	102	102	41	61,5	20	48
240	204	163,2	102	102	40	60	20	48
241	203	162,4	101	101	40	60	20	48
242	202	161,6	101	101	40	60	20	48
243	202	161,6	101	101	40	60	20	48
244	201	160,8	100	100	40	60	20	48
245	200	160	100	100	40	60	20	48
246	199	159,2	99	99	39	58,5	19	45,6
247	198	158,4	99	99	39	58,5	19	45,6
248	197	157,6	98	98	39	58,5	19	45,6
249	197	157,6	98	98	39	58,5	19	45,6
250	196	156,8	98	98	39	58,5	19	45,6
251	195	156	97	97	39	58,5	19	45,6
252	194	155,2	97	97	38	57	19	45,6
253	193	154,4	96	96	38	57	19	45,6
254	192	153,6	96	96	38	57	19	45,6
255	191	152,8	95	95	38	57	19	45,6
256	190	152	95	95	38	57	19	45,6
257	190	152	95	95	38	57	19	45,6
258	189	151,2	94	94	37	55,5	18	43,2
259	188	150,4	94	94	37	55,5	18	43,2
260	187	149,6	93	93	37	55,5	18	43,2
261	186	148,8	93	93	37	55,5	18	43,2
262	185	148	92	92	37	55,5	18	43,2
263	184	147,2	92	92	36	54	18	43,2
264	183	146,4	91	91	36	54	18	43,2
265	183	146,4	91	91	36	54	18	43,2
266	182	145,6	91	91	36	54	18	43,2
267	181	144,8	90	90	36	54	18	43,2
268	180	144	90	90	36	54	18	43,2
269	179	143,2	89	89	35	52,5	17	40,8
270	178	142,4	89	89	35	52,5	17	40,8
271	177	141,6	88	88	35	52,5	17	40,8
272	176	140,8	88	88	35	52,5	17	40,8
273	175	140	87	87	35	52,5	17	40,8
274	175	140	87	87	35	52,5	17	40,8
275	174	139,2	87	87	34	51	17	40,8
276	173	138,4	86	86	34	51	17	40,8
277	172	137,6	86	86	34	51	17	40,8
278	171	136,8	85	85	34	51	17	40,8
279	170	136	85	85	34	51	17	40,8
280	169	135,2	84	84	33	49,5	16	38,4
281	169	135,2	84	84	33	49,5	16	38,4
282	168	134,4	84	84	33	49,5	16	38,4
283	167	133,6	83	83	33	49,5	16	38,4

284	166	132,8	83	83	33	49,5	16	38,4
285	165	132	82	82	33	49,5	16	38,4
286	164	131,2	82	82	32	48	16	38,4
287	163	130,4	81	81	32	48	16	38,4
288	162	129,6	81	81	32	48	16	38,4
289	162	129,6	81	81	32	48	16	38,4
290	161	128,8	80	80	32	48	16	38,4
291	160	128	80	80	32	48	16	38,4
292	159	127,2	79	79	31	46,5	15	36
293	158	126,4	79	79	31	46,5	15	36
294	157	125,6	78	78	31	46,5	15	36
295	156	124,8	78	78	31	46,5	15	36
296	156	124,8	78	78	31	46,5	15	36
297	155	124	77	77	31	46,5	15	36
298	154	123,2	77	77	30	45	15	36
299	153	122,4	76	76	30	45	15	36
300	152	121,6	76	76	30	45	15	36
301	152	121,6	76	76	30	45	15	36
302	151	120,8	75	75	30	45	15	36
303	150	120	75	75	30	45	15	36
304	149	119,2	74	74	29	43,5	14	33,6
305	148	118,4	74	74	29	43,5	14	33,6
306	148	118,4	74	74	29	43,5	14	33,6
307	147	117,6	73	73	29	43,5	14	33,6
308	146	116,8	73	73	29	43,5	14	33,6
309	145	116	72	72	29	43,5	14	33,6
310	144	115,2	72	72	28	42	14	33,6
311	144	115,2	72	72	28	42	14	33,6
312	143	114,4	71	71	28	42	14	33,6
313	142	113,6	71	71	28	42	14	33,6
314	141	112,8	70	70	28	42	14	33,6
315	141	112,8	70	70	28	42	14	33,6
316	140	112	70	70	28	42	14	33,6
317	139	111,2	69	69	27	40,5	13	31,2
318	139	111,2	69	69	27	40,5	13	31,2
319	138	110,4	69	69	27	40,5	13	31,2
320	137	109,6	68	68	27	40,5	13	31,2
321	137	109,6	68	68	27	40,5	13	31,2
322	136	108,8	68	68	27	40,5	13	31,2
323	135	108	67	67	27	40,5	13	31,2
324	135	108	67	67	27	40,5	13	31,2
325	134	107,2	67	67	26	39	13	31,2
326	134	107,2	67	67	26	39	13	31,2
327	133	106,4	66	66	26	39	13	31,2
328	132	105,6	66	66	26	39	13	31,2
329	132	105,6	66	66	26	39	13	31,2
330	131	104,8	65	65	26	39	13	31,2
331	131	104,8	65	65	26	39	13	31,2

332	130	104	65	65	26	39	13	31,2
333	130	104	65	65	26	39	13	31,2
334	129	103,2	64	64	25	37,5	12	28,8
335	129	103,2	64	64	25	37,5	12	28,8
336	128	102,4	64	64	25	37,5	12	28,8
337	128	102,4	64	64	25	37,5	12	28,8
338	128	102,4	64	64	25	37,5	12	28,8
339	127	101,6	63	63	25	37,5	12	28,8
340	127	101,6	63	63	25	37,5	12	28,8
341	127	101,6	63	63	25	37,5	12	28,8
342	126	100,8	63	63	25	37,5	12	28,8
343	126	100,8	63	63	25	37,5	12	28,8
344	126	100,8	63	63	25	37,5	12	28,8
345	125	100	62	62	25	37,5	12	28,8
346	125	100	62	62	25	37,5	12	28,8
347	125	100	62	62	25	37,5	12	28,8
348	125	100	62	62	25	37,5	12	28,8
349	125	100	62	62	25	37,5	12	28,8
350	125	100	62	62	25	37,5	12	28,8
351	124	99,2	62	62	24	36	12	28,8
352	124	99,2	62	62	24	36	12	28,8
353	124	99,2	62	62	24	36	12	28,8
354	124	99,2	62	62	24	36	12	28,8
355	124	99,2	62	62	24	36	12	28,8
356	124	99,2	62	62	24	36	12	28,8
357	124	99,2	62	62	24	36	12	28,8
358	124	99,2	62	62	24	36	12	28,8
359	124	99,2	62	62	24	36	12	28,8
360	125	100	62	62	25	37,5	12	28,8
361	124	99,2	62	62	24	36	12	28,8
362	125	100	62	62	25	37,5	12	28,8
363	125	100	62	62	25	37,5	12	28,8
364	125	100	62	62	25	37,5	12	28,8
365	125	100	62	62	25	37,5	12	28,8