

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский Государственный Университет
Кафедра электротехники и возобновляемых источников энергии

620.9(07)
К434

И.М. Кирпичникова

КОНЦЕНТРАЦИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Учебное пособие по лабораторным работам

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2015

УДК 620.9(07)
К434

*Одобрено
учебно-методической комиссией
энергетического факультета*

*Рецензенты:
Л.А.Саплин, А.Э.Арнольд*

Кирпичникова, И.М.

К434 Концентрация солнечной энергии: учебное пособие по лабораторным работам/ И.М. Кирпичникова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 30 с.

Учебное пособие предназначено для магистрантов направления 140400 «Электроэнергетика и электротехника» профиля «Комплексное использование возобновляемых источников энергии». Учебное пособие состоит из теоретической и практической частей, включающих задачи с необходимым справочным материалом и лабораторные работы по темам дисциплины «Энергетическое использование концентраторов солнечной энергии».

УДК 620.9(07)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ.....	4
Задача 1.1.....	4
Задача 1.2.....	5
2. КОНЦЕНТРАТОРЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ.....	6
Задача 2.1.....	7
Задача 2.2.....	9
Задача 2.3.....	11
Задача 2.4.....	12
Задача 2.5.....	15
3. СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ.....	17
Задача 3.1.....	17
4. УСТРОЙСТВА СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ.....	19
Задача 4.1.....	21
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ.....	22
Указания к выполнению лабораторных работ.....	22
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1. Исследование коэффициента концентрации солнечных лучей линзой Френеля.....	23
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2. Определение мощности фотоэлектрического преобразователя с линзой Френеля.....	25
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3. Определение КПД солнечного концентратора с плоскими отражателями	26
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4. Определение КПД солнечного концентратора с параболическими отражателями	28
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	30

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Солнце является источником жизни на нашей планете и играет основную роль в ее тепловом балансе.

Мощность излучения Солнца, находящегося в зените, у поверхности Земли оценивается примерно в 1360 Вт/м^2 . Простой расчёт показывает, что для получения мощности 10 кВт необходимо собрать солнечное излучение с площади $7,5 \text{ м}^2$. Но это — в ясный полдень и в тропической зоне. Как только Солнце начинает склоняться к горизонту, путь его лучей сквозь атмосферу увеличивается, соответственно, возрастают и потери на этом пути. Однако и в средней полосе в летний полдень на каждый квадратный метр, ориентированный перпендикулярно солнечным лучам, приходится более 1 кВт солнечной энергии.

Главные ограничения, связанные с использованием солнечной энергии, вызваны её непостоянством: солнечные установки не работают ночью и малоэффективны в пасмурную погоду. Однако есть и ещё одно обстоятельство, которое особенно актуально для северных широт — это сезонные различия в продолжительности дня. Если для тропической и экваториальной зоны длительность дня и ночи слабо зависит от времени года, то уже на средней широте России, и особенно, в приполярных областях самый короткий день меньше самого длинного почти в $2,5$ раза.

Для повышения эффективности использования солнечных лучей обычно применяется концентрация солнечной энергии.

Задача 1.1.

Условия задачи

Рассчитать склонение Солнца δ и продолжительность солнечного сияния в течение суток T_C на 15 число каждого месяца года для г. Челябинска, имеющего географические координаты $\varphi=55^{\circ}09'$ с.ш. и $\psi=61^{\circ}24'$ в.д. Значение ψ во всех расчетах принять постоянным.

Методика расчета

1. Склонение Солнца δ в данные сутки n каждого месяца определяется по формуле Купера:

$$\delta_i = \delta_0 \cdot \sin \frac{360^\circ (284 + n_i)}{365}, \quad (1.1)$$

где $\delta_0=+23^{\circ}27'=23,45$ — среднее склонение Солнца для северного полушария; n_i — номер суток с начала года.

2. Продолжительность солнечного дня в данные сутки в г.Челябинске рассчитываются по формуле:

$$T_{Ci} = \frac{2}{15} \arccos \left(-\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta_i \right), \text{ ч} \quad (1.2)$$

Результаты расчетов занести в таблицу 1.1

Таблица 1.1.

n_i	15.01	15.02	15.03	15.04	15.05	15.06	15.07	15.08	15.09	15.10	15.11	15.12
δ_i												
T_{Ci}												

3. По данным табл.1.1. построить зависимости $\delta_i=f(n_i)$ и $T_{Ci}=f(n_i)$. Определить наибольшую продолжительность солнечного сияния и угол склонения Солнца для месторасположения г.Челябинска.

Задача 1.2.

Условия задачи

Рассчитать угол падения солнечного излучения θ в г.Челябинске для площадки, расположенной:

- 1) горизонтально, $\beta=0$;
- 2) под углом β , равным географической широте местности и ориентированной на юг;
- 3) произвольно ориентированной на 20^0 восточного направления (азимут $\gamma=-20^0$) и наклоненной на юг под углом $\beta=40^0$.

Методика расчета

1. Угол падения солнечного излучения для случая $\beta=0$ определяется:

$$\Theta_{i1} = \arccos \left[\sin \varphi \cdot \sin \delta_i + \cos \varphi \cdot \cos \omega \cdot \cos \delta_i \right], \quad (1.3)$$

где φ – географическая широта местности; δ – угол склонения Солнца для соответствующего расчетного дня месяца (из задачи 1); ω – часовой угол Солнца в точке расположения площадки в рассматриваемый момент времени. При совпадении фактического местного времени со средней географической долготой, $\omega=0$.

Угол падения рассчитывается для 15 числа каждого месяца года.

Результаты расчетов свести в таблицу 1.2.

Таблица 1.2

n_i	15.01	15.02	15.03	15.04	15.05	15.06	15.07	15.08	15.09	15.10	15.11	15.12
Θ_{i1}												

2. Угол падения солнечного излучения для случая 2:

$$\Theta_{i2} = \arccos \left[\cos \omega \cdot \cos \delta_i \right] \quad (1.4)$$

Результаты расчетов для всех месяцев занести в табл.1.3

Таблица 1.3

n_i	15.01	15.02	15.03	15.04	15.05	15.06	15.07	15.08	15.09	15.10	15.11	15.12
Θ_{i2}												

3. Для 3-го случая угол падения рассчитывается:

$$\Theta_{i3} = \arccos \left[A - B \cdot \sin \delta_i + C \cdot \sin \omega + D + E \cdot \cos \omega \cdot \cos \delta_i \right] \quad (1.5)$$

где $A = \sin \varphi \cdot \cos \beta$,

$B = \cos \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma$

$C = \sin \beta \cdot \sin \gamma$

$D = \cos \varphi \cdot \cos \beta$

$E = \sin \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma$.

Результаты расчетов занести в табл.1.4.

Таблица 1.4

n_i	15.01	15.02	15.03	15.04	15.05	15.06	15.07	15.08	15.09	15.10	15.11	15.12
Θ_{i3}												

4. По данным таблиц 1.2–1.4 построить зависимости $\theta_{i1}=f(n_i)$, $\theta_{i2}=f(n_i)$, $\theta_{i3}=f(n_i)$.

5. Сделать выводы о наиболее эффективном угле наклона солнечного концентратора в разные периоды года.

2. КОНЦЕНТРАТОРЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Концентраторы по способу собирания солнечной радиации можно разделить на преломляющие (линзы, линзы Френеля) и отражающие (зеркала с образующими различной формы). К классу, совмещающему в себе вышеуказанные способы, относятся призматические концентрирующие системы (призموконы) и люминесцентные солнечные концентраторы (ЛСК). По степени концентрации системы можно разделить на сильно-

концентрирующие (более 100 крат), средней концентрации (10-100 крат) и слабо-концентрирующие (менее 10 крат).

Задача 2.1.

Условия задачи

Линзы, вид которых показан на рис.2.1, используются в качестве концентратора солнечных лучей в световодах. Определить фокусное расстояние для трех конструкций собирающих линз с радиусами кривизны r_1 и r_2 . Построить ход лучей в световоде для внешнего угла падения лучей α и диаметра световода d . Рассчитать количество отражений луча от внутренних стенок световода по его длине. Принять форму световода цилиндрической, без изгибов по всей длине.

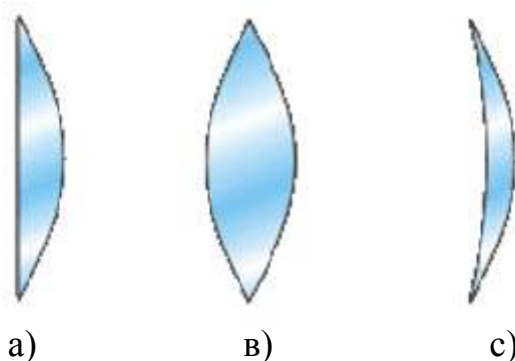


Рис.2.1. Вид собирающих линз: а) плоско-выпуклая (ПВ); в) двояко-выпуклая (ДВ); с) положительный мениск (ПМ)

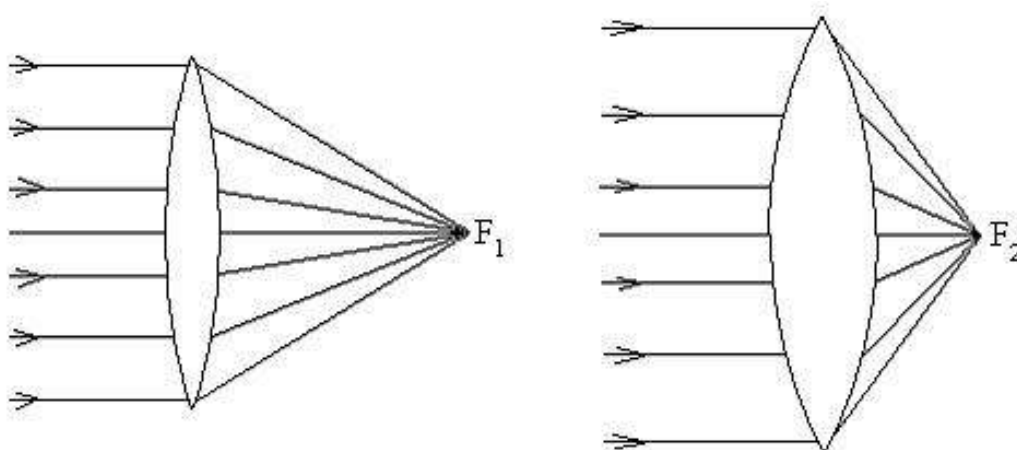


Рис.2.2. Преломление лучей в двояковыпуклой линзе (F_1 и F_2 – фокусные расстояния)

Таблица 2. 1

Варианты задач

№	Тип линзы	Радиус, см		Показатель преломления n	Внешний угол падения лучей α , град.	Диаметр световода d , см	Длина световода L , см
		r_1	r_2				
1	ПВ	15	∞	1,5	150	30	13
2	ДВ	15	-25	1,47	120	40	26
3	ДВ	10	-15	1,7	135	25	17
4	ПМ	15	25	1,49	160	35	22
5	ПВ	20	∞	1,56	145	40	18
6	ПМ	10	20	1,6	125	32	15
7	ДВ	12	-24	1,74	170	30	20
8	ДВ	10	-15	1,67	165	28	19
9	ПМ	12	25	1,49	132	30	9
10	ПВ	18	∞	1,7	144	36	12

Методика расчета

1. Фокусное расстояние f для линзы рассчитывается по формуле:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right), \quad (2.1)$$

где n – относительный показатель преломления линзы (равен отношению показателя преломления среды к показателю преломления материала линзы); r_1, r_2 – радиусы кривизны линзы; r – радиус кривизны поверхности, находящейся ближе к источнику.

2. Зарисовать в масштабе световод с линзой с указанием всех геометрических параметров и построить ход световых лучей в световоде и их отражения от внутренних стенок световода.

Расчеты провести для трех типов линз. Результаты занести в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Результаты расчетов

№	Показатели	Тип линзы		
		ПВ	ДВ	ПМ
1	Фокусное расстояние f , м			
2	Количество преломлений луча			

3. Сделать выводы о предпочтительной форме линзы для передачи солнечных лучей в световоде.

Задача 2.2.

Условия задачи

Определить координаты параболоидного солнечного концентратора, имеющего параметры: D_K – внешний диаметр концентратора, см; h – высота концентратора, см; f – фокусное расстояние параболоидного концентратора.

Рассчитать площадь фокального пятна, плотность фокального излучения в фокусе параболического концентратора и степень концентрации солнечных лучей для средней солнечной радиации в Челябинской области $E_0=750 \text{ Вт/м}^2$. Данные для расчетов приведены в табл.2.4.

Методика расчета

1. Определяются координаты параболического концентратора с учетом того, что

$$D_K=2 \cdot r_{\max}, \text{ см} \quad (2.2)$$

Задаваясь значениями от $-r$ до $+r$, определяем координаты h . Для каждого значения r из уравнения параболы определяется значение h по уравнению:

$$h = \frac{r^2}{4 \cdot f}, \text{ см} \quad (2.3)$$

Данные заносим в таблицу 2.3.

Таблица 2.3

Расчет координат параболического концентратора

r , см								
h , см								

По данным таблицы 2.3 строится парабола концентратора с указанием осей (рис.2.5).

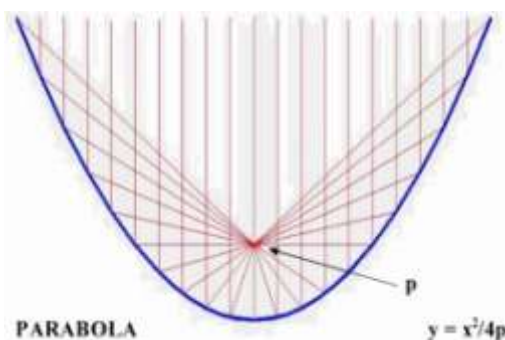


Рис.2.5. Общий вид параболоидного концентратора

2. Солнечный луч, попадая на поверхность параболоида, отражается от нее на фокальной плоскости в виде фокального эллипсоидального пятна. Полуоси эллипса определяются:

$$a = \frac{p \cdot \varphi_0}{1 + \cos \beta}, \text{ см} \quad b = \frac{p \cdot \varphi_0}{1 - \cos \beta}, \text{ см} \quad (2.4)$$

где $p = \frac{f}{D_k}$ – фокальный параметр параболы; φ_0 – угол раскрытия элементарного солнечного луча (в расчетах принимается равным 16°); $\beta = 2f$ – угол падения солнечного луча; f – фокусное расстояние.

По полученным размерам полуосей зарисовать фокальное пятно.

3. Рассчитывается плотность фокального излучения по формуле:

$$E_F = \rho_{omp} \frac{1}{\varphi_0^2} \sin^2 U_m E_0, \text{ Вт/м}^2 \quad (2.5)$$

где $\rho_{omp} = 0,8$ – коэффициент отражения концентратора; U_m – наибольший угол раскрытия параболоида на сторону, град., (определяется по верхнему краю параболоида); E_0 – плотность солнечной радиации для условий Южного Урала, Вт/м².

4. Степень концентрации солнечных лучей в параболоиде рассчитывается по формуле:

$$n = \left(\frac{D}{d} \right)^2 \cdot \rho_{omp}, \quad (2.6)$$

где D – диаметр параболоидного отражателя; d – диаметр фокального пятна (принимается равным размеру меньшей полуоси фокального пятна); ρ_{omp} – коэффициент отражения.

Таблица 2.4

Варианты задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Внешний диаметр концентратора D_k , см	72	40	56	66	48	78	28	50	80	32
Высота концентратора h , см	35	25	32	36	22	34	26	46	64	24
Фокусное расстояние f	9,26	4,0	6,13	7,56	6,56	11,18	1,88	3,4	6,25	2,67

Задача 2.3

Условия задачи

Построить развертку параболы для изготовления солнечного параболического концентратора для использования его в бытовых условиях, определить фокус параболы.

Параболический солнечный концентратор в условиях летнего периода для Южного Урала может быть достаточно эффективен, например, для нагрева воды, т.к., он может фокусировать и рассеянную солнечную энергию (рис.2.6.а). При правильно выбранной конструкции параболоида вода в фокусе концентратора будет нагреваться достаточно быстро, достигая высокой температуры. С помощью таких устройств можно приготовить и полноценный обед.

В качестве объекта нагрева может использоваться обычная труба с теплоносителем для получения горячей воды или вертел (шампур), на котором укреплен продукт (рис.2.6.б)

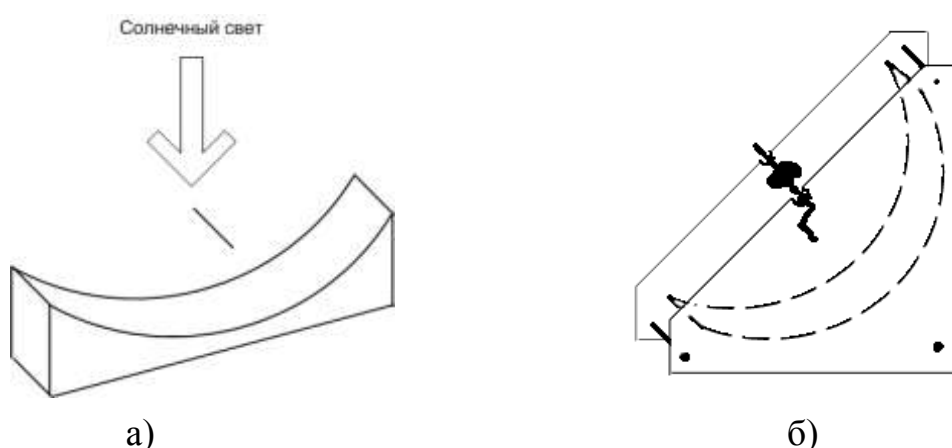


Рис.2.6 Вид параболического концентратора

Методика построения

1. Для изготовления концентратора необходимо вначале построить развертку одной половины параболы на бумаге (рис.2.7).
2. На листе бумаги размером 800x400 мм провести оси X и Y и отложить на них точки, имеющие числовые обозначения.
3. Промежутки между буквами равны 100 мм, а между цифрами – 50 мм. Прямыми линиями очень точно соединить точки 8 и 1, 7 и 2, 6 и 3, 5 и 4 и т.д. Пересекаясь между собой, они образуют ломаную линию.
4. При помощи лекала вписать в эту линию параболу. Таким образом получается одна сторона параболического концентратора. Вторая

половина строится таким же образом и является зеркальным отражением первой. Соединить обе половины параболоида.

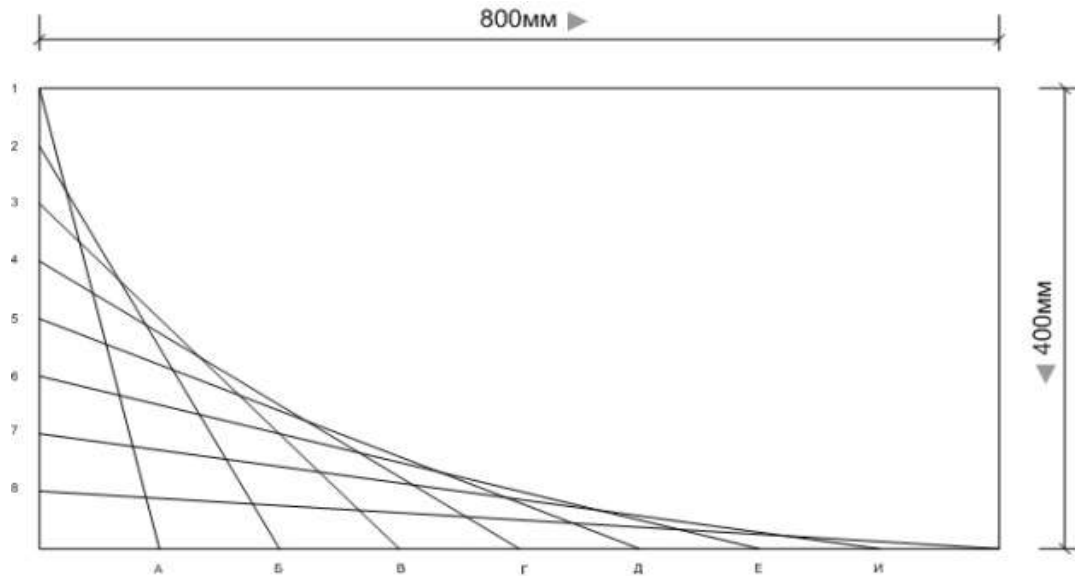


Рис.2.7 Развертка параболы

- Фокус концентратора определяется построением падающих и отраженных лучей от поверхности параболоида. В фокусе параболы устанавливается приемник концентрированной солнечной энергии.

Задача 2.4

Условия задачи

Для конструкций призмконов, изображенных на рис.2.8, построить ход солнечного луча и рассчитать степень концентрации на выходной плоскости призмкона. На рисунке стрелками показано направление падения солнечного луча на воспринимающую грань призмкона. Отражаясь от задней грани с отражающим покрытием луч достигает поверхности выхода d, концентрирующей солнечные лучи.

Данные для расчета взять из таблицы 2.5.

Таблица 2.5

Варианты задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вид призмкона	а	г	д	в	б	а	в	д	е	ж
Коэффициент преломления	1,66	1,5	1,58	1,62	1,54	1,6	1,56	1,64	1,68	1,52

материала										
призмы n										

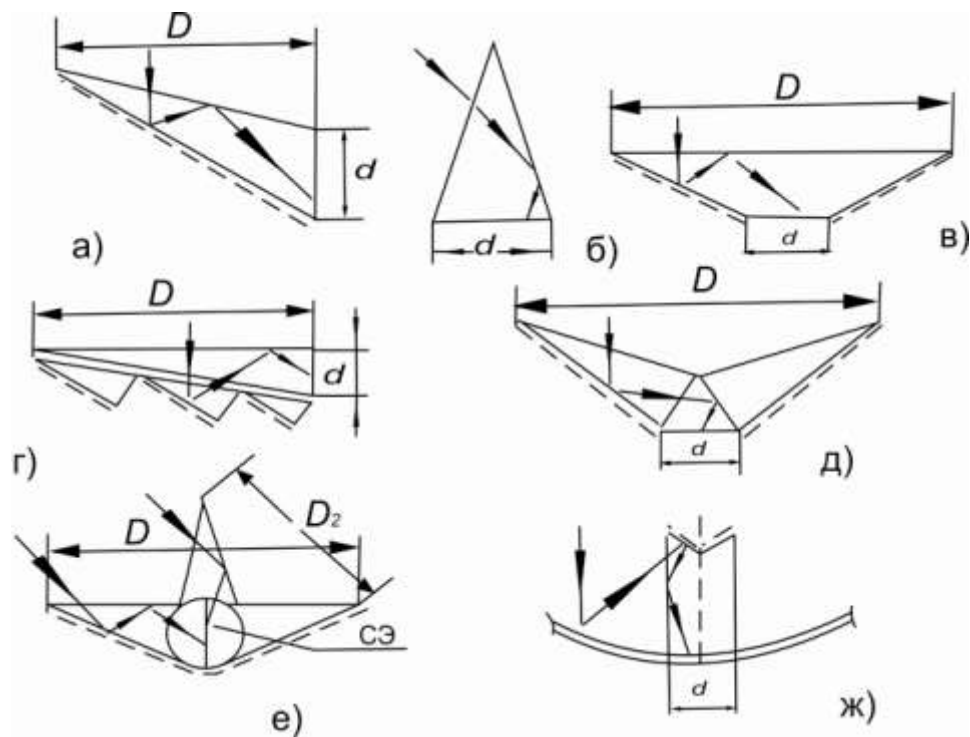


Рис.2.8. Основные типы призмokon:

а – призмokon на основе косо́й треугольной призмы; б – вертикальный треугольный призмokon; в – призмokon на основе трапеции; г – составной призмokon; д – призмokon с центральной отклоняющей призмой; е – призмokon для тепловых коллекторов; ж- призмokon в качестве вторичного концентратора.

Методика расчета

1. Для типа призмokon по варианту задания прорисовать ход луча и расставить соответствующие обозначения углов α и i . Угол α – угол между воспринимающей и отражающей гранями призмы, i – угол между лучом и перпендикуляром к поверхности воспринимающей грани призмы. Измерить и записать значения этих углов.

2. Проверить эффективность работы призмы. Для этого необходимо, чтобы угол α был не меньше минимального значения α_{\min} при заданном значении коэффициента преломления n и угла i .

Минимальное значение угла α определяется:

$$- \text{град} , \quad (2.7)$$

где $\delta_{\text{ПВО}}$ – угол полного внутреннего отражения для материала призмы с коэффициентом преломления n .

Угол $\delta_{\text{ПВО}}$ определяется из зависимости $\delta_{\text{ПВО}}=f(n)$ (рис.2.9).

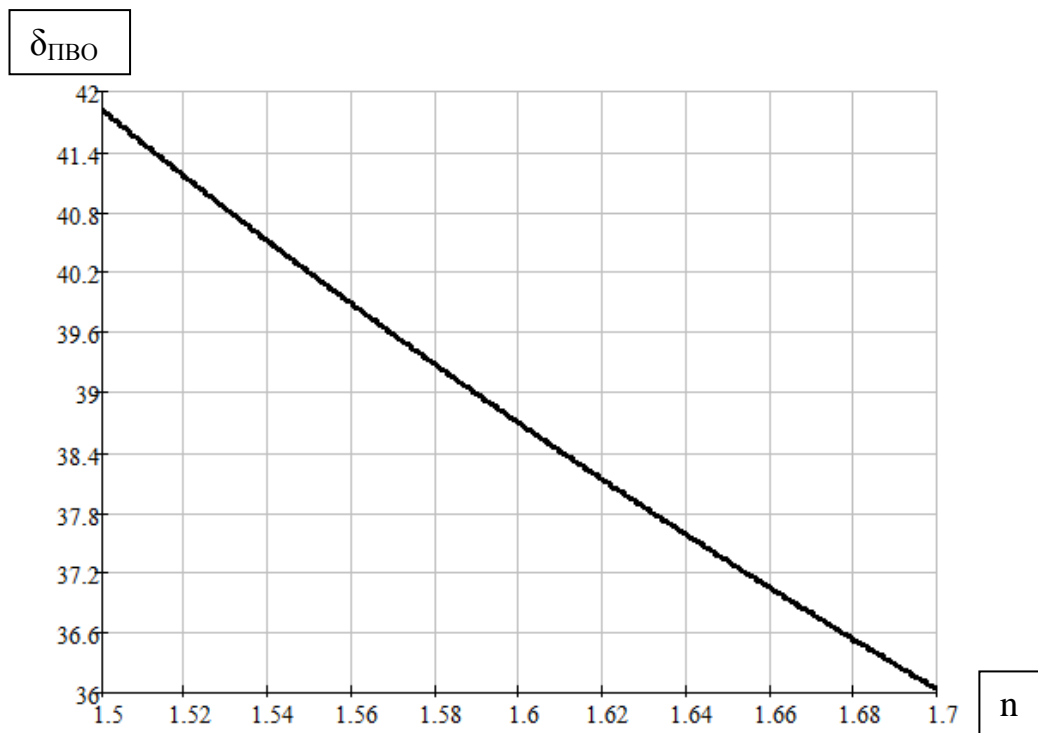


Рис.2.9 Зависимость угла полного внутреннего отражения от коэффициента преломления n .

Если угол $\alpha < \alpha_{\text{min}}$, то на передней грани не выдерживается условие полного внутреннего отражения и луч выходит за пределы призмы.

3. Определяется значение концентрации солнечных лучей на выходной грани призмона. Концентрация определяется для трех ориентаций поверхности:

- Выходная грань расположена под углом 90^0 к отражающей поверхности:

$$\text{—} \quad (2.8)$$

- Выходная грань расположена под углом 45^0 :

$$(2.9)$$

- Выходная грань расположена под углом 135^0 :

По результатам расчета определить наиболее оптимальную с точки зрения концентрации лучей ориентацию выходной грани призмона.

Задача 2.5.

Условия задачи

Рассчитать мощность и температуру на выходе фокуса при однократном преломлении солнечных лучей на внутренних стенках. Площадь воспринимающей поверхности фокуса D составляет $0,2 \times 0,2$ м. (рис. 2.10). Данные для расчета взять из табл. 2.6.

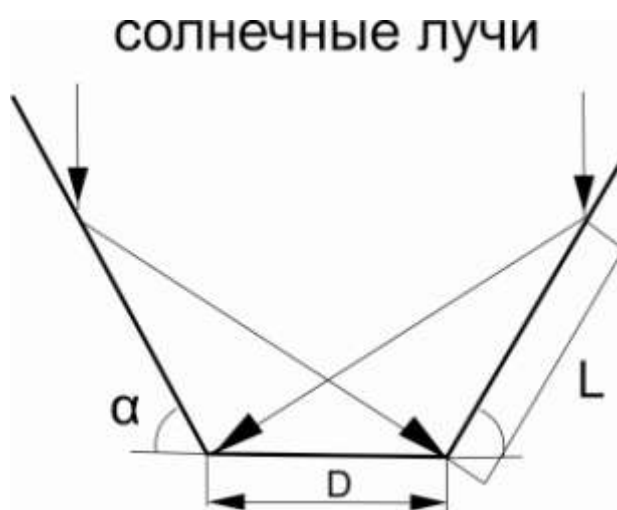


Рис. 2.10. Схема однократного преломления лучей в фокусе

Таблица 2.6

Данные к решению задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коэффициент концентрации К	2,0	2,75	2,5	2,0	2,25	2,5	2,75	2,25	2,5	2,0
Температура окружающей среды $T_{oc}, ^\circ C$	10	20	25	15	30	25	10	20	15	30

Методика расчета

1. По зависимости $\alpha=f(K)$ определить угол наклона стенок фокуса к горизонту:

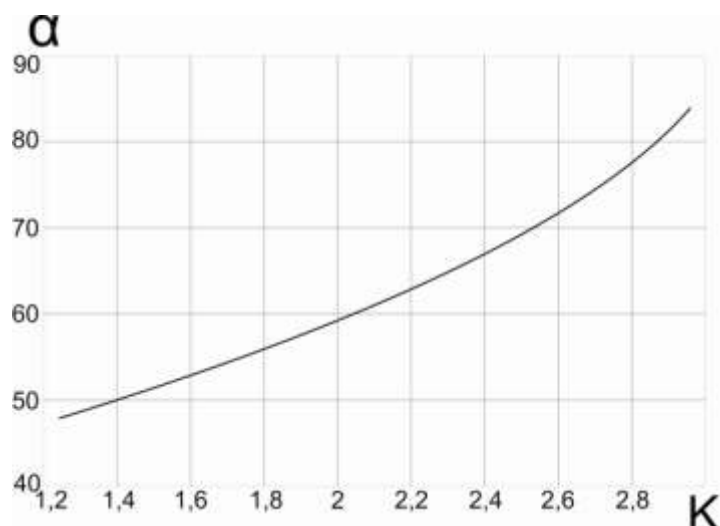


Рис.2.11 Зависимость угла наклона стенок фоклина α от коэффициента концентрации K .

2. По углу наклона α и коэффициенту концентрации K по номограмме (рис.2.12), определить длину стенок фоклина L .

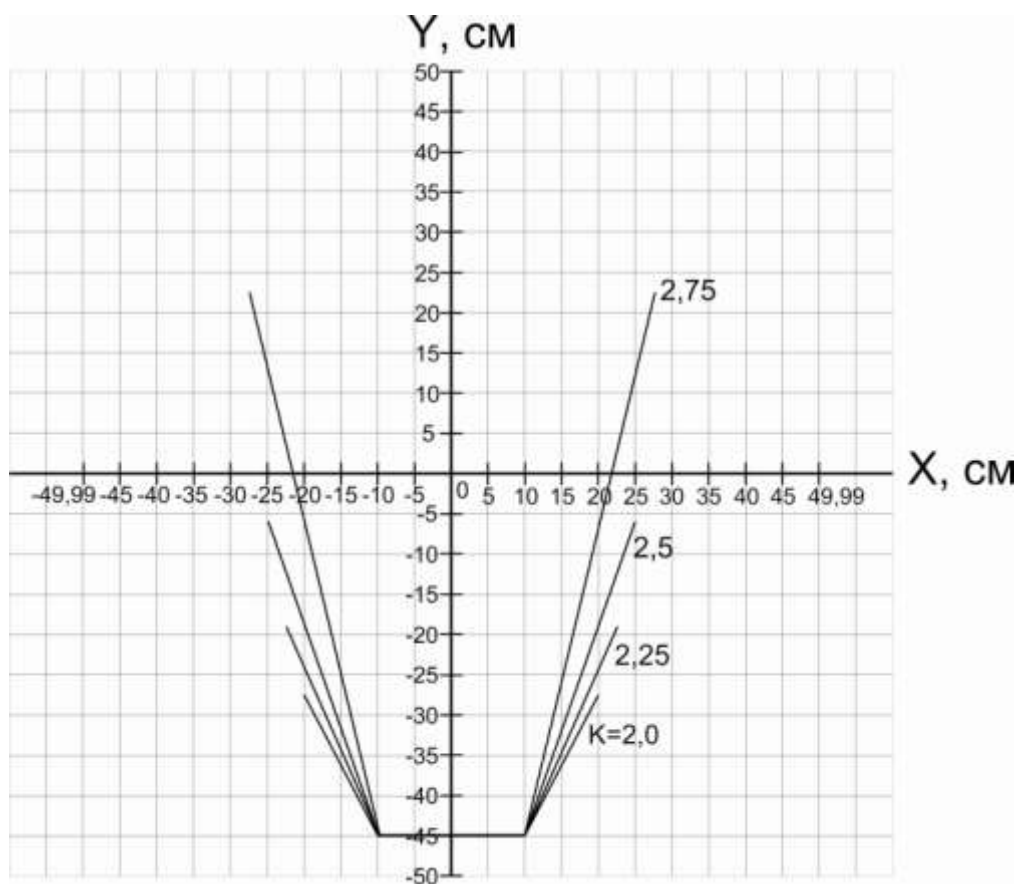


Рис.2.12 Номограмма для определения длины грани фоклина

3. Прорисовать профиль фоклина.

4. Определить электрическую мощность на воспринимающей поверхности концентратора:

$$P, \text{ Вт} \quad (2.11)$$

где E_0 – солнечная постоянная, равная 1360 Вт/м^2 , D – площадь воспринимающей поверхности фоклина, м^2

5. Определить температуру в зоне концентрации солнечных лучей воспринимающей поверхности фоклина по формуле:

$$T, \text{ }^\circ\text{К} \quad (2.12)$$

где T_{oc} – температура окружающей среды, $^\circ\text{К}$, $\sigma_E = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$ – постоянная Стефана-Больцмана.

6. Определить температуру в зоне концентрации при пяти- и десяти-кратном преломлении лучей.

3. СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Задача 3.1.

Условия задачи

Рассчитать параметры и выбрать оборудование солнечной электростанции башенного типа, имеющей n гелиостатов с поверхностью F_g , м^2 . Освещенность приемника на верхней части башни $E_{\text{пр}}$, МВт/м^2 , коэффициент поглощения приемника $A_{\text{пр}}$, коэффициент отражения зеркала гелиостата $R_{\text{отр}}$, максимальная облученность зеркала гелиостата E_g , Вт/м^2 .

Определить площадь поверхности приемника $F_{\text{пр}}$ и тепловые потери в нем, вызванные излучением и конвекцией, если рабочая температура теплоносителя составляет T , $^\circ\text{С}$. Степень черноты приемника $\varepsilon_{\text{пр}}$. Конвективные потери принять вдвое меньше потерь от излучения. Определить мощность СЭС при использовании паротурбинной установки с учетом потерь энергии в турбине $\eta_t=0,95$ и генераторе $\eta_g=0,98$.

Определить, как изменится мощность СЭС, если вместо паротурбинной установки применить кремниевые преобразователи с КПД $\eta_{\text{эф}}=0,141$, занимающие ту же площадь, что и зеркала гелиостатов?

Методика расчета

1. Энергия, полученная приемником от Солнца через гелиостаты, может быть определена по уравнению:

$$Q = R_{отр} \cdot A_{пр} \cdot F_{г} \cdot E_{г} \cdot n, \text{ Вт} \quad (3.1)$$

где $E_{г}$ - облученность зеркала гелиостата, Вт/м²; $F_{г}$ - площадь поверхности гелиостата, м²; n - количество гелиостатов; $R_{отр}$ - коэффициент отражения зеркала гелиостата; $A_{пр}$ - коэффициент поглощения приемника.

2. Площадь поверхности приемника может быть определена, если известна энергетическая освещенность на нем $E_{пр}$, Вт/м²:

$$F_{пр} = Q / E_{пр}, \text{ м}^2 \quad (3.2)$$

В общем случае температура на поверхности приемника может достигать $t_{пов} = 1160$ °К, что позволяет нагреть теплоноситель до абсолютной температуры $T = 700$ °С.

3. Потери тепла за счет излучения в теплоприемнике можно вычислить по закону Стефана-Больцмана:

$$q_{изл} = \varepsilon_{пр} \cdot C_0 \cdot (T/100)^4, \text{ Вт/м}^2, \quad (3.3)$$

где T - абсолютная температура теплоносителя, °К; $\varepsilon_{пр}$ - степень черноты тела приемника; $C_0 = 5,67$ Вт / (м²·К⁴) - степень излучения абсолютно черного тела.

4. Из условия известно, что $q_{конв} = 0,5q_{изл}$, тогда:

$$q_m = q_{изл} + q_{конв} = 1,5q_{изл}, \text{ Вт/м}^2 \quad (3.4)$$

5. Полные тепловые потери определяются:

$$Q_{пол} = q_m \cdot F_{пр}, \text{ Вт/м}^2 \quad (3.5)$$

6. Мощность солнечной электростанции с паротурбинной установкой определяется:

$$P_{СЭС} = Q - Q_{пол} \cdot \eta_{Г} \cdot \eta_{Т}, \text{ кВт} \quad (3.6)$$

7. Мощность СЭС в случае, если вместо ПТУ применить кремниевые фотоэлементы, занимающие ту же площадь, что и зеркала гелиостатов:

$$P_{СЭС}^1 = E_{г} \cdot n \cdot F_{г} \cdot \eta_{фЭ}, \text{ кВт.} \quad (3.7)$$

Таблица 3.1

Варианты задачи 3.1

Величина	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Количество гелиостатов, n, шт	260	190	255	248	265	328	264	279	284	248
Поверхность гелиостата, $F_{Г}$, m^2	64	61	58	55	52	49	46	43	40	37
Коэффициент отражения гелиостата $R_{отр}$	0,8	0,81	0,82	0,79	0,78	0,8	0,81	0,82	0,79	0,78
Максимальная облученность зеркала гелиостата $E_{Г}$, $Вт/м^2$	550	575	580	585	590	600	610	620	615	605
Максимальная энергетическая освещенность приемника, $E_{пр}$, $МВт/м^2$	2,5	2,1	2,2	2,3	2,6	2,5	2,0	1,9	2,1	1,9
Коэффициент поглощения приемника $A_{пр.}$	0,95	0,96	0,94	0,94	0,93	0,95	0,96	0,97	0,95	0,95
Степень черноты приемника $\epsilon_{пр}$	0,96	0,95	0,94	0,95	0,97	0,94	0,94	0,93	0,95	0,94

4. УСТРОЙСТВА СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ

Устройства слежения за солнцем называются трэкер (Solar Tracker). Одна из электрических схем трэкера представлена на рис.4.1. Схема проста, компактна и ее легко можно собрать своими руками. Для определения позиции солнца, используются два фоторезистора. Двигатель поворота включен по схеме Н-моста (H-bridge), который позволяет коммутировать ток

до 500 мА при напряжении питания 6-15В. В темноте устройство также работоспособно и будет поворачивать двигатель на наиболее яркий источник света.

Как видно из рисунка, схема содержит микросхему операционного усилителя LM1458 (К140УД20), транзисторы BD139 (КТ815Г, КТ961А) и BD140 (КТ814Г,КТ626В), фоторезисторы, диоды 1N4004 (КД243Г), резисторы и подстроечные резисторы.

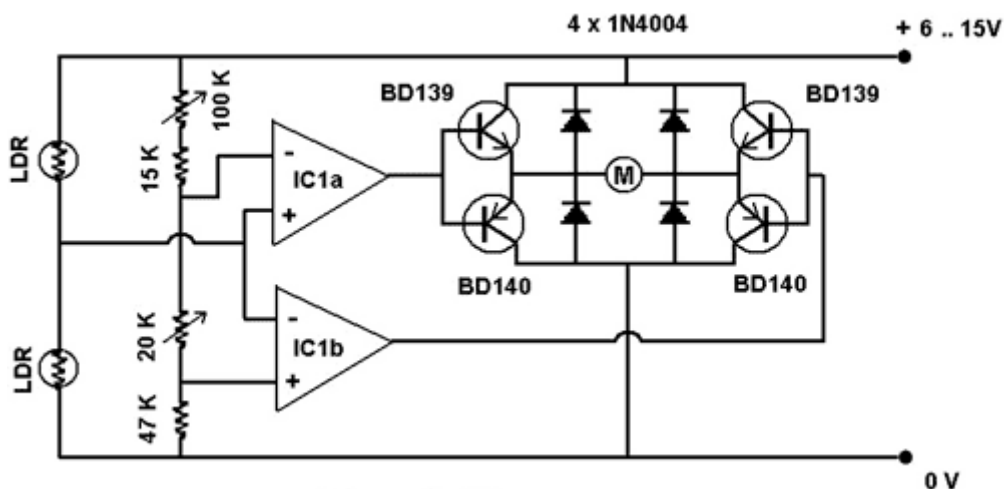


Рис.4.1. Принципиальная электрическая схема трэкера

Из схемы видно, что двигатель М приводится в движение при разных значениях на выходах ОУ IC1a и IC1b. Таблица истинности:

Выход IC1a	Выход IC1b	Состояние двигателя
Низк.	Низк.	Остановлен
Низк.	Выс.	Вперед *
Выс.	Выс.	Остановлен
Выс.	Низк.	Назад *

* или наоборот, зависит от подключения мотора

Транзисторы в схеме работают в паре, по диагонали, коммутируя +Ve или -Ve к двигателю, и заставляя его вращаться вперед или назад.

Во время остановки двигателя, он продолжает вращаться, т.к. присутствует вращающийся момент. Вследствие этого, он какое-то время генерирует мощность, которая может вывести транзисторы из строя. Для защиты транзисторов от противо-ЭДС в схеме моста используется 4 диода.

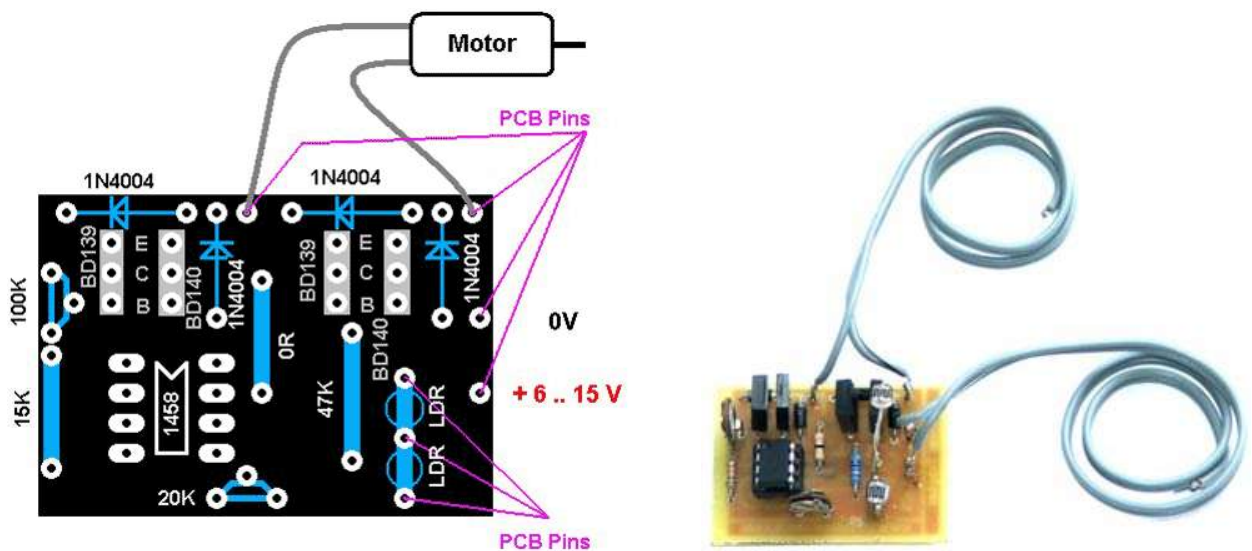


Рис. 4.2 Общий вид схемы слежения за солнцем

Входной каскад состоит из двух ОУ (IC1) и фоторезисторов LDR и LDR'. Если количество света, попадающее на них одинаково, то сопротивления фоторезисторов также равны. Следовательно, если напряжение питания 12В, то в месте соединения фоторезисторов LDR LDR' будет напряжение в 6В. Если количество света попадающего на один фоторезистор будет больше, чем на другом фоторезисторе, то напряжение будет изменяться.

Ограничения (лимиты) от +V до 0V устанавливаются четырьмя последовательно соединенными резисторами и подстраиваются 2-мя подстроечными резисторами. Если напряжение выйдет за пределы этих ограничений, то ОУ запустит двигатель и он постоянно будет вращаться. Подстроечный резистор 20K регулируют чувствительность, т.е. диапазон между лимитами. Подстроечник 100K регулирует то, насколько лимиты будут симметричны относительно +V/2 (точка баланса).

Задача 4.1

Условия задачи

Изучить принцип работы и характеристики трекера. Собрать схему устройства в соответствии с описанием.

Методика выполнения

Для настройки собранной схемы трекера необходимо выполнить следующие действия.

1. Проверить напряжение источника питания схемы.
2. Подключить двигатель постоянного тока.

3. Установить фоторезисторы рядом, чтобы на них попадало одинаковое количество света.
4. Полностью выкрутить оба подстроечных резистора против часовой стрелки.
5. Подать питание на схему. Двигатель начнет крутиться.
6. Вращать подстроечник 100К по часовой стрелке до тех пор, пока он не остановится. Отметить эту позицию.
7. Продолжать вращать подстроечник 100К по часовой стрелке до тех пор, пока двигатель не начнет вращаться в другую сторону. Отметить эту позицию.
8. Разделить угол между двумя позициями пополам и установить там подстроечник (это будет точка баланса).
9. Вращать подстроечник 20К по часовой стрелке до тех пор, пока двигатель не начнет совершать резкие движения.
10. Немного вернуть положение подстроечника назад (против часовой стрелки), чтобы двигатель остановился (данный подстроечник отвечает за чувствительность).
11. Проверить корректность работы схемы, поочередно заслоняя от света один и второй фоторезисторы.

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Указания к выполнению лабораторных работ

1. К выполнению работы необходимо подготовиться до начала занятия в лаборатории. Кроме описания работы в данном методическом пособии, используйте рекомендованную литературу и конспект лекций. К выполнению работы допускаются только подготовленные студенты.
2. Предварительная подготовка к проведению лабораторных работ
 - 2.1. Перед началом подробно ознакомиться с программой и схемой предстоящей лабораторной работы.
 - 2.2. Продумать, каким образом производить коммутацию между аппаратами, разобраться в их назначении, уяснить работу оборудования и ее элементов.
 - 2.3. Составить монтажную схему с указанием мест подключения или составить таблицу соединений, согласно которой будет производиться коммутация элементов аппаратов.
 - 2.4. Сборку схемы производить только при отключенной питающей сети. После окончания сборки схемы тщательно проверить правильность соединений в соответствии с рисунками, прилагаемыми к лабораторным работам. Убедиться в отсутствии коротких замыканий в монтаже схемы.

После чего обратиться к преподавателю за разрешением на проведение лабораторной работы.

2.5. Приступая к работе, следует установить все автоматы и устройства защитного отключения в нижнее положение, соответствующее их отключенному состоянию, а регуляторы в крайнее положение против часовой стрелки (минимальное положение).

2. Отчеты выполняются по каждой лабораторной работе отдельно с помощью компьютерного набора текста и графиков, выполненных в программе Excel с соблюдением стандартов.

Отчет должен включать в себя:

- Титульный лист с указанием номера и названия лабораторной работы, фамилию студента выполнявшего данную лабораторную работу и фамилию преподавателя, принимающего отчет;

- В тексте отчета должно быть указано:

- название лабораторной работы и её цель;
- используемое оборудование;
- ход выполнения лабораторной работы;
- обобщающий вывод по всей лабораторной работе - краткое заключение о результатах работы, согласующееся с её целью.
- список использованной литературы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Исследование коэффициента концентрации солнечных лучей линзой Френеля

Цель работы: Исследовать степень концентрации солнечных лучей за счет использования линзы Френеля по сравнению с естественным и искусственным освещением.

Порядок работы:

1. Установить напротив источника света панель с миллиметровой бумагой. Разместить в центре панели датчик люксметра, определить уровень освещенности E_1 , лк.

2. Между источником света и панелью установить линзу Френеля (рис.1.1.). Перемещая линзу, добиться максимальной концентрации световых лучей на панели. Определить размеры фокального пятна.

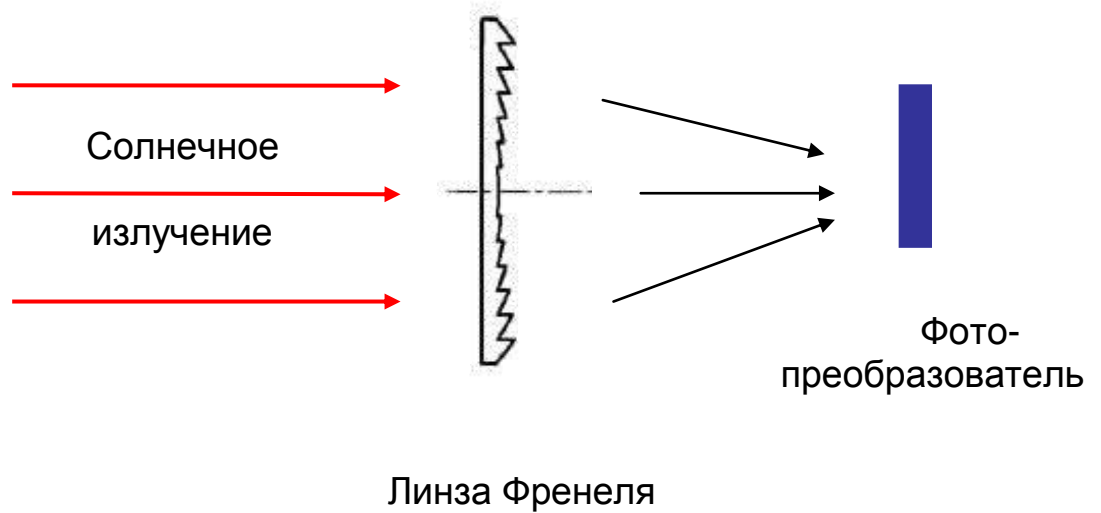


Рис.1.1. Расположение линзы Френеля

3. В области фокального пятна люксометром определить освещенность E_2 .
4. Результаты занести в табл.1.1. Рассчитать степень концентрации n .

Таблица 1.1.

E_1 , лк	E_2 , лк	Размер фокального пятна, мм		Степень концентрации n
		d_1	d_2	

5. Собрать схему, представленную на рис.1.2, без потребителей, к выходу ФЭП подключить вольтметр PV1.

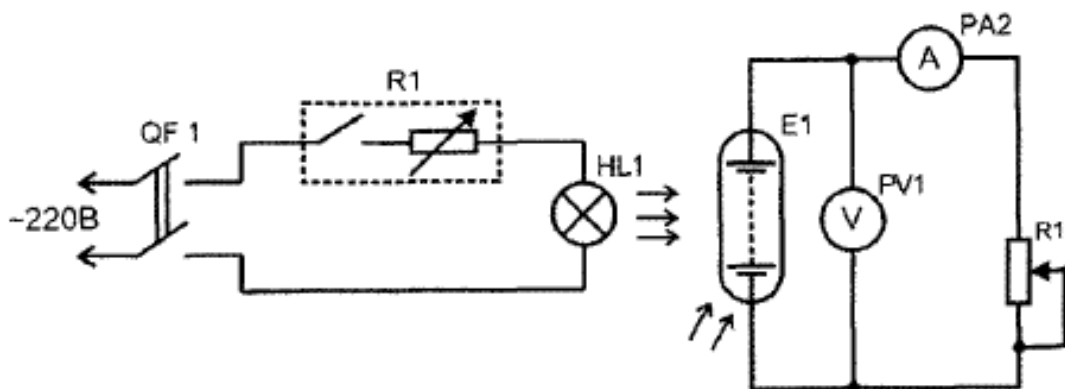


Рис.1.2 Схема лабораторной установки

6. Определить напряжение на ФЭП при естественном освещении U_1 , данные занести в табл.1.2.
7. Подключить источник света к стенду, стенд подключить к сети.
8. Включить автомат дифференциального тока «Сеть».
9. Регулятором «Световой поток» добиться максимального значения напряжения на выходе ФЭП U_2 , значение занести в табл.1.2.
10. Вывести регулятор в исходное положение.
11. Установить между источником света и ФЭП линзу Френеля. Перемещая линзу, добиться максимального значения напряжения на выходе ФЭП U_3 . Данные занести в табл.1.2

Таблица 1.2.

Напряжение при естественном освещении U_1 , В	Напряжение при искусственном освещении U_1 , В	Напряжение при использовании ЛФ U_1 , В	Степень концентрации n	
			Для U_1	Для U_1

12. Сделать выводы.
13. Оформить отчет по лабораторной работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Определение мощности фотоэлектрического преобразователя с линзой Френеля

Цель работы: Исследовать мощность фотоэлектрического преобразователя (ФЭП) при использовании линзы Френеля в качестве концентратора солнечных лучей

Порядок работы:

1. Собрать схему (рис.2.1) с потребителями.

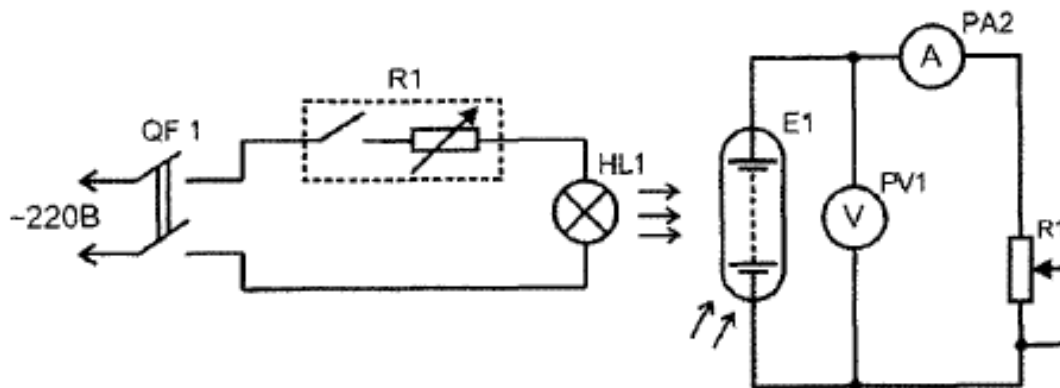


Рис.2.1 Схема лабораторной установки

2. Переключить режим работы распределительного щита РЩ на модуле «Потребители» в положение «Автономное»;
3. Включить источник света в сеть.
4. Подключая поочередно все потребители, записать показания амперметра и вольтметра при максимальном световом потоке. Результаты занести в табл.2.1.

Таблица 2.1.

Потребители	Без линзы Френеля			С линзой Френеля		
	$U_1, В$	$I_1, А$	$P_1, Вт$	$U_2, В$	$I_2, А$	$P_2, Вт$
Освещение 1 этаж						
Микроволновая печь						
Электроплита						
Стиральная машина						
Обогреватель						
Телевизор						
Освещение 2 этаж						

5. Рассчитать мощность ФЭП P_1
6. Провести аналогичные исследования при использовании линзы Френеля. Данные занести в табл.2.1.
7. Рассчитать значение мощности P_2 .
8. Сравнить результаты расчета, сделать выводы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Определение КПД солнечного концентратора с плоскими отражателями

Исследования проводятся на лабораторном комплексе «Солнечный нагрев в электроэнергетике».

Цель работы: изучение солнечных концентраторов с плоскими отражателями и методов определения их КПД.

Порядок работы:

1. Установить на стенд концентратор с плоскими отражателями (рис.3.1).

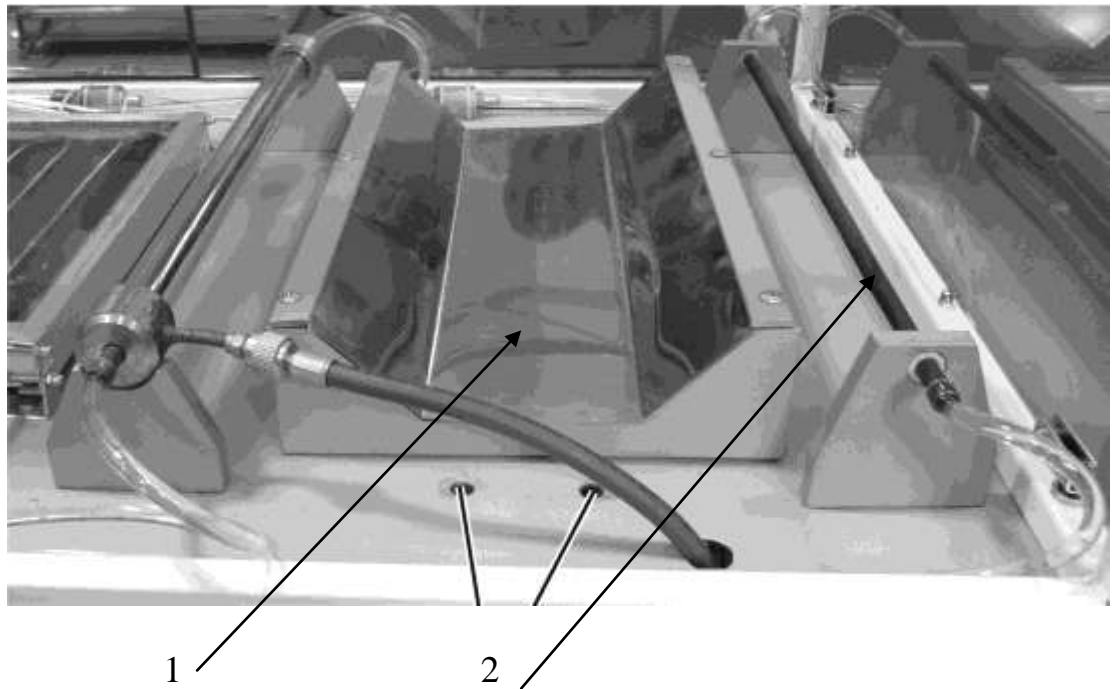


Рис.3.1. Стенд по исследованию плоских солнечных отражателей: 1 – плоский отражатель; 2 – медная трубка с теплоносителем.

2. Установить на коллектор с плоскими отражателями медную трубку с черным покрытием.
3. Установить над трубкой излучатель, так чтобы он находился в фокусе отражателя.
4. Включить насос. Открыв соответствующие краны и вращая задвижку добиться устойчивого расхода теплоносителя через трубку.
5. Включить излучатель на мощность, равную 25% от полной.
6. Записывая значения температур перед и за трубкой, а так же определяя расход жидкости, рассчитать тепловую мощность, переданную потоку жидкости по формуле:

$$N_{пол} = C \cdot Q \cdot \rho \cdot (t_{вых} - t_{вх}), \quad (3.1)$$

где $C = 4200 \frac{Дж}{кг \cdot К}$ – удельная теплоемкость воды при постоянном давлении; Q

– расход жидкости, протекающей по изучаемому трубопроводу; $\rho = 1000 \frac{кг}{м^3}$ – плотность воды при нормальных условиях; $t_{вых}; t_{вх}$ – температура на выходе и входе изучаемого трубопровода соответственно;

Рассчитанные значения занести в таблицу 3.1.

7. Вычислить величину КПД $\eta = \frac{N_{пол}}{N_{зат}}$, поделив тепловую мощность переданную потоку на затраченную мощность излучателя
8. Вращая задвижку изменить расход протекающей воды.
9. Повторить п.5,6,7, увеличивая мощность лампы соответственно да 50, 75 и 100% от ее полной мощности.
10. Проанализировать полученные значения. Построить графики зависимости $t_{вых}=f(N_{зат})$; $t_{вх}=f(N_{зат})$; $Q=f(N_{зат})$; $N_{пол}=f(N_{зат})$; $\eta=f(N_{зат})$.
11. Сделать выводы. Оформить отчет по лабораторной работе.

Данная лабораторная работа может быть выполнена в автоматизированном режиме (с применением компьютера), и вручную.

Вариантом выполнения работы может быть использование медной трубки с черным покрытием в кварцевой трубе.

Таблица 3.1

Показатель	Мощность, потребляемая излучателем, %			
	25	50	75	100
Температура на входе медной трубки с черным покрытием, $t_{вх}$, °С.				
Температура на выходе медной трубки с черным покрытием, $t_{вых}$, °С.				
Расход жидкости, протекающей через трубку, Q , м ³ /с.				
Тепловая мощность, переданная потоку жидкости, $N_{пол}$, Вт.				
КПД отражателя, η , %				

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 Определение КПД солнечного концентратора с параболическими отражателями

Исследования проводятся на стенде, аналогично лабораторной работе №3. Вместо плоского отражателя используется параболический солнечный концентратор.

Цель работы изучение солнечных коллекторов с параболическими отражателями и методов определения их КПД.

Порядок работы:

1. Установить на стенд концентратор с параболическим отражателем.
2. Установить на стенд с параболическим отражателем медную трубку с черным покрытием.
3. Установить над трубкой излучатель, так чтобы он находился в фокусе отражателя.
4. Включить насос. Открыв соответствующие краны и вращая задвижку добиться устойчивого расхода теплоносителя через трубку.
5. Включить излучатель на мощность, равную 25% от полной.
6. Записывая значения температур перед и за трубкой, а так же определяя расход жидкости, рассчитать тепловую мощность, переданную потоку жидкости по формуле:

$$N_{пол} = C \cdot Q \cdot \rho \cdot (t_{вых} - t_{вх}), \quad (4.1)$$

где $C = 4200 \frac{Дж}{кг \cdot К}$ – удельная теплоемкость воды при постоянном давлении; Q – расход жидкости, протекающей по изучаемому трубопроводу; $\rho = 1000 \frac{кг}{м^3}$ – плотность воды при нормальных условиях; $t_{вых}; t_{вх}$ – температура на выходе и входе изучаемого трубопровода соответственно;

Рассчитанные значения занести в таблицу 4.1.

7. Вычислить величину КПД $\eta = \frac{N_{пол}}{N_{зат}}$, поделив тепловую мощность переданную потоку на затраченную мощность излучателя.
8. Вращая задвижку изменить расход протекающей воды.
9. Повторить п.5,6,7, увеличивая мощность лампы соответственно да 50, 75 и 100% от ее полной мощности.
10. Проанализировать полученные значения. Построить графики зависимости $t_{вых}=f(N_{зат}); t_{вх}=f(N_{зат}); Q=f(N_{зат}); N_{пол}=f(N_{зат}); \eta=f(N_{зат})$.
11. Сделать выводы. Оформить отчет по лабораторной работе.

Данная лабораторная работа может быть выполнена в автоматизированном режиме (с применением компьютера), и вручную.

Вариантом выполнения работы может быть использование медной трубки с черным покрытием в кварцевой трубе.

Таблица 4.1

Показатель	Мощность, потребляемая излучателем, %			
	25	50	75	100
Температура на входе медной трубки с черным покрытием, $t_{вх}, ^\circ C$				
Температура на выходе медной трубки с черным покрытием, $t_{вых}, ^\circ C$				
Расход жидкости, протекающей через				

трубку, Q, м ³ /с				
Тепловая мощность, переданная потоку жидкости, N _{пол} , Вт				
КПД отражателя, η, %				

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Системы солнечного нагрева в энергетике: методические указания к лабораторным работам/сост.: И.М. Кирпичникова, Е.В.Соломин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013.-24 с.
2. Селин В.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: методическое пособие к контрольному занятию. - Калининград: КГТУ, 2005. – 21 с.