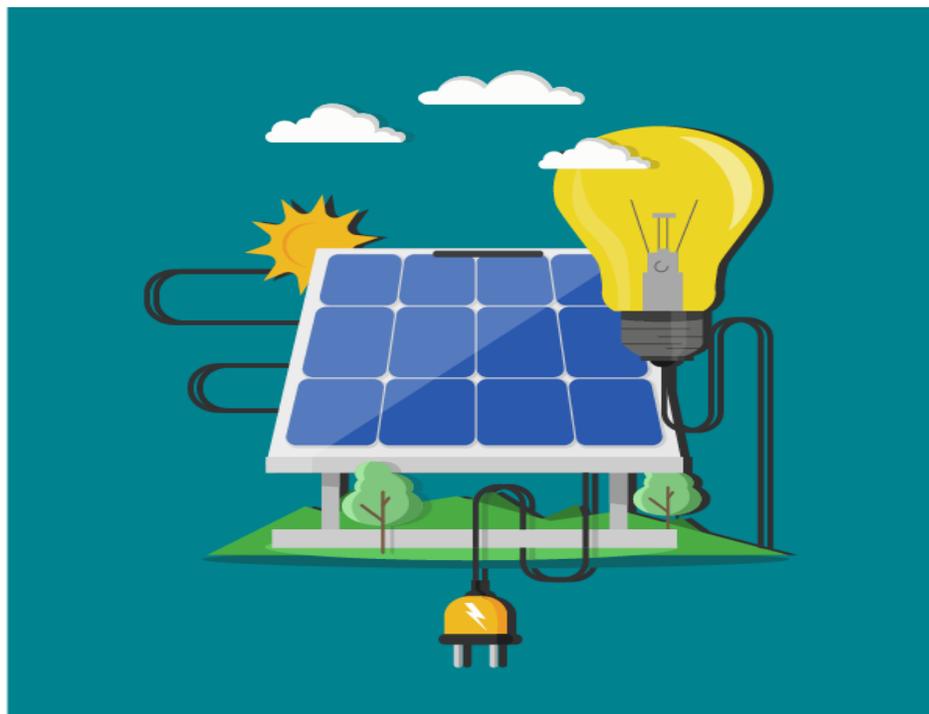


**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И ИННОВАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА
СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**Солнечная Энергетика
Методические указания**



Ташкент-2023

УДК620.321

Солнечная энергетика. Методические указания

Юлдошев И.А., Жураева З.И., Курбанов Ю.М Ташкент:ТашГТУ-2023. 88 с.

Методические указания предназначены для студентов по направлениям: 6071100 — Альтернативные источники энергии (Солнечная и ветровая энергия) и 6071100 — Альтернативные источники энергии (Водородная энергия) для выполнения лабораторных работ.

В данных методических указаниях подробно освещены основные законы науки «Солнечная энергия», краткие теоретические сведения по каждой теме, наиболее необходимые экспериментальные сведения для проведения практических занятий на современном лабораторном оборудовании, а также методы их проверки в эксперименте.

*Печатается по решению научно-методического совета
Ташкентского государственного технического университета.*

Рецензенты

доц Насиров А.А.

НУУз,

PhD,доц Сайтов Э.Б.

ТашГТУ

© Ташкентский государственный технический университет, 2023

ВВЕДЕНИЕ

Использование нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в сфере топлива и энергетики является одной из актуальных проблем современной энергетики. Одним из таких видов энергии, т.е. известным своей чистой экологической чистотой и удобством, является солнечная энергия.

Среди всех видов возобновляемой энергетики использование солнечной энергии очень удобно в регионе Узбекистана, её технический потенциал составляет 98,6%. Эффективное использование этой энергии передалось нам от наших предков, потому что в наших далёких краях солнечная энергия до сих пор используется для сушки фруктов и овощей, сушки кормов для скота на зиму, нагрева воды на солнце и других целей. По результатам проведённых исследований технический потенциал возобновляемых источников энергии в Республике Узбекистан составляет 180 млн тонн нефтяного эквивалента и превышает годовую потребность в энергоресурсах в три раза.

В области экономики страны широкой и эффективной областью использования солнечной энергии является преобразование солнечного излучения в электрическую энергию через полупроводниковые преобразователи и для целей нагрева воды от низкопотенциальной теплоты с использованием солнечных коллекторов в системах горячего водоснабжения, в объектах коммунального хозяйства. Следует отметить, что малоэтажные жилые дома составляют 76% от общего объёма добычи природного газа (15 100 млн куб.м) и только на горячее водоснабжение расходуется 3 000 млн куб.м природного газа. Обобщая мировой опыт и анализируя возобновляемые источники энергии в регионе Узбекистана, можно сказать, что использование солнечной энергии при снабжении электроэнергией и горячей водой полностью экономически оправдано в условиях Узбекистана. По данным Европейской ассоциации фотоэлектрической промышленности

(EPIA), уровень использования возобновляемых источников энергии во всем мире постоянно увеличивается.

Например, в 2012 году по всему миру были установлены фотоэлектрические панели общей мощностью 100 ГВт, а за последние десять месяцев этого года введено в эксплуатацию 30 ГВт таких устройств. В конечном итоге только в Германии удалось снизить стоимость электроэнергии от фотоэлектрической станции до 0,07 доллара США.

Методические указания по выполнению данных лабораторных работ включают в себя конструкции гелиоустановок различного назначения, методические рекомендации по проверке их технических показателей в лабораторных и естественных солнечных условиях, краткие теоретические сведения, порядок выполнения работ, сведения о методах расчёта полученных результатов.

Лабораторная работа №1

ИЗУЧЕНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ И ВОЛЬТ-ВАТТНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОДУЛИ

Цель работы: изучение устройства и принципа действия монокристаллической солнечной батареи, определение вольт-амперной характеристики

Программа работы

1. Ознакомление с конструкцией и принципом действия монокристаллической солнечной батареи.
2. Проведение эксперимента, обработка данных и построение вольт-амперной характеристики.
3. Составление отчёта.

Краткие теоретические сведения

Солнце является основным источником энергии, обеспечивающим существование жизни на Земле. Для характеристики солнечного излучения

используются следующие основные величины:

Поток излучения – величина, равная энергии, переносимой электромагнитными волнами за одну секунду через произвольную поверхность. Единица измерения потока излучения - Дж/с = Вт.

Плотность потока излучения (энергетическая освещенность) - величина,

равная отношению потока излучения к площади равномерно облучаемой им поверхности. Единица измерения плотности потока излучения - Вт/м².

Световой поток. Световым потоком называется поток излучения, оцениваемый по его воздействию на человеческий глаз. Человеческий глаз неодинаково чувствителен к потокам света с различными длинами волн. Обычно при дневном освещении глаз наиболее чувствителен к свету с длиной волны 555 нм. Поэтому одинаковые по мощности потоки излучения, но разные длины волн

вызывают разные световые ощущения у человека. Единицей измерения светового потока с точки зрения восприятия его человеческим глазом (яркости) является люмен (лм). Световой поток в 1 лм белого света равен $4,6 \cdot 10^3$ Вт (или $1 \text{ Вт} = 217 \text{ лм}$).

Освещённость - величина, равная отношению светового потока, падающего на поверхность, к площади этой поверхности. Освещённость измеряется в люксах (лк). $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2$. Для белого света $1 \text{ лк} = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/м}^2$ (или $1 \text{ Вт/м}^2 = 217 \text{ лк}$). Приборы, предназначенные для измерения освещённости, называются люксметрами.

Солнечная электроэнергетика - это направление энергетики, которое занимается преобразованием энергии солнечного излучения в электрическую энергию. Существуют два способ преобразования солнечной энергии:

Фототермический и фотоэлектрический. В первом теплоноситель нагревается в солнечном коллекторе до высокой температуры и используется для вращения турбогенератора, который вырабатывает электроэнергию или для горячего водоснабжения и отопления помещений. Во втором - прямое преобразование солнечного излучения в электрический ток с помощью полупроводниковых фотоэлементов - солнечных батарей.

Порядок выполнения работы

Этап 1. Ознакомление с конструкцией и принципом действия монокристаллической солнечной батареи

Солнечная батарея - это соединённые между собой фотоэлектрические преобразователи (фотоэлементы), которые преобразуют солнечную энергию в постоянный ток. Солнечные батареи строятся из модулей, сделанных на основе кристаллов кремния. В зависимости от области применения, солнечные модули могут иметь различные конструктивные решения и разные выходные мощности.

Применяются солнечные батареи для обеспечения автономной электроэнергией. *Тонкопленочные солнечные батареи* являются наиболее дешевыми в производстве, не требуют прямых солнечных лучей, работают при рассеянном излучении и могут устанавливаться на стены здания. Это солнечные модули, в которых полупроводник

осаждается тонким слоем (толщиной порядка одного микрона) на тонкую подложку из стекла или стали. В качестве полупроводника могут выступать различные материалы, обладающие способностью поглощать свет. Наиболее часто для этого используется аморфный кремний (a-Si: H) или поликристаллические материалы, такие как теллурид кадмия (CdTe), медно-индиевый (CIS) или медно-галлиевый диселенид (GIGS).

Тонкая плёнка может быть лучше, чем монокристаллы, в областях с туманным климатом или в тех производствах, где присутствует постоянная запылённость воздуха, в таких ситуациях этот способ производства энергии будет рентабельнее. 95 % случаев тонкопленочные панели используются для систем, которые генерируют электроэнергию непосредственно в сеть («on-grid» системы). Для тонкопленочных панелей необходимо использовать высоковольтные инверторы и контроллеры, которые не стыкуются с маломощными бытовыми системами. По причине небольшого КПД (около 10%) эти панели эффективно использовать в системах мощностью от 10 кВт.

Одним из существенных недостатков тонкопленочных панелей можно считать то, что они требуют большей площади для установки (примерно в 2 раза больше, чем потребовалось бы для монокристаллических батарей). Размеры панелей 1400*800*3 мм, вес около 20 кг, рабочее напряжение 55,7-60 В, рабочий ток 0,9 А, максимальное напряжение системы 1000 В. Стоимость тонкопленочных солнечных батарей колеблется в пределах 2,5 - 3\$ за 1 Вт мощности.

Тонкопленочные кремниевые солнечные батареи производятся уже довольно давно. Они применяются в часах и калькуляторах. Аморфный кремний в них осаждается на тонкую подложку. Эффективность тонкопленочных солнечных батарей на основе аморфного кремния существенно ниже, чем у солнечных батарей на основе кристаллического кремния, однако высокая эффективность в данном случае не является критически важной характеристикой и для бытовых устройств типа часов или калькуляторов тонкопленочные батареи на основе аморфного кремния являются стандартом.

Монокристаллические солнечные батареи на сегодняшний день самые популярные. Эти солнечные батареи представляют собой кремниевые пластины толщиной 250-300 мкм. КПД монокристаллических солнечных батарей до 25%. Батареи вставляются в алюминиевую рамку и закрываются защитным стеклом. Цвет фотоэлементов монокристаллических солнечных батарей чёрный или тёмно-синий. Солнечные батареи устанавливаются на крышах домов, на фонарях освещения и обычно используются для подзарядки аккумуляторов, питания сигнализации, на освещение, питание бытовой техники и др. Схема подключения: солнечные панели - контроллер - аккумуляторы - инвертор - потребители.

Контроллер - это электронное устройство, которое обеспечивает управление зарядом - разрядом солнечных батарей, защищает систему питания от перегрузок и короткого замыкания при изменении режимов потребления энергии. Аккумуляторы служат для накопления энергии, а *инвертор* преобразовывает постоянный ток аккумулятора в переменный ток промышленной частоты. Размеры монокристаллических солнечных батарей от 306*216*18 мм до 1950*992*50 мм, вес от 0,8 до 24 кг, рабочее напряжение от 21,6 В до 59,5 В, рабочий ток от 0,29 А до 7,98 А.

Стоимость *поликристаллической солнечной батареи* меньше, чем монокристаллической. КПД около 20%. Поликристаллические солнечные батареи имеют ярко синий цвет. Область применения: питание бытовой техники, освещение, питание ноутбуков, мобильных телефонов и др. Схема подключения такая же, как и у монокристаллических солнечных панелей.

Недостатки солнечных батарей:

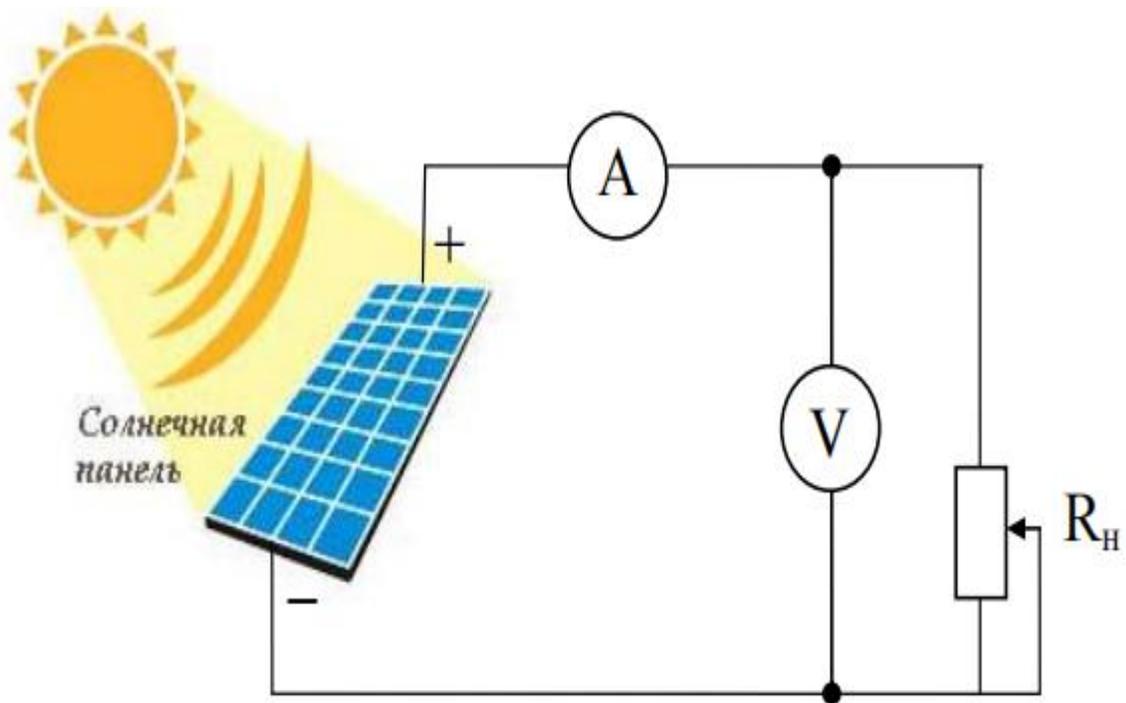
- низкий КПД;
- снижение эффективности при загрязнении поверхности;
- снижение производительности фотоэлементов при повышении температуры,
- требовательны к сопротивлению нагрузки. Для устранения этого недостатка нужно использовать контроллеры управления;
- ухудшение характеристик с течением времени;
- высокая стоимость.

Солнечная батарея работает следующим образом.

1. Фотоны ударяются о поверхность солнечной батареи и поглощаются её рабочим материалом, например, кремнием.
2. Фотоны, сталкиваясь с атомами вещества, выбивают из него его родные электроны. В результате чего возникает разность потенциалов. Свободные электроны начинают двигаться внутри вещества, чтобы погасить разность потенциалов. Возникает электрический ток. Так как солнечная батарея - это полупроводник, то электроны движутся только в одном направлении.
3. Получаемый ток солнечная батарея преобразует в постоянный и отдает его потребителю или аккумулятору.

Этап 2. Проведение эксперимента, обработка данных и построение вольт-амперной характеристики

Собрать схему согласно рисунку с учётом полярности приборов.



После проверки преподавателем правильности сборки схемы осуществить подключение. Включить излучатель (лампу). Снять 6 точек для построения вольт-амперной характеристики с учётом паспортных данных солнечной батареи.

Результаты измерений занести в таблицу 1:

I, A						
U, B						
P, B_T						

Построить вольт-амперную характеристику в масштабе.

Повторить измерения для 50% затенения солнечной батареи.

Результаты измерений занести в таблицу 2:

I, A						
U, B						
P, B_T						

Этап 3. Составление отчёта

Отчёт по данной лабораторной работе должен содержать:

1. Наименование работы и её цель.
2. Схему (рис. 1.)
3. Построенные вольт-амперные характеристики $U=f(I)$ в одной системе координат и характеристику $P=f(I)$.
4. Сделать выводы по полученным характеристикам.

Контрольные вопросы

1. Конструкция солнечной батареи.
2. Принцип действия солнечной батареи.
3. Какие материалы используются для изготовления солнечной батареи.
4. Как влияет освещённость на выходные характеристики солнечных батарей. Область применения солнечных батарей.
5. Какие функции выполняет контроллер?
6. Для чего используется инвертор?
7. Что такое вольт-амперная характеристика фотоэлемента?
8. В чем отличие вольт-амперной характеристики при затенении солнечной батареи?

Лабораторная работа №2

ИЗУЧЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО И ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Цель работы: изучение возможности работы при последовательном и параллельном соединении солнечных батарей.

Программа работы

1. Изучение способа подсоединения солнечных батарей.
2. Проведение эксперимента при последовательном соединении солнечных батарей.
3. Проведение эксперимента при параллельном соединении солнечных батарей.
4. Сравнительный анализ способов подключения и выводы по результатам выполнения лабораторной работы.
5. Составление отчёта.

Краткие теоретические сведения

Фотоэлектрические ячейки часто объединяют в последовательно - параллельные соединения, повышая таким образом выходную мощность.

Если несколько фотоэлементов (или параллельных соединений нескольких фотоэлементов) соединяются в цепь последовательно, то их выходное напряжение увеличивается. При последовательном соединении солнечных элементов (ЭС) все элементы идут цепочкой и соединяются с соседними противоположными полюсами (рис. 1). Например, чтобы получить на выходе готовое напряжение 220 В достаточно соединить параллельно 10 солнечных элементов с выходным напряжением 24 В или 20 - с напряжением 12 В.

Однако у этого соединения есть ряд недостатков:

- 1) нестабильное значение напряжения при плохой освещённости;
- 2) слабая мощность всей системы, которая равняется мощности одной батареи.

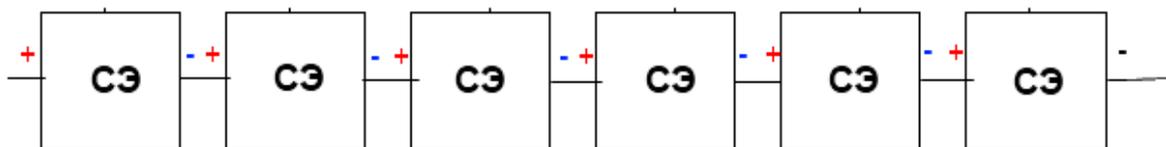


Рис. 1. Последовательное соединение солнечных элементов

Если несколько фотоэлементов (или последовательных соединений нескольких фотоэлементов) подсоединяются параллельно, то максимальная сила тока всех соединённых в цепь ячеек эквивалентна произведению максимально достижимой силы тока одной ячейки или их комбинации на количество ячеек или их комбинаций. При этом в идеальном случае максимальная мощность последовательно-параллельного соединения одинаковых ячеек эквивалентна произведению максимальной мощности каждой ячейки на количество ячеек.

Иными словами, максимальная мощность (P_{\max}) такого соединения эквивалентна произведению $V_{\text{вых}}$ и I_{\max} всего соединения.

В действительности мощность полученной таким образом солнечной батареи будет меньше мощности суммы мощностей составляющих её модулей на величину потерь на, так называемое рассогласование, т.е. потерь, вызванных различием характеристик однокипных модулей. Поэтому важно тщательно подбирать модули в солнечной батарее, чтобы свести к минимуму потери мощности на рассогласование.

При параллельном соединении все элементы соединены параллельно однокипными полюсами (рис.2). Хотя подобное соединение требует использования дополнительного преобразователя напряжения, оно позволяет получить значительно большую электрическую мощность и стабильность в работе.

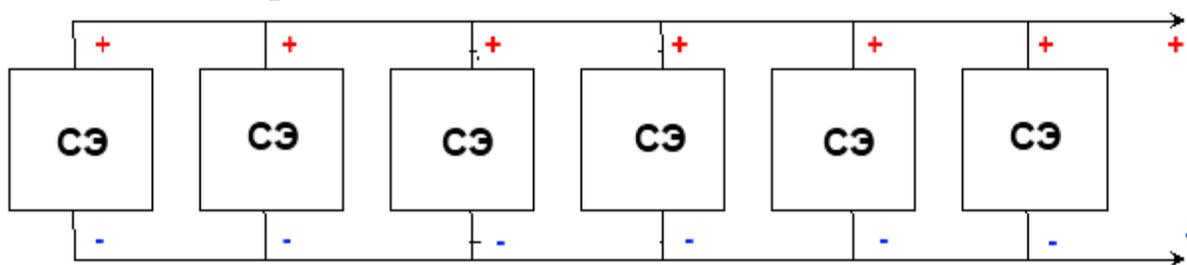


Рис. 2. Параллельное соединение солнечных элементов

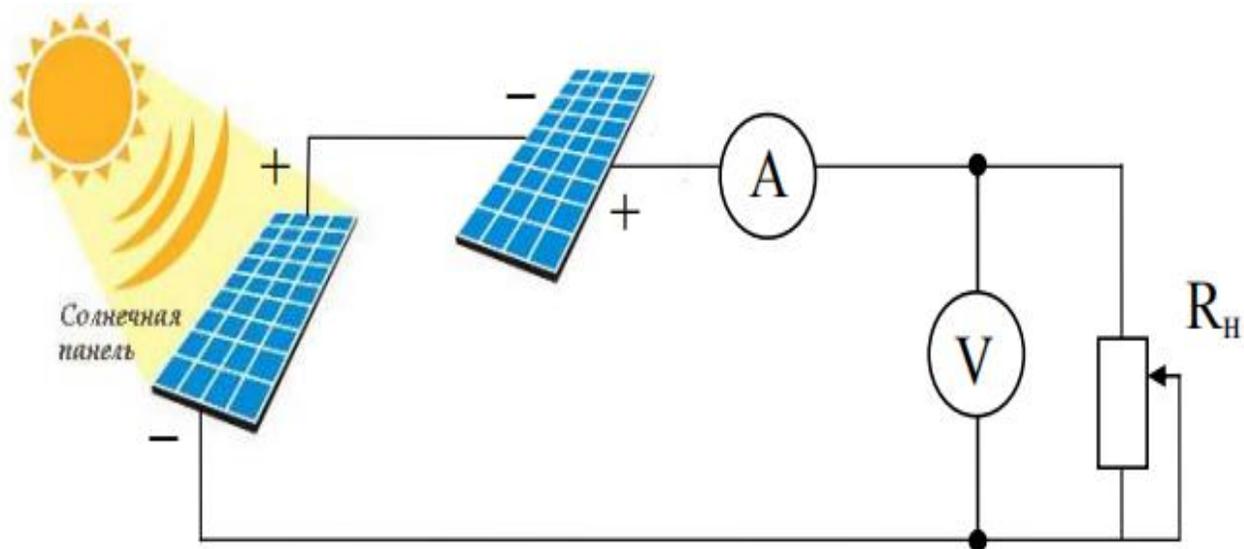
Порядок выполнения работы

Этап 1. Изучение способа соединения солнечных батарей

Изучить различные способы соединения солнечных батарей, используя краткие теоретические сведения и дополнительную литературу. Определить достоинства и недостатки каждого из них, а также область применения.

Этап 2. Проведение эксперимента при последовательном соединении солнечных батарей

2.1. Собрать схему с последовательным соединением батарей согласно рисунку 1:

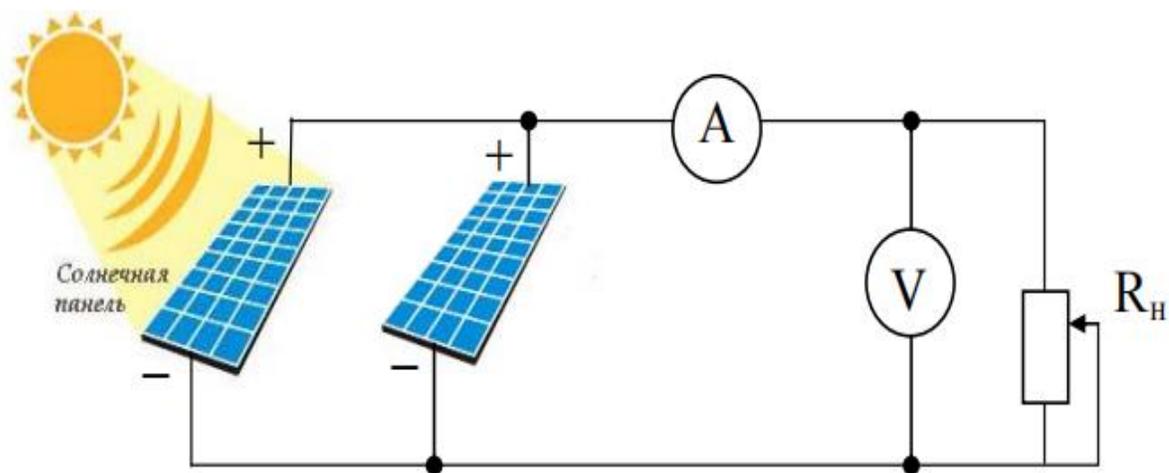


2.2. Снять данные для построения вольт-амперной характеристики при последовательном соединении. Результаты измерений занести в таблицу:

I, A						
U, B						
$P, Bт$						

Этап 3. Проведение эксперимента при параллельном соединении солнечных батарей

3.1. Собрать схему с параллельным соединением батарей согласно рисунку 2:



3.2. Снять данные для построения вольт-амперной характеристики при параллельном соединении. Результаты измерений занести в таблицу:

I, A						
U, B						
$P, Bт$						

Этап 4. Сравнительный анализ способов подключения и выводы по результатам выполнения лабораторной работы. В общей системе координат построить вольт-амперные характеристики при последовательном и параллельном соединении и сделать выводы.

Этап 5. Составление отчёта. Отчёт по данной лабораторной работе должен содержать:

1. Наименование работы и её цель.
2. Схемы (рис. 1 и рис. 2.)
3. ВАХ солнечных батарей при последовательном и параллельном соединении.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое солнечная радиация и как её используют на Земле ?
2. Принцип работы солнечной батареи.
3. В чем отличие последовательного соединения солнечных батарей от параллельного?
4. С какой целью применяется та или иная схема соединения?

5. Достоинства и недостатки последовательного соединения солнечных элементов.

6. Достоинства и недостатки параллельного соединения солнечных элементов.

Лабораторная работа №3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Цель работы: изучение конструкции и принципа действия солнечного коллектора с «сухой» и «мокрой» трубкой

Программа работы

1. Изучение конструкции солнечного коллектора с «сухой» и «мокрой» трубкой.
2. Исследование температурных зависимостей в солнечных коллекторах с сухой и мокрой трубкой.
3. Составление отчёта.

Краткие теоретические сведения

Солнечные коллекторы - это специальные теплообменники, на которых энергия солнечного излучения преобразуется в тепловую энергию. Теплоносителем для передачи энергии от солнечного коллектора или солнечной батареи, собранной из группы коллекторов, может служить незамерзающая жидкость, вода или воздух.

В зависимости от рабочей температуры коллекторы можно поделить на 3 группы:

низкотемпературные: температура теплоносителя до 100°C . Как правило, это обычные плоские коллекторы;

среднетемпературные: температура теплоносителя $30-165^{\circ}\text{C}$. Это вакуумные коллекторы с трубкой «heat pipe»;

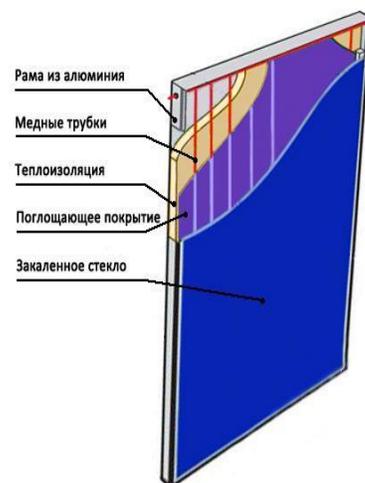
высокотемпературные: температура теплоносителя $20-300^{\circ}\text{C}$. Вакуумные коллекторы с рефлекторами и концентраторами.

Плоский солнечный коллектор.

Внешне похож на толстое чёрное стекло.

Конструктивно коллектор

собирается на алюминиевой раме. На дне коллектора размещён теплоизолятор (обычно стекловата) для сохранения поглощённого тепла. Поверх стекловаты расположены медные трубки, припаянные к вышележащему слою абсорбирующего покрытия. Сверху конструкция плотно закрыта закаленным стеклом с высоким коэффициентом пропускания солнечного света.



Верхнее стекло имеет высокую пропускную способность для солнечного света (коэффициент пропускания 95%). Абсорбирующее покрытие под лучами солнца нагревается и начинает излучать тепло, спектр которого на 95% стеклом не пропускается. Таким образом, поглощённая энергия не рассеивается в пространстве, а передаётся медным трубкам, по которым циркулирует теплоноситель.

Плоские коллекторы могут быть как внесезонными, так и сезонными. Все зависит от типа системы (открытая - закрытая) и типа теплоносителя (вода или антифриз).

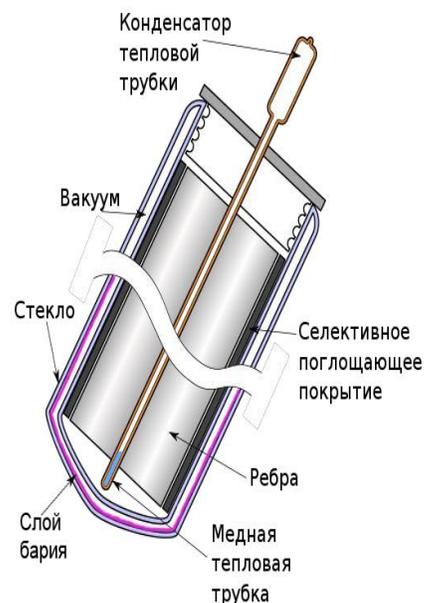
Конструкция плоских солнечных коллекторов использует прямое или рассеянное солнечное излучение и не предусматривает его концентрации. Они характеризуются простотой конструкции и низкой ценой.

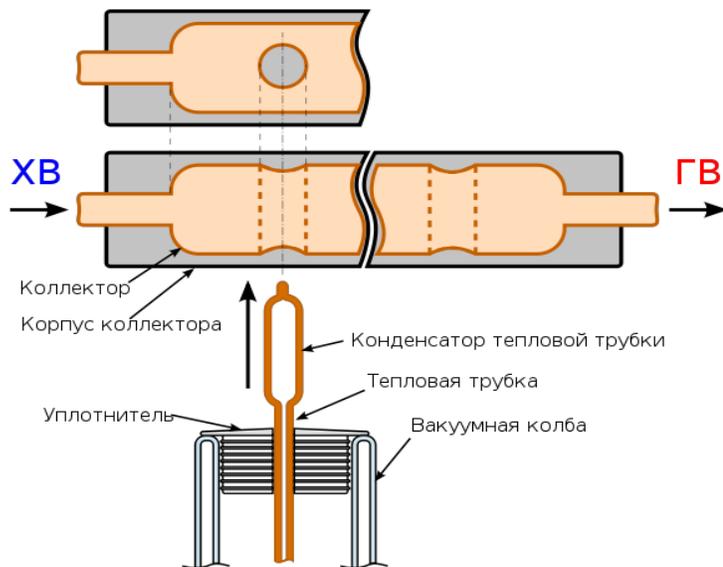
Вакуумные солнечные коллекторы.

Имеют наибольшую эффективность.

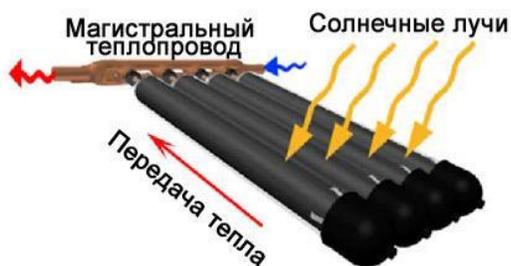
Конструктивно коллектор состоит из рамы и вакуумных трубок. Вакуумная тепловая трубка сделана из прочного боросиликатного стекла. Состоит из двух стеклянных трубок, между которыми создан вакуум для предотвращения теплопотерь. Наружная трубка полностью прозрачная, а на внутреннюю нанесено специальное поглощающее покрытие. Для поддержания высокой степени вакуума в трубке нанесён слой бариевого газопоглотителя. Он поглощает выделяемые при эксплуатации различные виды газов, а так же показывает исправность трубки. При разгерметизации, слой бария меняет цвет с серебристого на белый.

Внутри вакуумной трубки находится запаянная медная трубка, внутри которой - теплоноситель под низким давлением. Передача тепла от абсорбента осуществляется с помощью теплопроводящих ребер. Конец медной трубки (конденсатор тепловой трубки) имеет расширение, которое помещается в теплообменник с жидкостью (корпус коллектора). Жидкость - вода или антифриз.





При попадании солнечных лучей происходит следующее: абсорбер нагревается и передает тепло по ребрам медной трубки.



Жидкость внутри медной трубки закипает, пар поднимается вверх к конденсатору тепловой трубки. В конденсаторе пар отдает энергию холодным стенкам медной трубки, конденсируется, охлаждается и стекает назад в горячую область медной трубки. Стенки трубки конденсатора нагреваются и отдают тепло жидкости, протекающей через коллектор.

Далее процесс повторяется.

Солнечные коллекторы типа “мокрая трубка”

Конструктивно состоят из рамы, на которой монтируются вакуумные трубки и бак для горячей воды. Вакуумная "мокрая" трубка имеет более простую конструкцию. Она состоит из внешней и внутренней стеклянной трубок, между которыми создан вакуум. Внутренняя трубка покрыта слоем



абсорбента. Теплопередача от слоя абсорбента осуществляется водой, которой эти трубки заполнены. Горячая вода из трубок

поднимается в бак, а холодная из бака опускается в трубки для нагрева.

Порядок выполнения работы

Этап 1. Изучение конструкции солнечного коллектора с «сухой» и «мокрой» трубкой

Используя краткие теоретические сведения и дополнительную литературу, изучить конструкцию и принцип действия солнечного коллектора с «сухой» и «мокрой» трубкой.

Этап 2. Исследование температурных зависимостей в солнечных коллекторах с «сухой» и «мокрой» трубкой

2.1. Для солнечного коллектора с «мокрой» трубкой измерить температуру теплоносителя (воды) $t_{m(0)}$ в помещении. Для солнечного коллектора с «сухой» трубкой измерить температуру нагревательного элемента $t_{н.э(0)}$ в помещении.

2.2. Аккуратно взять вакуумную трубку и наполнить её до половины теплоносителем (водой). Взять пирометр, тетрадку для записей, подготовленную для эксперимента вакуумную трубку и выйти на улицу.

2.3. Произвести 6 измерений температуры теплоносителя и нагревательного элемента для соответствующих вакуумных коллекторов через каждые 5 минут.

Результаты измерений занести в таблицу:

t_m, C	$t_m(0)$						
$t_{н.э.}, \text{C}$	$t_{н.э(0)}$						
время $T,$ с	0	5	10	15	20	25	**

2.4. По результатам измерений построить температурные зависимости и сделать выводы.

Этап 3. Составление отчета

Отчет по данной лабораторной работе должен содержать:

1. Наименование работы и ее цель.
2. Краткое описание устройства и принципа работы солнечного коллектора с «сухой» и «мокрой» трубкой.
3. Результаты исследования температурных зависимостей.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие типы солнечных коллекторов Вы знаете? Их конструкция, назначение, достоинства и недостатки.
2. Конструкция плоского солнечного коллектора.
3. Конструкция вакуумного солнечного коллектора.
4. В чем отличие вакуумного трубчатого солнечного коллектора от плоского вакуумного солнечного коллектора?
5. Какой тип энергоносителя используется в гелиосистемах ?

Лабораторная работа №4

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ СОЛНЕЧНОГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ (кристаллического кремния)

Цель работы: определение температурных режимов солнечного фотоэлемента на основе кристаллического кремния с пиковой мощностью 50 Вт с учётом окружающей среды.

Краткие теоретические сведения

Температура ФСБ – один из основных факторов, определяющих электрические параметры ФСБ и её эффективность в целом. Увеличение температуры ЭС приводит к уменьшению ширины запрещённой зоны, что даёт некоторое увеличение фототока за счёт расширения спектра фотоответа в длинноволновую область. Однако,

это увеличение фототока не компенсирует уменьшения $U_{x.x}$ и фактора заполнения нагрузочной характеристики FF вследствие экспоненциального увеличения тока насыщения с ростом температуры, что приводит к существенному снижению КПД при увеличении температуры. Ширина запрещённой зоны полупроводников уменьшается с увеличением температуры, а край поглощения сдвигается в область меньших энергий. Для СЭ на основе кремния и арсенида галлия зависимость $E_g(T)$ монотонна и аппроксимируется выражениями.

$$E_g^{Si}(T) = E_g - \frac{4,73 \cdot 10^{-4} T^2}{T + 636} \text{ эВ}$$

$$E_g^{GaAs}(T) = E_g - \frac{5,405 \cdot 10^{-4} T^2}{T + 204} \text{ эВ}$$

где T-температура солнечного элемента.

Также на уровне нулевой освещённости прямое напряжение солнечного элемента не будет равно нулю. Для кремниевого солнечного элемента его значение при стандартной температуре 25⁰ С определяется следующим образом.

$$U_{\infty} = \frac{1}{2} \left(\frac{E_g}{q_e} - \frac{3 kT}{2 q_e} \right) \approx 0,53 \text{ В}$$

Это подтверждается теорией формирования потенциального барьера на границе перехода полупроводника из n- типа проводимости в p-тип, в условиях отсутствия неравновесных носителей зарядов, то есть отсутствия засветки.

$$U_{\infty}(t) = U_{\infty,0} + \beta(t_0 - t)$$

где $U_{x.x,0}$ – напряжение холостого хода при стандартной температуре и изменении освещённости; β – температурный коэффициент по напряжению, мВ/⁰С; $T_0 = +25^0$ С;

В работе определено, что температурный коэффициент $U_{x.x}$ – линейно уменьшается на величину $-2,3 \text{ мВ} \cdot ^0\text{С}^{-1}$ при нагреве СЭ на один градус выше 25⁰С, при коэффициенте концентрации $K_c = 1$.

$$\frac{\partial U_{x.x}}{\partial T} \approx -2,3 \text{ мВ} \cdot ^0\text{С}^{-1}$$

Значение тока при различных температурах и освещённостях имеет вид:

$$I_{o,\delta} = I_{\dot{\epsilon},\dot{\zeta}} \left(\frac{E_{\delta\dot{\gamma}\dot{\iota}}}{\dot{A}_0} \right) - \alpha \left(\frac{E_{\delta\dot{\gamma}\dot{\iota}}}{\dot{A}_0} \right) (t_0 - t)$$

где $I_{o,\tau}$ – значение тока в оптимальной точке при различных температурах, А; $I_{к.з}(E_{ФЭМ}/E_0)$ – изменение тока короткого замыкания в зависимости от освещённости; E_0 – значение освещённости при стандартных условиях, $E_0=1000$ Вт/м²; $E_{ФЭМ}$ – среднемесячное дневное значение плотности солнечного излучения, поступающего на поверхность ФЭМ, Вт/м²; α – температурный коэффициент по току, мкА/°С.

Обратный ток насыщения I_0 также зависит от температуры и имеет вид:

$$I_0 = I_{o,\delta} \cdot \exp\left(-\frac{qU_{\delta,\delta}t}{A_k k(t+273)}\right)$$

где, A_k -коэффициент диода

Изменение КПД от температуры представляет большой интерес, т.к. рабочая температура может меняться в широком интервале значений, особенно при эксплуатации СЭ в космосе или наземных условиях с жарким климатом. Например, (рис. 1) к заметному уменьшению спектральной чувствительности кремниевых СЭ в длинноволновой области спектра (и некоторому росту в коротковолновой) приводит понижение их температуры.

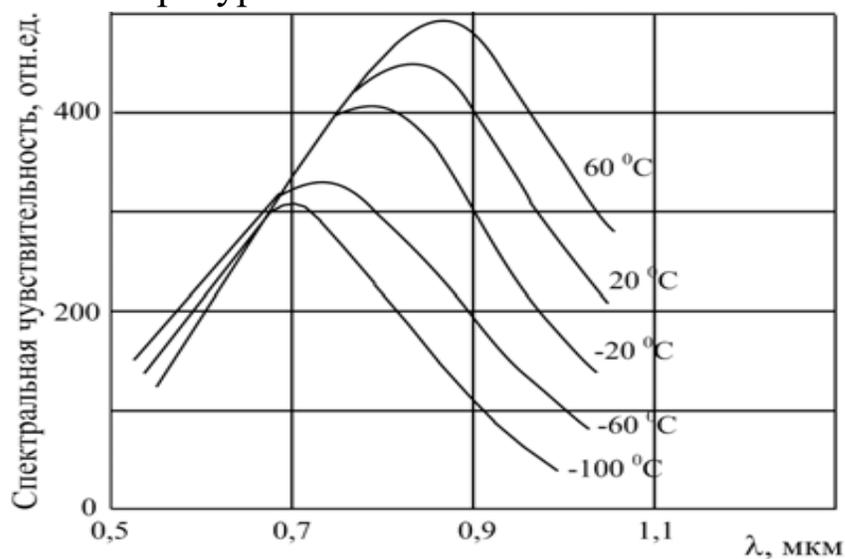


Рис.1. Температурная зависимость спектральной чувствительности кремниевого СЭ

Различные типы солнечных элементов имеют разные характеристики зависимости от температуры. (рис 2) Параметры солнечного элемента из аморфного кремния меньше ухудшаются под воздействием температуры по сравнению с солнечным элементом из кристаллического кремния. Например, солнечный элемент на основе арсенида галлия, предназначенный для космоса, сохраняет свою эффективность даже при высоких температурах, (~150⁰С), а также является радиационно стабильным элементом. Тонкопленочный солнечный элемент из сульфида кадмия сохраняет высокую эффективность до 100⁰С.

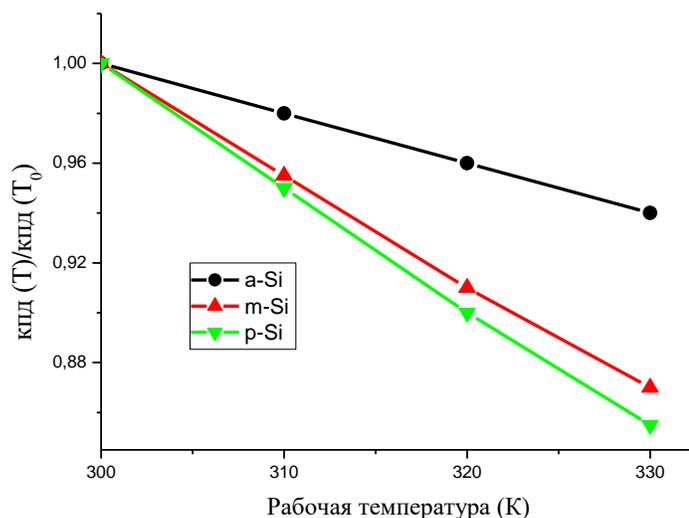


Рис.2. Зависимость электрической эффективности различных видов СЭ от рабочей температуры

Обозначения: $\eta(T)/\eta(T_0)$ — отношение электрической эффективности ФЭМ, при данной рабочей температуре, к эффективности при нормальных условиях; β_0 — температурный коэффициент материала, из которого изготовлен СЭ; m-Si, p-Si, a-Si — обозначение СЭ соответственно монокристаллического, поликристаллического и аморфного кремния.

(обычно $T_0 = 25^\circ\text{C}$, $\eta_0 \approx 0.12$, $\beta_0 \approx 0.0045^\circ\text{C}^{-1}$, $G = 1000 \text{ Вт/м}^2$, но могут варьироваться в зависимости от производителя)

Программа работы: Первоначально лабораторный стенд с фотоэлектрическим элементом из кристаллического кремния с пиковой мощностью 50 Вт вынесен на естественный открытый воздух. Затем фотобатарею ориентируют на юг и подбирают оптимальный угол относительно горизонта. Это, в свою очередь, определяется по максимальному значению тока короткого замыкания фотоэлектрической батареи.

1. Измеряют температуру окружающей среды t ($^{\circ}\text{C}$), солнечную радиацию E ($\text{Вт}/\text{м}^2$), скорость ветра v ($\text{м}/\text{с}$), напряжение U_{xx} (В), ток короткого замыкания $I_{кз}$ (А). Соответственно измеряется температура в 4-х необязательных точках (T_1, T_2, T_3) на тыльной стороне фотоэлектрической батареи. Таблица 1 заполняется по результатам

Таблица 1

Косой угол, образованный фотогальваническим элементом из кристаллического кремния с горизонтом_град.									
	Время интервала (мин)	$t_a(^{\circ}\text{C})$	$E(\text{Вт}/\text{м}^2)$	$V(\text{м}/\text{с})$	$U_{xx}(\text{В}),$	$I_{кз}(\text{А}),$	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$T_2(^{\circ}\text{C})$	$T_3(^{\circ}\text{C})$
1	0								
2	10								
3	20								
4	30								
5	40								
6	50								
7	60								
8	70								
9	80								

2. Построен график зависимости рабочего напряжения фотоэлектрической батареи от её средней температуры $U_{xx}=f(T)$. Температурный коэффициент определяется путём расчёта изменения температуры в зависимости от шагающего напряжения ($-\text{мВ}/^{\circ}\text{C}$).

3. Построен график зависимости тока короткого замыкания фотоэлектрической батареи от среднего значения её температуры $I_{кз}=f(T)$ Температурный коэффициент определяется на основе изменения температуры по току короткого замыкания (мКА/ °С).

4. Построен график зависимости $R=f(T)$ пиковой мощности фотоэлектрической батареи от среднего значения её температуры Температурный коэффициент определяется как результат изменения температуры по коэффициенту полезной работы.

Подготовка отчётов

1. Просмотрите информацию, необходимую для данной лабораторной работы.
2. Название работы и её цель.
3. Знакомство с мировой литературой и научными статьями о температурных режимах кристаллических кремниевых фотоэлектрических батарей.
4. Заполнить таблицу 1 по результатам эксперимента
5. Напишите заключение.

Контрольные вопросы

1. Какова вольт-амперная характеристика фотогальванического элемента на основе поликристаллического кремния в зависимости от температуры?
2. Какова вольт-амперная характеристика фотогальванического элемента на основе монокристаллического кремния в зависимости от температуры?
3. Как можно объяснить значительное увеличение фототока фотоэлектрической батареи на основе кристаллического кремния при повышении температуры?
4. Что вызывает уменьшение ширины запрещённой зоны с повышением температуры в кристаллическом кремнии?

Лабораторная работа №5

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ АВТОНОМНОГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА, РАСПОЛОЖЕННОГО НА ЛАБОРАТОРНОМ СТОЛЕ

Цель работы: исследование процессов заряда и разряда аккумуляторной системы в автономном солнечном фотоэлектрическом устройстве

Краткие теоретические сведения

Автономные фотоэлектрические системы используются в местах, где нет централизованного электроснабжения.

Аккумуляторная батарея (АБ) нужна для питания ночью и когда солнце не светит хорошо. Автономные фотоэлектрические системы часто используются для электроснабжения индивидуальных домов. Небольшие системы могут обеспечивать основную нагрузку (источник света, иногда телевизор или радиоприёмник), а системы большой мощности могут обеспечивать водяной насос, радиостанцию, холодильник, электроприборы и т. д. Такая система состоит представлена на (рис. 1).

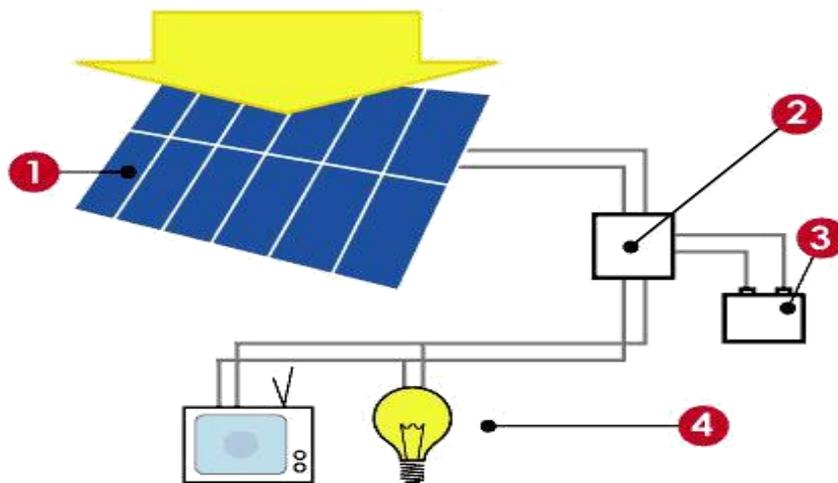


Рис.1 Автономная фотоэлектрическая система
1 – солнечный панел; 2 – контроллер; 3 – АБ; 4 – нагрузка

Изучение процесса разряда АБ части автономного
фотоэлектрического устройства

Порядок работы:

Сначала рассмотрим процессы разрядки аккумуляторной системы АФЭС (рис. 2) в лабораторных условиях.

Для этого ознакомимся с техническими параметрами аккумуляторной батареи (АБ) (таблица 1)

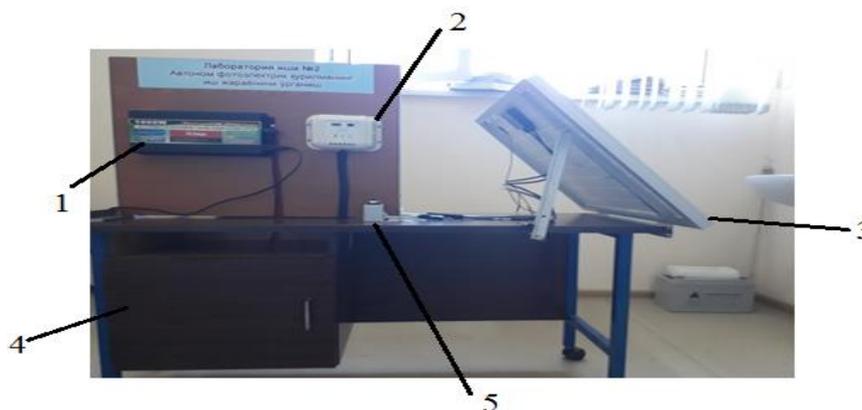


Рис.2 1 -напряжения инвертора, 2-контроллер заряда-разряда, 3-ФЭБ, 4-АБ, 5-ключ,

Рисунок 13.10. Лабораторный стенд с автономным солнечным фотоэлектрическим устройством

Таблица 1

№	Тип АБ	Ёмкость АБ	Номинальное напряжение АБ	Количество циклов разряд-заряд	Масса
1	Гель	100 А·час	12 В	-	36 кг

Также убедитесь, что АКБ полностью заряжен. Это определяется как: В контроллере заряда-разряда на лабораторном стенде, где находится АФЭС, возможно определение стадий заряда-разряда АКБ в процентах или измерение напряжения АКБ с помощью мультиметра. Убедившись, что АКБ полностью заряжены, к выходу инвертора подключают потребитель (нагрузку) мощностью 300 Вт. Должен быть опытным:

1. Рассчитывая нагрузку до высокого уровня, измеряют высокий уровень АВ.

2. Термопары размещают на боковых стенках АБ или измеряют температуру АБ и температуру помещения с помощью восьми канального термометра.

3. В эксперименте вышеперечисленное измеряется каждые 10 минут и таблица 2 заполнена.

Таблица 2

Исследование процесса разрядки аккумуляторной части автономного фотоэлектрического устройства							
№	Временной интервал (мин)	Комнатная температура (°C)	Температура АБ-1 термопара (°C)	Температура АБ-2 термопара (°C)	Температура АБ-3 термопара (°C)	АБ-напряжения (В)	Мощность нагрузки (Вт)
1	0						
2	10						
3	20						
4	30						
5	40						
6	50						
7	60						
8	70						
9	80						

4. Эксперимент продолжают до конечной стадии разряда цепи АБ, то есть инвертор напряжения начинает подавать предупредительный сигнал и автоматически отключается.

Необходимо определить, сколько своей энергии (в процентах) АБ может отдать потребителю в фазе разряда.

Например, если считать, что максимальный заряд аккумулятора 14,2 В–100 %, то при 11,5 В–х % инвертор напряжения перестаёт работать, тогда $x \sim 81$ %.

В результате аккумуляторная батарея потребляет 19% своей буферной энергии.

5. Зная мощность нагрузки, ток потребления определяется следующим образом:

$$I_{ist.} = \frac{P}{U}$$

(13.1)

6. После полного определения времени разряда рассчитываются энергоёмкость нагрузки и работа электроснабжения АБ.

$$A = P_{нар.} \cdot t \quad (\text{кВт*час})$$

(13.2)

Исследование процесса заряда АБ части автономного фотоэлектрического устройства

Порядок работы: Для изучения процесса зарядки автономной фотоэлектрической установки лабораторный стенд приведён в естественные солнечные условия. Оптимальное значение угла наклона относительно горизонта выбирается при ориентации фото модуля на юг. Оптимальное значение этого угла определяется по максимальному значению тока короткого замыкания фото-модуля.

1. Очистите поверхность фотоэлектрической батареи, если она пыльная. Напряжение АБ, нормальное рабочее напряжение модуля, измеряют вольтметром или мультиметром непосредственно перед лабораторными работами.

2. По бокам АБ размещают термопары или измеряют температуру АБ и температуру окружающей среды с помощью восьми-канального термометра.

3. В лабораторном сеансе измерения продолжают каждые 10 минут. Плотность тока солнечного излучения на плоскости поверхности фотоэлемента также регистрируют с помощью актинометра, пиргелиометра или пиранометра.

4. При измерении тока короткого замыкания фотоэлектрической батареи необходимо обращать внимание на максимальное значение шкалы постоянного тока на мультиметре. Если ток модуля выше значения тока на шкале, лучше не измерять, так как при коротком замыкании может выйти из строя сам мультиметр или его предохранители.

5. При измерении тока короткого замыкания фотоэлектрической батареи необходимо разъединить разъем, то есть поставить его в

среднее положение, иначе контроллер может выйти из строя по невнимательности.

6. На параметры фотоэлектрической батареи влияет воздушный поток с естественной циркуляцией, поэтому скорость ветра также измеряется в плоскости фотоэлектрического модуля.

7. Зарядка АВ на контроллере продолжается до тех пор, пока дисплей, показывающий шаги разряда в процентах, не будет завершён на 100%.

Таблица 3

Угол наклона автономного фотоэлектрического устройства к горизонту										
№	Временной интервал (мин)	$t_a(^{\circ}\text{C})$	E (Вт/м ²)	V (м/с)	ФЭБ $U_{o.c}(V)$	ФЭБ $I_{s.c}(A)$	Напряжение АВ(В)	Температура АВ-1 термо пара ($^{\circ}\text{C}$)	Температура АВ-2 термо пара ($^{\circ}\text{C}$)	Температура АВ-3 термо пара ($^{\circ}\text{C}$)
1	0									
2	10									
3	20									
4	30									
5	40									
6	50									
7	60									
8	70									
9	80									

8. Аккумуляторная батарея также может быть заряжена через обычную электрическую сеть. В основном это делается в лабораторных условиях в пасмурные, снежные, дождливые, холодные дни.

9. На основе полученных результатов строятся графики: зависимость тока короткого замыкания фотоэлектрической батареи от солнечного излучения; зависимость напряжения холостого хода фотоэлектрической батареи от временного интервала; зависимость

температуры окружающей среды, солнечной радиации от временного интервала.

10. Работа фотоэлектрической батареи определяется путём расчёта электрической энергии, которую аккумулятор накапливает в батарее

$$A = P_{\text{ном.}} \cdot t_{\text{средний.}} \quad \text{квт*час}$$

Подготовка отчётов

1. Рассмотрение информации, необходимой для данной лабораторной работы.
2. Название работы и её цель.
3. Нарисуйте схему состояния подключения автономной фотоэлектрической станции к потребителю и опишите полный рабочий процесс.
4. По результатам эксперимента заполните таблицу 2-3.
5. Написание резюме.

Контрольные вопросы:

1. Что вы знаете об автономном фотоэлектрическом устройстве?
2. Что такое контроллер заряда-разряда?
3. Что вы знаете об аккумуляторах? Как выполняется последовательное и параллельное соединение ?
4. Что вы знаете об инверторе напряжения? Что вы думаете об сетевом инверторе?

Лабораторная работа №6

ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПЛОТНОСТИ ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Наибольшая эффективность преобразования солнечной энергии солнечной батареей (СБ) достигается в том случае, если её поверхность ориентирована перпендикулярно потоку солнечного излучения [1]. Для ориентации СБ относительно солнца применяют следящую систему, в состав которой входят потребляющие электроэнергию блок управления и сервомоторы. Стоимость следящей системы достаточно высока и требуются дополнительные расходы на её эксплуатацию. Поэтому в Республике Узбекистан СБ

эксплуатируются без следящих систем. Для повышения эффективности СБ её необходимо ежемесячно ориентировать относительно солнца. В связи с этим возникает необходимость в простой методике ориентации СБ на солнце и определения оптимальных углов ориентации СБ.

В настоящей работе изложена такая методика и приведены результаты тестовых измерений.

Для определения оптимальных углов ориентации СБ был спроектирован и изготовлен экспериментальный столик, представляющий собой прямоугольную фольгированную пластинку с укрепленными на ней под прямым углом вертикальной и горизонтальной сантиметровыми линейками (рис. 1 и рис. 2). Вся система вращается вокруг оси так, чтобы тень от линейки **ВО** превратилась в узкую линию, проходящую по шкале линейки **АО**.

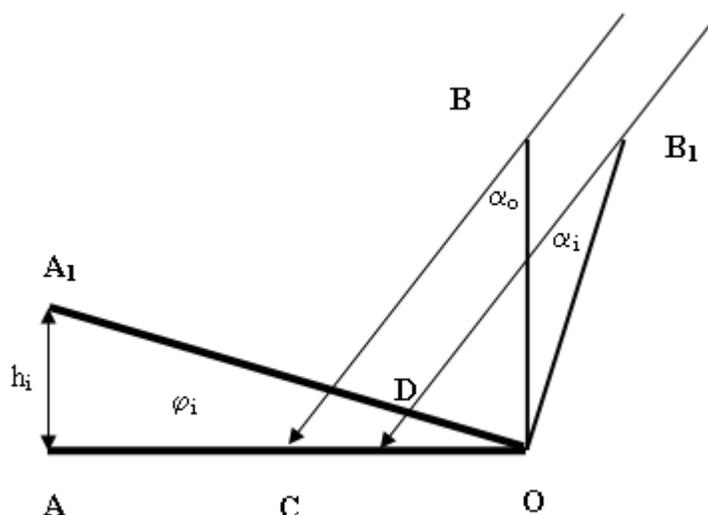


Рис. 1 Схема падения солнечного излучения на горизонтальную и наклонённую под углом φ поверхности

По длине тени вертикальной линейки определяется угол падения солнечного излучения α_o , измеряется ток короткого замыкания J_{sc} , напряжение холостого хода U_{xx} . Проводящая плоскость столика поднимается на высоту h_i , измеряется длина тени L_i вертикальной линейки **ВО** и ток короткого замыкания J_{sc} . Увеличивая высоту h_i на Δh , повторяем измерения до тех пор, пока длина тени вертикальной

линейки стане равной нулю $L_n \sim 0$, что соответствует нормальному падению солнечного излучения, измеряем повторно напряжение холостого хода U_{xx} . По результатам измерения рассчитываем углы α_i и φ_i

$$\alpha_i = \operatorname{arctg} \frac{L_i}{H} \quad (1)$$

$$\varphi_i = \operatorname{arcsin} \frac{h_i}{S} \quad (2)$$

плотность тока короткого замыкания и строим $j_{sc,i} = f(\alpha_i)$. Всегда справедливо тождество:

$$\alpha_o = \alpha_i + \varphi_i \quad (3)$$

Угол падения солнечного излучения можно определить по географическим координатам и местному времени с помощью формулы [1]

$$\cos \alpha_o = A \sin \delta + (B + C) \cos \delta \quad (4)$$

где

$$A = \sin \varphi \cos \beta - \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma$$

$$B = \sin \beta \cos \gamma \sin \omega \quad (5)$$

$$C = (\cos \varphi \cos \beta + \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma) \cos \omega$$

$$\delta = 23.5 \sin \left(\frac{2\pi(284+n)}{365} \right) \quad (6)$$

$$\omega = \frac{\pi}{12}(t-12) \quad (7)$$

β - угол наклона плоскости, γ - азимут, δ - склонение, ω - часовой угол, t – местное время, n – день года [2]. По формулам (4) - (7) была создана программа для вычисления угла падения солнечного излучения, интерфейс которой приведён на рис. 2.

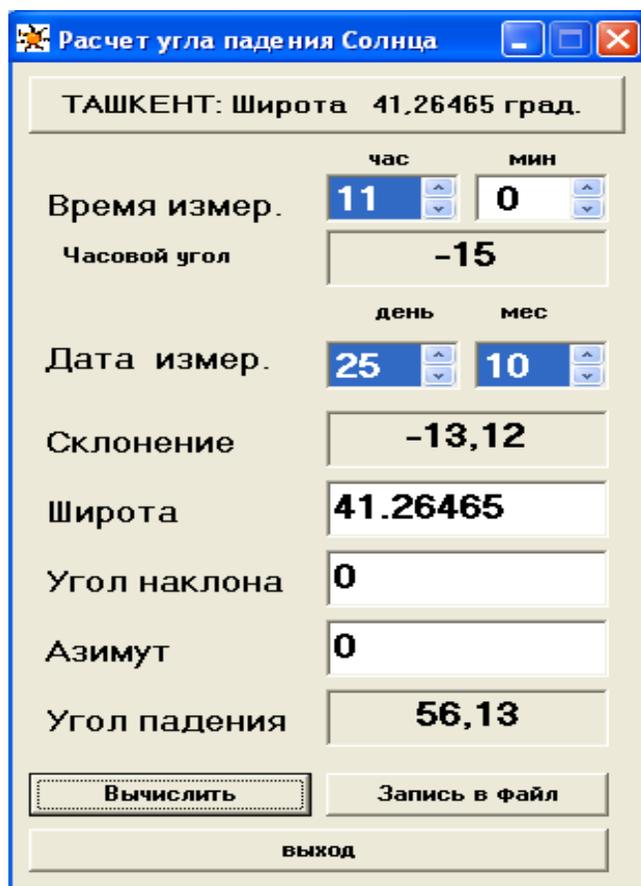


Рис. 2 Интерфейс программы определения угла падения солнечного излучения



Рис. 3 Измерительный столик на полигоне ФТИ АН РУз.

Был изготовлен измерительный столик (рис. 3), с помощью которого были выполнены тестовые измерения. Длина вертикальной линейки $H = 30,3$ см, длина столика $S = 20$ см. Измерения проводились на Гелиополигоне ФТИ НПО «Физика Солнц» в г. Ташкента в 11 часов дня в безоблачные дни. Определялся угол падения солнечного излучения по двум положениям измерительного столика. Результаты измерений представлены в таблице №1

Дата	Время	Длина тени, см	Высота подъёма, см	α_0		φ_0
				Расчет	Экспер.	Экспер.
11.10.2013	11	38,5	15,4	51,3	51,8	50,4
25.10.2013	11	34,6	16,5	56,1	48,8	55,6

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что предложенная методика измерения углов обеспечивает высокую точность.

Таблица №1

№	Длина приёмника S	Длина вертикальной линии	Длина тени L вертикальной линии	Высота подъёма H_i	Ток короткого замыкания $I_{кз}$	Напряжение холостого хода U_{xx}	α_i	φ_i	φ_0
1	20см	30,3см							
2	20см	30,3см							
3	20см	30,3см							
4	20см	30,3см							

Лабораторная работа №7

ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ МАЛОГО СОЛНЕЧНОГО КОНЦЕНТРАТОРА ПАРАБОЛОИДНОГО ТИПА

Цель работы: определение температуры в фокусе малого солнечного концентратора параболического типа с $D \sim 80$ см.

Краткая теоретическая информация

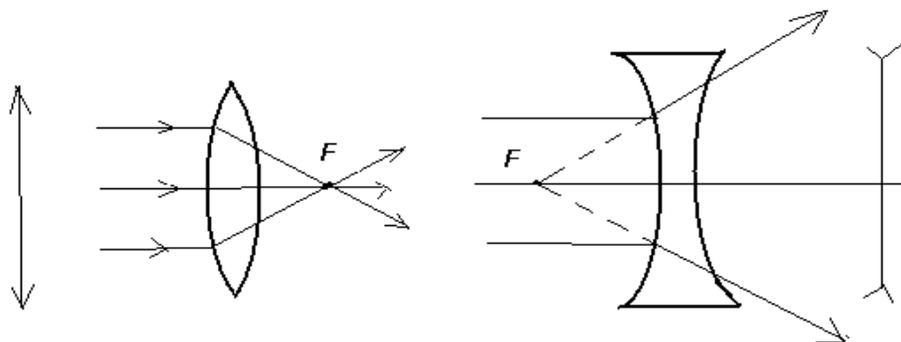
По способу сбора солнечного излучения концентраторы можно разделить на 2 типа: конденсирующие в одну точку (линзы, линзы Френеля) и отражающие (зеркала различной формы). Призматические концентрирующие системы (призмаконы) и люминесцентные солнечные концентраторы (ЛКС) представляют собой комбинацию вышеперечисленных методов сбора. В зависимости от степени концентрирования системы делятся на следующие виды: сильно концентрирующие (более 100 раз), средне концентрирующие (10-100 раз) и слабо концентрирующие (менее 10 раз).

Прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями, называется линзой (рис. 1). Прямая линия, проходящая через центры сферических поверхностей, называется главной оптической осью линзы.

Обычно линзы изготавливаются из стекла. Линзы могут быть выпуклыми или вогнутыми (рис. 1). Пройдя через выпуклую линзу, пучок света направляется к её оси. Такие линзы называются собирающими линзами. После прохождения вогнутой линзы пучок лучей выходит в виде диффузных лучей (рис. 2). Такие линзы называются рассеивающими линзами. Линзы можно рассматривать как набор стеклянных призм.

Луч, проходящий через оптический центр линзы, не меняет своего направления (рис. 2). Расстояние от объекта до линзы $BO=d$, расстояние от линзы до изображения $OB=f$ и фокусное расстояние линзы связаны следующим образом. Солнечные концентраторы предназначены для приготовления пищи и горячего водоснабжения в кухонной зоне, во время отдыха и различных экспедиций. Установка снабжена многоступенчатым концентратором солнечной энергии,

тягово-поворотным механизмом с азимутально-зенитальной системой наведения на солнце и трубой диаметром 15 мм для установки котлов, и т.п



В солнечный день для кипячения 1 л воды требуется 10-15 минут (в зависимости от прямых солнечных лучей).

Полезное тепло, производимое солнечной кухней в течение года, можно рассчитать по следующей формуле.

$$Q = \eta \cdot r \cdot E \cdot F$$

где $\eta = 0,4$ – тепловой КПД приёмника. r - коэффициент отражения ($r = 70-75\%$); F - площадь поверхности рефлектора; E - среднее количество прямой радиации, падающей на перпендикулярную поверхность в безоблачные дни. Метод работы: Для определения фокального расстояния параболического солнечного концентратора диаметром 80 см находят фокальную точку путём дистанционного распыления части воды в его рабочую зону.

1. После того, как точка фокусировки становится видимой, соответствующим образом перемещается специальное устройство, точка фокусировки должна располагаться посередине устройства, затем на точку фокусировки или вблизи неё устанавливается термопара, работающая в среднем диапазоне температур. Эта термопара должна быть изготовлена из материалов на основе хромель-алюмель или хромель-кабель. Один конец термопары следует поместить в фокальную точку, а другой — на 0°C .

2. С помощью потенциометра или милливольтметра измеряют тепло-ЭУУК термопары. Затем определяют температуру в точке фокуса t_f ($^{\circ}\text{C}$) по температурной зависимости величины тепло-ЭУУК с помощью градуировочной таблицы.

3. Определяется количество теплоты, затраченное на кипячение воды в ёмкость и определённого объёма Q (кДж), где температура холодной воды t_1 ($^{\circ}\text{C}$), температура кипящей воды t_2 ($^{\circ}\text{C}$), время кипения t (с), определяется масса воды m (кг)

$$Q = cm(t_2 - t_1)$$

где s - удельная теплоёмкость жидкости (кДж/кг $^{\circ}\text{C}$)

Полученные результаты включены в табл. 1.

Рабочий процесс параболического солнечного концентратора							
№	Временной интервал(мин)	t_a ($^{\circ}\text{C}$)	$E(Vt/m^2)$	$t_1(^{\circ}\text{C})$	$t_2(^{\circ}\text{C})$	$t_f(^{\circ}\text{C})$	$Q(\text{kJ})$
1							

Продолжение табл							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							

Ознакомьтесь с информацией, необходимой для данной лабораторной работы.

2. Название работы и её цель.

3. Объяснить полный рабочий процесс солнечных концентраторов различных конструкций.

4. Заполните таблицу 1 по результатам эксперимента.

5. Напишите резюме.

Контрольные вопросы

1. Что называют линзой?

2. Что такое оптическая ось объектива?

3. Расскажите о коллекционных и дилерских объективах?

4. Каковы оптическая сила и увеличение объектива?

Лабораторная работа №8

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ СОЛНЕЧНОГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ (аморфного кремния)

Цель работы: определение температурных режимов солнечного фотоэлемента на основе аморфного кремния с учётом окружающей среды.

Краткая теоретическая информация

Отмечено, что в условиях резко континентального климата Центральной Азии, в частности Узбекистана, в жаркий период года (мая-сентября) вследствие повышения собственной температуры до 45-60⁰С уменьшается эффективность ФЭБ, т.е происходит “перегрев” СЭ в ФЭБ. “Перегрев” — это несоответствие заявленных параметров ФЭБ, тестированных в условиях STC. Из-за уменьшения U_{xx} существенно уменьшается ток зарядки аккумуляторной батареи в системе аккумулирования электрической энергии.

В паспортных данных ФЭМ указывают температурные коэффициенты тока и напряжения, обычно в пределах +10 ÷ +80⁰ С. Однако в реальных условиях жаркого климата снижение эффективности за счёт увеличения температуры составляет более 50 % от паспортного значения. Таким образом, при условиях, характерных для регионов Узбекистана в летнее время года, ФЭБ, изготовленные из 36 СЭ, не могут работать эффективно из - за уменьшения U_{xx} . Измерения, проведённые в июле –августе при скорости ветра 1-3 м/с, показали, что температура доходит до 72⁰С (при температуре в тени 45-48 °С). Это приводит к уменьшению U_{xx} от 21,5 (паспортное значение) до 16,4-16,5 В в реальных условиях.(рис-1)

На основании и этих исследований, была пересмотрена конструкция ФЭБ. При изготовлении ФЭБ для регионов республики учитывались высокие температуры и связанные с ними падение напряжения холостого хода ФЭБ и тока заряда АБ.

Пересчёт электрических параметров ФЭБ или СЭ на температуру, отличающуюся от стандартной, производится по эмпирическим соотношениям, которые зависят от материала СЭ. Температурные зависимости основных параметров кремниевых монокристаллических СЭ имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} U_{xx}(t) &= U_{xx}(25^0 C) [1 - a(t - 25^0 C)] \\ I_{\dot{e},\zeta}(t) &= I_{\dot{e},\zeta}(25^0 C) [1 + b(t - 25^0 C)] \\ P_{max}(t) &= P_{max}(25^0 C) [1 - c(t - 25^0 C)] \end{aligned} \right\}$$

здесь $a = (3,7 \cdot 10^{-3}) \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $b = (6,4 \cdot 10^{-4}) \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $c = (4 \cdot 10^{-3}) \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

В качестве иллюстрации в табл.1 представлены данные по оценке влияния температуры на рабочие энергетические параметры ФЭМ типа SPP1.1 (Германия).

Данные по оценке влияния температуры на рабочие энергетические параметры ФЭМ типа SPP1.1

Энергетический параметр	Температура, t °С		
	0	+25	+60
Напряжение холостого хода U_{xx} В	22,4	20,5	17,8
Ток короткого замыкания $I_{к.з.}$ А	2,93	2,98	3,05
Ток в точке максимальной мощности СЭ, А	2,71	2,76	2,83
Максимальная мощность ФЭМ, Вт	50,8	45	37,8

Зависимость изменения КПД СЭ от температуры носит линейный характер согласно уравнению:

$$\eta = \eta_0 + \alpha_T (t - t_0);$$

где t-температура СЭ при эксплуатации, °С; α_T -температурный коэффициент КПД, зависящий от типа и конструкции СЭ, (°С)⁻¹; η_0 -КПД СЭ при стандартных условиях STC.

Вышеуказанные условия необходимо учитывать при расчете фотоэлектрических систем энергопитания.

Порядок выполнения работы

Во-первых, фотоэлектрический элемент из аморфного кремния подвергается воздействию открытого воздуха для экспериментальной работы. Затем фотобатарею ориентируют на юг и подбирают оптимальный угол по отношению к горизонту.

1. Измеряют температуру окружающей среды t (°С), солнечную радиацию E (Вт/м²), скорость ветра v (м/с), напряжение U_{xx} (В), ток короткого замыкания $I_{кз}$ (А). Соответственно измеряется температура в 4-х необязательных точках (Т₁, Т₂, Т₃) на тыльной стороне фотоэлектрической батареи.

Таблица 1 заполняется по результатам

Таблица 1

Косой угол, образованный фотогальваническим элементом из аморфного кремния с горизонтом _град.									
	Время интервала (мин)	$t_a(^{\circ}\text{C})$	$E(\text{Вт}/\text{м}^2)$	$V(\text{м}/\text{с})$	$U_{\text{хх}}(\text{В}),$	$I_{\text{кз}}(\text{А}),$	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$T_2(^{\circ}\text{C})$	$T_3(^{\circ}\text{C})$
1	0								
2	10								
3	20								
4	30								
5	40								
6	50								
7	60								
8	70								
9	80								

2. Построен график зависимости рабочего напряжения аморфно-кремниевой фотоэлектрической батареи от её средней температуры $U_{\text{хх}}=f(T)$. Температурный коэффициент определяется путём расчёта изменения температуры в зависимости от шагающего напряжения ($\text{мВ}/^{\circ}\text{C}$).

3. Построен график зависимости тока короткого замыкания аморфно-кремниевой фотоэлектрической батареи от среднего значения её температуры $I_{\text{кз}}=f(T)$ Температурный коэффициент определяется на основе изменения температуры по току короткого замыкания ($\text{мкА}/^{\circ}\text{C}$).

4. Построен график зависимости $R=f(T)$ пиковой мощности аморфно-кремниевой фотоэлектрической батареи от среднего значения её температуры Температурный коэффициент определяется как результат изменения температуры по коэффициенту полезной работы.

Подготовка отчётов

1. Просмотрите информацию, необходимую для данной лабораторной работы.
2. Название работы и её цель

3. Знакомство с мировой литературой и научными статьями о температурных режимах аморфно-кремниевой фотоэлектрических батарей.
4. Заполнить таблицу 1 по результатам эксперимента
5. Напишите заключение.

Контрольные вопросы

1. Какова вольт-амперная характеристика фотогальванического элемента на основе аморфно-кремниевой батареи в зависимости от температуры?
2. Как можно объяснить значительное увеличение фототока фотоэлектрической батареи на основе аморфно-кремниевой батареи при повышении температуры?
4. Что вызывает уменьшение ширины запрещённой зоны с повышением температуры в аморфно-кремниевой батарее?

Лабораторная работа № 9

ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы: ознакомление студентов с процессами распространения солнечной энергии. Изучить схему прохождения солнечных лучей через атмосферу Земли.

Теоретическая информация

Интенсивность солнечного излучения на поверхности Земли. Солнечное излучение, распространяясь со скоростью 30000 км/с, через 8 мин достигает орбиты Земли, отстоящей от Солнца на $150 \cdot 10^6$ км. Его исходная интенсивность настолько велика, что даже на таком расстоянии она составляет около 1300 Вт/м². Хотя Земле достаётся лишь малая доля солнечной энергии, но и её достаточно, чтобы в десятки раз перекрыть существующую потребность в энергии всего земного шара. На поверхность Земли попадает лишь 50% радиации Солнца, остальная часть поглощается облаками и самой поверхностью Земли (рис. 1)



Рис. 1. Прохождение солнечных лучей через атмосферу Земли: 1 – отражение от поверхности Земли; 2 – отражение облаками; 3 – поглощение самой атмосферой; 4 – рассеивание атмосферой с достижением земной поверхности; 5 – доля излучения, достигающая поверхности Земли

В среднем годовое количество солнечной радиации, поступающей на поверхность Земли, составляет 2000–2500 квт·ч/м² в зонах пустынь и 1000–1500 квт·ч/м² – в районах высоких широт. Необходимо отметить, что солнечная радиация распределяется по поверхности Земли гораздо равномернее, чем другие источники. По сравнению с традиционными источниками, солнечная энергия обладает малой плотностью и поэтому её необходимо концентрировать для функционирования современных энергетических и технологических систем с помощью гелио концентраторов. Интенсивность зависит от двух факторов: угла наклона лучей к плоскости поверхности в данной точке и длины пути лучей в атмосфере. Оба этих фактора зависят от высоты Солнца h . Интенсивность облучения определяется выражением:

$$E = J \cdot \cos \alpha,$$

где J – интенсивность излучения, падающего на горизонтальную поверхность; α – угол наклона луча к нормали поверхности. В действительности полная энергия падающего излучения превышает

прямую составляющую, так как присутствует ещё и рассеянная(диффузная) составляющая, в которую входит излучение, рассеянное различными компонентами атмосферы. Рассеянное излучение составляет значительную долю полной энергии(при низких высотах солнца она может достигать половины её) (табл. 1).

Отношение процента месячных сумм прямой и рассеянной радиаций к суммарной для г.Ташкента

Месяц	Глобальное горизонтальное облучение (кВт/м ² /мес)	Горизонтальное диффузное облучение (кВт/м ² /мес)	Температура (°C)	Скорость ветра (м/с)	Линке помутнения (-)	Относительная влажность %
январь	50,4	29,7	2,6	2,09	3,690	70,6
февраль	68,4	38,6	4,4	2,39	4,487	65,8
март	109,1	62,2	11,3	2,70	5,459	53,0
апрель	136,1	68,9	16,5	2,70	5,514	56,0
май	184,1	83,6	22,9	2,80	5,105	44,0
июнь	207,3	89,4	27,4	3,00	4,934	34,0
июль	222,1	78,2	29,9	2,89	4,501	30,0
август	193,1	69,9	28,1	2,80	4,205	31,7
сентябрь	146,1	54,0	22,0	2,50	4,271	37,1
октябрь	94,4	51,2	15,2	2,19	5,367	52,0
ноябрь	57,2	30,2	8,3	1,90	4,813	65,9
декабрь	43,0	24,1	3,2	2,00	3,841	72,3

Энергетический спектр рассеянной составляющей излучения несколько сдвинут в сторону более коротких волн по сравнению со спектром прямой составляющей, поскольку именно в области коротких волн рассеяние излучения в атмосфере максимально. Обоснование использования солнечной радиации оценивается общей энергией, получаемой на поверхности Земли в данное время дня и года. При этом учитывается вклад рассеянной компоненты излучения в общем объёме энергии. Интенсивность прямой составляющей рассчитывается с учётом временных колебаний воздушной массы и изменения пути лучей в атмосфере. Точность такого расчёта зависит от состояния атмосферы (её загрязнения, тумана, облачности и т.д.) Эти явления уменьшают прямую составляющую, однако рассеянная компонента может значительно возрасти. При плотной облачности до

Земли доходит лишь рассеянная компонента. Наилучшим методом оценки мощности солнечной радиации является непосредственное долговременное измерение её интенсивности в различных зонах земного шара. В настоящее время существует несколько метеорологических станций, на которых непрерывно регистрируют инсоляцию. Однако ориентировочные расчёты можно произвести для горизонтальной поверхности в любой точке земного шара. Для любого времени суток, заданного углом τ из уравнения (1), можно получить высоту Солнца h

$$\sin h = \cos \varphi \cdot \cos \tau + \sin \varphi \cdot \sin \delta, \quad (1)$$

где h – высота Солнца; φ – широта, соответствующая расчётной точке; τ – угол, характеризующий угловые перемещения Солнца вокруг оси с широтой φ в зависимости от времени после полудня.

$$\tau = \frac{t}{24} 2\pi = 0,252 \text{ трад} \quad \frac{t}{24} \cdot 360^0 = 15t \text{ град}$$

δ – сезонное изменение кажущегося положения Солнца (угол склонения). Он изменяется от $+23,5^0$ в летнее солнцестояние до $(-23,5^0)$ в зимнее солнцестояние. Для других времён года эту величину нужно брать из таблиц. Её также можно найти из соотношения:

$$\delta = 23,5 \cdot \sin\left(\frac{2\pi d}{365}\right) \text{ град} \quad (2)$$

град, δ – изменяет свой знак в соответствии со знаком функции; d – число дней, прошедших с момента весеннего равноденствия. Интенсивность прямого излучения J определяется исходя из величины воздушной массы, единице которой соответствует путь, пройденный лучами при вертикальном падении. Тогда для любой высоты Солнца h воздушная масса равна $M = I / \sin h$. Интенсивность для любой данной поверхности равна $E = J \cdot \sin h$. Результаты вычислений инсоляции для различных широт при чистой атмосфере сведены в таблице 2.

Инсоляции для различных широт при чистой атмосфере

Местоположение	Широта	Инсоляция кВт·ч/м ²		
		Наименьшее значение за день	Годовое значение	
Экватор	0	6,5(7,5)	5,8(7,8)	2200(2300)
Тропики	28,5	7,1(8,3)	3,4(4,2)	1900(2300)
Средние широты	45	7,2(8,5)	1,2(1,7)	1500(1900)

Центральная Англия	52	7,0(8,4)	0,5(0,8)	1500(1700)
Полярный круг	66,5	6,5(7,9)	0(0)	1200(1400)

Первое значение соответствует прямой составляющей излучения, второе(в скобках) учитывает вклад рассеянной энергии . При восходе и заходе Солнца $h=0$. На экваторе интенсивность солнечного излучения достигает максимума при равноденствии, когда азимут Солнца в течение всего дня равен 90° – оно как бы висит над головой. В период летнего и зимнего солнцестояния интенсивность солнечного излучения на экваторе минимальна. Летнее солнцестояние 22 июня, зимнее – 22 декабря. Моменты равноденствия 21 марта и 23 сентября(день равен ночи). Общее количество солнечного излучения за год определяют путём суммирования суточных данных. Изменение солнечной радиации в течение года описывается кривой, по форме близкой к синусоиде, максимум и минимум которой распределены симметрично в двух полугодиях. Из таблицы 2 видно, что дневное количество солнечного излучения максимально не на экваторе, а вблизи широты 40° . Это следствие наклона земной оси к плоскости её орбиты. Интенсивность солнечного излучения в зимнее время с повышением широты резко падает, поэтому полное его количество за год в районе полярного круга составляет лишь половину его значения на экваторе. В таблице 2 представлены данные для чистой атмосферы. С учётом облачности и загрязнений атмосферы промышленными отходами приведённые данные следует уменьшить, по крайней мере, вдвое. Собираение солнечной энергии. Рассмотрим тело, освещаемое Солнцем. При конвективном теплообмене(естественная конвекция) воздух нагревается от тела и поднимается вверх, забирая тепло. При неподвижном воздухе интенсивность конвективного потока составляет $\alpha=4 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$, а при движении воздуха резко возрастает и составляет $\alpha=30 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$, если скорость ветра около 10 м/с. Другим важным фактором, влияющим на собиание солнечной энергии, является длинноволновое излучение, приходящее из атмосферы. Оно испускается главным образом молекулами углекислого газа(CO_2) и водяного пара при поглощении ими прямого солнечного излучения, а также излучения, отражённого от Земли и обусловленного

конвекцией. Общая интенсивность этого излучения зависит от содержания в атмосфере водяного пара, особенно вблизи земной поверхности. При повышении влажности и сплошной облачности атмосфера ведёт себя как чёрное тело с температурой около 280 К (7°С); соответствующая интенсивность излучения на горизонтальной поверхности составляет около 300 Вт/м². Но тем не менее общая интенсивность атмосферного излучения не падает ниже 100 Вт/м², благодаря чему ночью на поверхности Земли температура остаётся вполне приемлемой. В отсутствие подобного излучения температура земной поверхности в ночные часы должна резко падать (вследствие излучения энергии в пространство), как на Луне, где атмосфера отсутствует (+120, -120). Температура поверхности Земли в течение ночи иногда снижается настолько, что появляется иней, но, за исключением полярных районов, она редко опускается ниже 0°С.

Практическая часть

1. Изучить способ нахождения интенсивности солнечного излучения.
2. Познакомиться со схемой прохождения солнечных лучей через атмосферу Земли.
3. Изучить принципы сбора солнечной энергии.
4. Составить отчёт по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение интенсивности облучения.
2. Дайте определение интенсивности прямого излучения.
3. Дайте обоснование использования солнечной радиации.
4. Дайте определение сбору солнечной энергии.

Лабораторная работа №10

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ МОЩНОСТЬЮ 20кВт, ВКЛЮЧЁННОЙ ПАРАЛЛЕЛЬНО В МЕСТНУЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ СЕТЬ

Цель работы: изучение рабочего процесса фотоэлектрической установки, интегрированной в электрическую сеть. Изучить мониторинг рабочих параметров фотоэлектрической установки, интегрированной в электрическую сеть.

Краткие теоретические сведения

Берлинский консорциум Prethezm Solutions/BAE Batterien и энергетическое агентство Dena 23 сентября 2016 года в Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова установили солнечную фотоэлектрическую установку мощностью 20кВт, рис (1)



Рис 1. Обзор солнечной фотоэлектрической станции мощностью
20 кВт

Фотоэлектрические панели (ФЭП) ФЭС 60, соединенные последовательно и параллельно, мощностью 22 кВт трехфазный сетевой инвертор (SMA, Sunny Tripower 22000TL), 3 инвертора напряжения аккумуляторной батареи общей мощностью 9,9 кВт (SMA, инверторы Sunny Island), предохранитель (Batfuse–B.03), ёмкостью 660 А·час тактовое и суммарное напряжение он состоит из 24 последовательно соединенных систем накопления электроэнергии

48 В, счётчика электроэнергии, счётчика электроэнергии SMA и оборудования дистанционного управления.



Рис 2. Блок управления энергией ФЭС 20 кВт и устройства управления

Он также включает маршрутизатор Wi-Fi, Sunny Home Manager и монитор для представления данных. ФЭП производится в Германии и состоит из 60 последовательно соединённых солнечных элементов на основе монокристалла КПД 19% кремния. Характеристики (AR) 290 W PER указаны в паспорте информации о параметрах: При стандартных условиях испытаний (СТП) его электрические характеристики были получены следующим образом (плотность потока солнечного излучения 1000 Вт/м², температура ФЭП T=250C и масса атмосферы АМ, равная 1,5). Соответствующие данные представлены в табл. 1.

Электрические характеристики ФЭП в стандартных условиях испытаний
Таблица 1

Ток короткого замыкания $I_{к.з.}$	Напряжение холостого хода $U_{х.х.}$	Номинальная мощность $I_{н.м}$	Напряжение при номинальной мощности $U_{н.м.}$	Максимальное значение тока $i I_{max}$

9,6 А	39,8 В	9,1 А	32,2 В	18 А
-------	--------	-------	--------	------

Все ФЭП имеют специальную стационарную конструкцию, обеспечивающую их охлаждение за счёт циркуляции воздушного потока. Чтобы ФЭП вырабатывал максимальную энергию, лобовая поверхность фотоэлементов должна быть наклонена к югу и перпендикулярна потоку солнечного излучения. Обычно рекомендуется заменять FEP в базовой конструкции три раза в год. На крыше здания энергетического факультета ТашГТУ расположена ФЭС для летнего режима (под углом 20° к горизонту), поэтому фотоэлектрические батареи в течение года относительно немного производят электричество. Для систем, не учитывающих изменение угла наклона фотоэлектрических модулей, максимальная выработка энергии в течение года может быть реализована при установке модулей с учётом широтного угла местности (например, широта г. Ташкента (41.264050)). ФЭС мощностью 20 кВт построена на базе двух типов инверторов и обеспечивает высокую надёжность и КПД. Аккумуляторный инвертор Sunny Island надежен при зарядке аккумуляторов. Сетевой инвертор Sunny Tripower состоит из нескольких MPPT-трекеров и, подключенный к электросети, преобразует постоянный ток, вырабатываемый ФЭС, в трехфазный переменный и передаёт его в сеть электроснабжения. Инвертор Sunny Tripower можно использовать только с высококачественными фотоэлектрическими батареями, т. е. с классом применения А, стандартом IEC 61730 и классом защиты II. Днём при наличии напряжения в электросети ФЭС снабжает потребителей (регулируемые нагрузки) электроэнергией через сетевой инвертор. Если нагрузка потребляет меньше энергии, чем энергия, вырабатываемая фотоэлектрическими батареями, избыточная электроэнергия направляется на зарядку батарей, а после полной зарядки передаётся в местную электросеть. Если нагрузка потребляет больше энергии, чем производят фотоэлементы, необходимая энергия получается из местной энергосистемы. При перебоях в местной электросети (в случае аварийной ситуации) аккумуляторные инверторы начинают получать электроэнергию от аккумуляторной

системы, тем самым формируя базовое напряжение для сетевого инвертора.

Когда избыточная энергия от FES заряжает батарею, инвертор батареи отключает сетевой инвертор до тех пор, пока напряжение батареи не упадёт до определённого порога.Эту структуру можно использовать и при проектировании автономных энергосистем, но в этом случае необходимо увеличить мощность аккумуляторного инвертора до полной мощности нагрузки.В ФЭС есть специальное устройство под названием Sunny Home Manager, которое используется для управления и контроля параметров системы, частично обеспечивает дистанционное управление параметрами аккумуляторных инверторов.Электронный счётчик используется для учёта электроэнергии, произведённой электросетью и ФЭС.В целях обеспечения безопасности обслуживания в основную электрическую цепь системы устанавливается автоматический разъединитель, обеспечивающий отключение сети в случае возникновения аварийной ситуации.Подробную информацию о продукции SMA Solar Technology AG, технические характеристики устройств можно найти на сайте компании (SMA Solar Technology AG - URL: www.SMA.de). Такие ФЭС могут быть использованы для решения глобальных энергетических проблем и локальных энергетических проблем.ФЭС Электр 20 кВ подключена параллельно к местной электросети ЭФ, а выработанная энергия передаётся в электросеть факультета.Выработанная ФЭС электроэнергия, накопленная энергия и потреблённая электроэнергия фиксируются в электросчётчике, а затем передаются на монитор при входе в здание факультета электроники и автоматики.

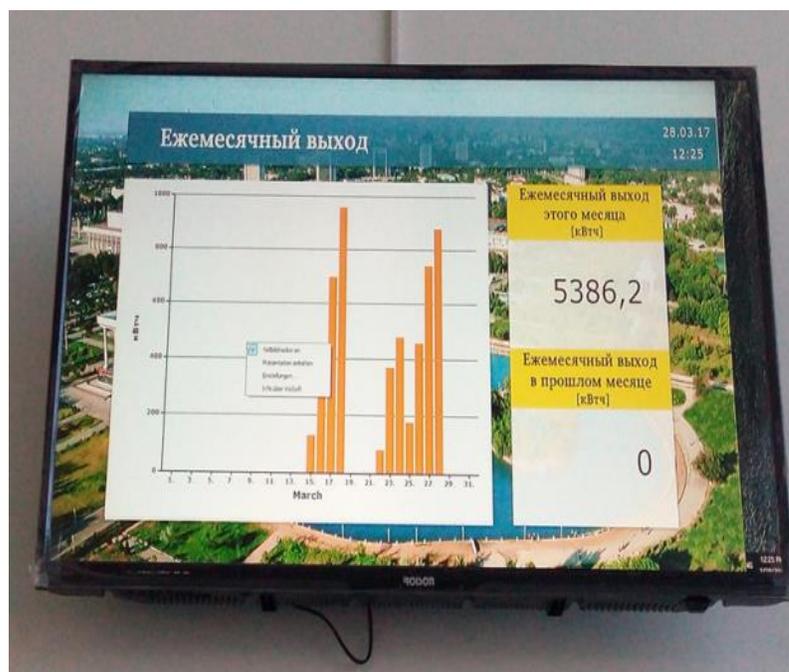


Рис 3. Монитор для отображения суточных и месячных параметров ФЭС

Рассчитывает экономию традиционных топливных ресурсов в эквивалентном случае с помощью специальной программы. Например (дрова, каменный уголь, а также мазут), а также токсичный газ проясняет, как избежать выбросов SO₂.

декабрь	25734
Январь	26543
Февраль	27631
Март	28643
Апрель	30545

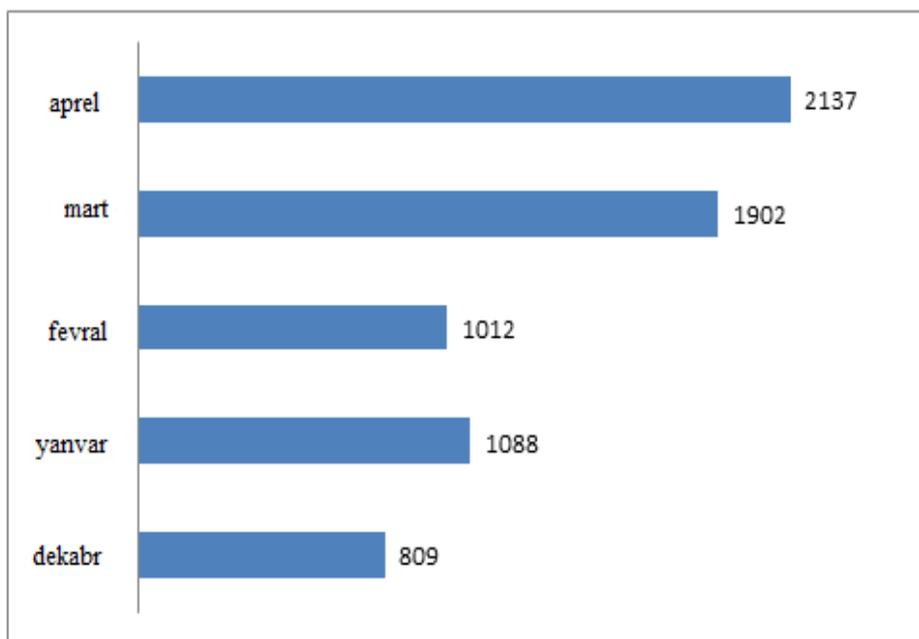


Рис 4. Показатели выработки электроэнергии ФЭС (кВт ·ч в месяц).

При периодической записи технических показателей ФЭС с помощью электронного счётчика были получены следующие результаты. Результаты мониторинга (рис. 4) были получены в период с декабря 2017 года по май 2018 года. Как видно из изображения и анализа мониторинга работы ФЭС, производство электроэнергии увеличивается с увеличением солнечной радиации, падающей на поверхность ФЭП. Малым показателем одновременной выработки электроэнергии ФЭС является высокая концентрация запылённости в атмосфере на территории г. Ташкента, отсутствие солнечных систем слежения трекеры, высокая температура окружающей среды в летние месяцы. Стоит отметить, что для получения подробной информации о режиме работы станции необходимо проводить мониторинговые наблюдения не менее одного года. Данный ФЭС является экспериментально - демонстрационным комплексом для оценки рабочего состояния станции, оптимизации и проведения, а также основой для процессов проектирования и строительства ФЭС, интегрированных с будущей локальной сетью. На лабораторном занятии студенты определяют оптическую мощность солнечного излучения, падающего на фронтальную поверхность ФЭП, температуру окружающей среды, общее напряжение, мощность, ток системы ФЭП и-заполняют таблицу.

Таблица 2

№	Время интервала(мин)	Солнечная радиация Вт/м ²	Температура окружающей среды ⁰ С	Общее напряжение ФЭС,(В)	Общий ток ФЭС (А)	Общая мощность ФЭС,Вт
1						
2	10					
3	20					
4	30					
5	40					
6	50					
7	60					
8	70					
9	80					

Лабораторная работа №11

ИЗУЧЕНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ МОЩНОСТЬЮ 10 КВТ (БЕЗ СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ), ПОДКЛЮЧЁННОЙ ПАРАЛЛЕЛЬНО К МЕСТНОЙ ЭЛЕКТРОСЕТИ

Цель работы: изучить рабочего процесса фотоэлектрической установки, интегрированной в электрическую сеть. Изучить мониторинг рабочих параметров фотоэлектрической установки, интегрированной в электрическую сеть.

Краткая теоретическая информация

По инициативе компании «Zhejiang Chint Elekrtrics Co Ltd» (КНР) и малых предприятие «Chint Distrubition Uzbekistan» 23 октября 2019 г. на Гелиополигоне энергетического факультета Ташкентского государственного технического университета установлена ФЭС мощностью 10 кВт (рис.1), а также создана научно-учебная лаборатория «Проверка электрических устройств и инновационное управление их контрольно-измерительного режима» а также Она оснащены новыми современными лабораторными приборами и оборудованями.



Рис.1. А) Общий вид солнечной фотоэлектрической станции мощностью 10 кВт, соединённой с низковольтной сетью Энергетического факультета Б) Сетевой инвертор, электросчётчик и автомат переключения

Функциональная схема ФЭС представлена на рис.1. ФЭС состоит из следующих основных узлов: всего 40 ФЭБ с опорными конструкциями для сезонной ориентации к югу, трёхфазный сетевой инвертор мощностью 10 кВт (CPS CPC 10KTL –Т/EU), щит внутри которого расположены трёхфазный электрический счётчик (DTS 634),

автомат переключателей для входа выхода, электрические кабели и низковольтная электрическая сеть.

ФЭБ представляет собой 60 последовательно соединённых цепочек солнечных элементов на основе поликристаллического кремния с номинальной мощностью 270 Вт, изготовленных компанией Chint Solar (Zhejiang) Co Ltd. Основные параметры ФЭБ представлены в табл.1.

Таблица1

Параметр	CHSM6610P-270
Максимальная мощность, Вт	270,0
Напряжение холостого хода, В	38,0
Ток короткого замыкания, А	9,45
Напряжение при максимальной мощности, В	31,08
Ток при максимальной мощности, А	8,7
Степень предохранителя, А	15
Максимальное напряжение системы, В	DC 1000
Колебание мощности, Вт	0~+5
Номинальная оперативная температура солнечного элемента (NOST), °C	43
Классификация ФЭБ	Класс C
Технология	Poly-Si

На лабораторном занятии студенты определяют оптическую мощность солнечного излучения, падающего на фронтальную поверхность ФЭП, температуру окружающей среды, общее напряжение, мощность, ток системы ФЭП и-заполняют таблицу. ФЭС состоит из 2 электрически соединённых между собой параллельных групп ФЭБ, каждая из которых содержит 20 батарей, соединённых последовательно. ФЭБ размещены под углом 46° в направлении на юг. Однако также стоит учитывать сезонное изменение угла падения солнечного излучения. Для каждой широты, в котором находится регион, существует свой оптимальный угол наклона установки ФЭБ. ФЭБ приподнимаются вверх над уровнем Земли, чтобы создать пространство для свободной циркуляции воздуха. Расстояние между горизонтальной плоскостью и ФЭБ составляет больше ≥ 100 см. Крепление ФЭБ осуществляется на алюминиевые профили специальными болтиками, расположенными на тыльной стороне батареи. Сами болтики крепятся на опорной конструкции для сезонной ориентации.

Сетевой трехфазный инвертор CPS CPC 10KTL –T/EU преобразует постоянный ток, поступающей от ФЭС в переменный и осуществляет контроль параметров в точке максимальной мощности (КТТМ). Данный инвертор выдаёт номинальное фазное напряжение ~ 220 В, с частотой 50 Гц. Преобразованное напряжение с выхода сетевого инвертора направляется в низковольтную общеуниверситетскую сеть электроснабжения. Не предусмотрено соединение отдельной нагрузки на выход инвертора. Потребляемые нагрузки соединены через локальную электрическую сеть. ФЭБ, нагрев, загрязнение и затемнение отдельных участков и всей поверхности приёмника и др.

Эффективность преобразования солнечного излучения в электроэнергию с помощью фотоэлектрических батарей (ФЭБ) сильно зависит также от техногенных (аппаратные) факторов, обусловленные конструкцией и технологией изготовления ФЭБ и комплектующих устройств, углом размещения ФЭБ по отношению к горизонту, характеристиками элементов ФЭС: контроллером заряда-разряда, аккумулятором, инвертором и др.

На лабораторном занятии студенты определяют оптическую мощность солнечного излучения, падающего на фронтальную поверхность ФЭП, температуру окружающей среды, общее напряжение, мощность, ток системы ФЭП и-заполняют таблицу.

Таблица 2

№	Время интервала(мин)	Солнечная радиация вт/м ²	Температура окружающей среды ⁰ С	Общее напряжение ФЭС,(В)	Общий ток ФЭС (А)	Общая мощность ФЭС,Вт
1						
2	10					
3	20					
4	30					
5	40					
6	50					
7	60					
8	70					
9	80					

Лабораторная работа№12

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА МАЛОГО СОЛНЕЧНОГО КОНЦЕНТРАТОРА ПАРАБОЛОИДНОГО ТИПА

Цель работы: знакомство с рабочим процессом небольшого солнечного концентратора параболического типа с D~60 см и определение температуры в его фокальной точке.

Краткие теоретические сведения

Одним из методов эффективного использования солнечной энергии в бытовых и частных целях с учётом климатических условий Узбекистана являются проектирование и изготовление солнечных кухонных устройств.

Область науки и техники, связанная с использованием солнечной энергии в промышленности, сельском хозяйстве, медицине и быту, называется гелиотехникой. Существует множество видов солнечных

кухонных устройств, основное назначение которых – полезное использование солнечной тепловой энергии. Используя малозатратные технологии, можно создать множество недорогих систем отопления или солнечных кухонь, которые можно использовать для приготовления пищи или отопления в сотнях домов.

На сегодняшний день виды солнечных кухонь во всем мире делятся на 3 основные категории. Эти категории показаны на рисунке 1.

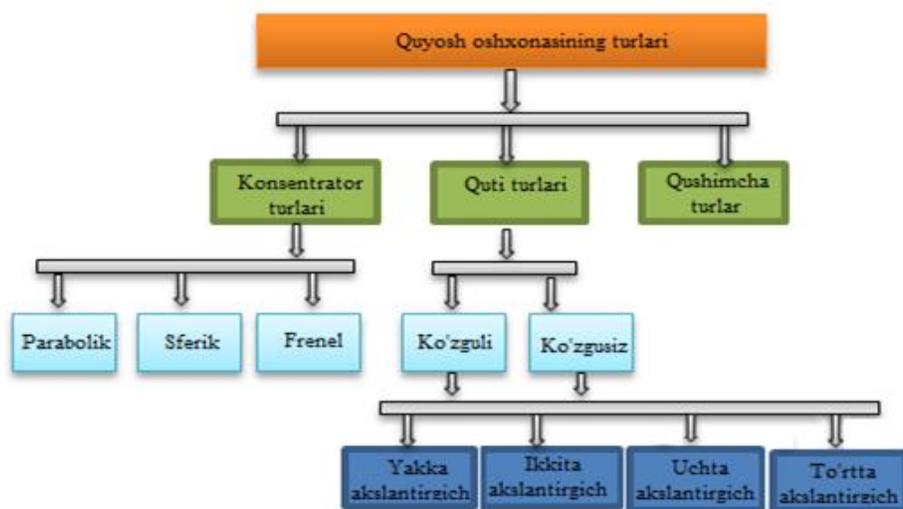


Рис 1 . Виды солнечной кухни

Тип концентратора этих категорий делится на сферический, френелевский и параболический типы солнечного приёмника. В зависимости от материала, из которого изготовлена солнечная кухня коробчатого типа, её делят на виды с зеркалом и без зеркала. Ускорители (рефлекторы) можно разделить на несколько типов в зависимости от количества применений. В дополнительной разновидности солнечных кухонь тепло солнечного света собирается в отдельных устройствах, а горячий воздух направляется под солнечный котёл с помощью воздушных форсунок. Используя такие виды солнечных плит, можно эффективно использовать для приготовления пищи в течение длительного времени. Блочная солнечная кухня является наиболее распространенным типом во всем мире, потому что это самое простое и дешёвое в приготовлении устройство. В ней можно готовить пищу при средней температуре от

70⁰ до 140⁰ С и вмещать несколько блюд. На рисунке 2 показаны два разных вида солнечной кухни коробчатого типа.



Рис 2. Солнечные кухни коробчатого типа

Рисунок 2 (а) представляет собой солнечную плиту коробчатого типа с одним отражателем; А на рис. 2 (в) коробка с четырьмя отражателями — это другая солнечная плита. В солнечных кухнях концентраторного типа температура в фокусе может быть 300-400⁰С. Кухни с концентратором (рис. 3) имеют несколько форм.



Рис 3. Солнечные кухни концентраторного типа

На рис. 3(а) показана простая в использовании зеркальная солнечная кухня.

Зеркальная солнечная кухня может приготовить достаточно еды для четырёх-пяти человек за короткое время в солнечный день, сохраняя свои витамины. На рис. 3 (б) показана воронкообразная форма солнечной кухни. Вам не нужно много материала, чтобы сделать эту форму. Поскольку они очень лёгкие, вы можете использовать камень или дерево в качестве опоры, чтобы сделать основание прочным, но

эти солнечные кухни почти не способны сбалансировать тепло. На рис. 3 (в) показана простейшая на вид и лёгкая в сборке параболическая солнечная плита, предназначенная для приготовления шашлыка. Для изготовления такого приспособления достаточно куска картона и фольги. На рис. 3 (d) показан идеальный вид параболической солнечной кухни. Это устройство отличается от других солнечных плит тем, что имеет чёткую и широкую фокусную точку. Параболическая солнечная кухня наиболее эффективна в выработке тепловой энергии и является очень чувствительным устройством даже к незначительному изменению положения солнца. Поэтому необходимо настроить устройство по движению солнца. Недостатком этого типа солнечной кухни является то, что форма параболы изготавливается исходя из определённых параметров, поэтому сделать это устройство в домашних условиях немного сложно или нет необходимых материалов. Форма солнечной панели, показанная на рис. 3(e), в настоящее время широко известна, потому что устройство легко изготовить, разрезав алюминиевые банки на круги и поместив их по образцу Френеля на кольцеобразные основания. Рисунок 3(f) относится к параболическому концентратору с цилиндрическим приёмным сосудом через солнечную кухню. Для цилиндрической ёмкости необходимо использовать материал, хорошо проводящий тепло. Хотя этот прибор в основном предназначен для нагрева воды, его можно использовать и для приготовления пищи. В таких солнечных кухнях можно кипятить воду, варить яйца, готовить шашлык и готовить различные блюда.

Мощность солнечной кухни параболической формы эквивалентна электрической плите мощностью 350-400 Вт, она может вскипятить 51 литр воды в час. На такой солнечной кухне можно приготовить еду на 3-4 человека.

Это устройство окупается за 1,5-2 года. Такие кухни позволяют экономить 1000 кВтч электроэнергии в год. Поскольку большая часть населения живет в сельском хозяйстве, пользоваться такими солнечными кухнями удобно. Его можно использовать даже на полях, фермах или в горных районах, удалённых от электросети.

Порядок работы:

Для определения фокусного расстояния параболического солнечного концентратора частицы воды распыляются издалека в его рабочую зону, чтобы можно было почувствовать внешний вид его фокуса.

1. После того, как точка фокусировки будет видна, на неё устанавливается специальное устройство, точка фокусировки должна располагаться посередине устройства. Затем термопара, работающая в диапазоне средних температур, помещается в фокусную точку или рядом с ней. Эта термопара должна быть изготовлена из материалов на основе хромель-алюмель или хромель-капель. Один конец термопары должен быть отлит в фокальной точке, а другой при 0°C.

2. С помощью потенциометра или милливольтметра измеряют термо-ЭУУК термопары. Затем по градуировочной таблице по температурной зависимости значения теплопроводности определяют температуру в точке фокуса t_f (°C).

3. Определяется количество теплоты (кДж), затраченное на кипячение воды в ёмкости определённого объёма, где температура холодной воды t_1 (°C), температура кипячёной воды t_2 (°C), время кипения t (с), масса воды m (кг).

$$Q = cm(t_2 - t_1) \quad (1)$$

Полученные результаты включены в табл 1.

Таблица 1

Рабочий процесс параболического солнечного концентратора							
	Временной интервал (мин)	t_a (°C)	E (Вт/м ²)	t_1 (°C)	t_2 (°C)	t_f (°C)	Q (кДж)
1	0						
2	10						
3	20						
4	30						
5	40						
6	50						
7	60						
8	70						

9	80						
---	----	--	--	--	--	--	--

Подготовка отчётов

1. Ознакомьтесь с информацией, необходимой для данной лабораторной работы.
2. Название работы и её цель.
3. Объясните полный рабочий процесс солнечных концентраторов различных конструкций.
4. Заполните таблицы 1-3 по результатам эксперимента.
5. Напишите резюме.

Контрольные вопросы

1. Какие бывают солнечные кухни.
2. Объясните принцип работы параболического солнечного концентратора?
3. Как определить коэффициент отражения.
4. Объясните рабочий процесс солнечного концентратора с зеркалом Френеля?

Лабораторная работа №13

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОГО ФОТО-ТЕРМО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИБОРА

Цель работы: определение параметров комбинированного фототермо электрического устройства при использовании рефлектора.

Краткая теоретическая информация

Одним из способов повышения эффективности фотоэлектрических батарей является их комбинирование с термоэлектрическими преобразователями.

Соединение висмут-теллур было выбрано в качестве материала для термоэлектрических преобразователей исходя из условий использования фотоэлектрических батарей в условиях Узбекистана,

так как их эффективность выше, чем у других термоэлектрических преобразователей при низких температурах. Если КПД солнечной батареи равен 15,4%, то в зависимости от температуры окружающей среды и перепада температур в термоэлектрических преобразователях их КПД может быть увеличен на 1-2%. Известно, что параметры термоэлектрической батареи, а также её мощность зависят от разности горячей и холодной температур на её поверхности (ΔT). Повышение КПД термоэлектрической батареи в основном проявляется в высоких показателях температуры окружающей среды. Одной из возможностей технического увеличения перепада температур ΔT является охлаждение холодной поверхности низкотемпературным теплоносителем (водой, азотом и т.п.). Принципиальная схема комбинированного гибридного фото термоэлектрического устройства представлена на рис. 1.

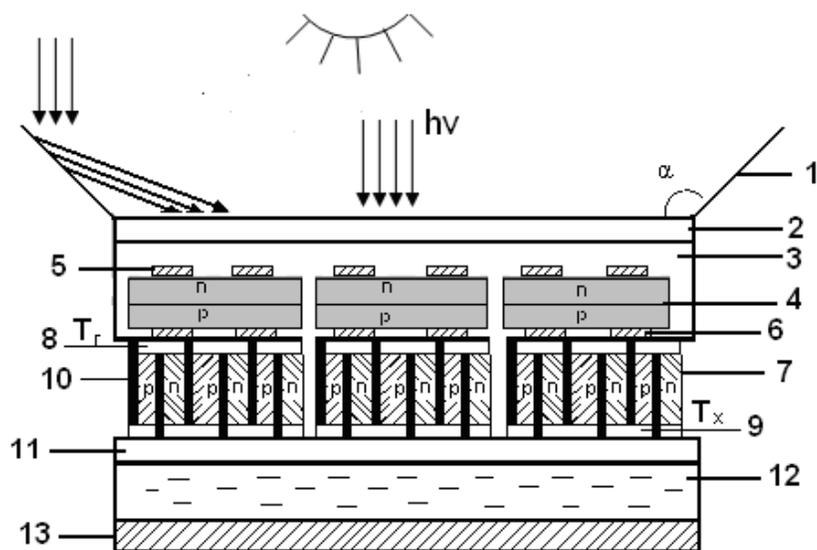


Рис 1. Принципиальная схема комбинированного гибридного фото терм-электрического устройства

1 – отражатели; 2 – защитное стекло; 3 – герметичный слой (этилен винилацетат); 4 – СИ; 5 – Передние переключающие контакты солнечной батареи; 6 – Переключающие контакты на задней поверхности солнечного элемента; 7 – низкотемпературные термоэлектрические выключатели (Bi_2Te_3); 8 – ТВ «горячей» поверхности; 9 – ТВ «холодиной» поверхности; 10 – изоляционные

материалы; 11 — Теплопередающая паста (NY Thermal grease); 12 — теплоноситель (вода); 13- корпус.

В комбинированном гибридном фото термоэлектрическом устройстве в передней части ФЭП четыре рефлектора расположены под углом $\sim 1100 \div 1200$ к рабочей зоне (рис. 2). При выполнении данной лабораторной работы угол α выбирают в зависимости от оперативного контроля отражателей и максимального тока короткого замыкания фотоэлектрической батареи. Выходная мощность генерации термоэлектрического генератора (18 последовательно соединённых ТЕБ) находится следующим образом:

$$P_g = S_m I_{teg} (T_h - T_c) - I_{teg}^2 R_m \quad (1)$$

Здесь S_m коэффициент Зеебека; R_m — электрическое сопротивление термоэлектрического генератора; I_{teg} — ток генерации термоэлектрического генератора; T_h и T_c — соответственно температура «горячей» и «холодной» поверхностей термо электр.



Рис 2. Обзор комбинированного гибридного фототермоэлектрического устройства

При этом температура горячей поверхности равна температуре тыльной поверхности защитной плёнки фотоэлектрической батареи. Выражение для максимально возможного выглядит следующим образом: I_{teg}

$$I_{teg} = \frac{S_m(T_h - T_c)}{2R_m} \quad (2)$$

Подвод тепла к «горячей» поверхности термоэлектрического генератора осуществляется за счёт теплопередачи через защитную плёнку «Тедлар» фотоэлектрической батареи, в которой количество переданного тепла можно записать следующим образом:

$$Q_h = \frac{K_m A_m (T_h - T_c)}{t_m} \quad (3)$$

здесь A_m и t_m – поверхность и толщина термоэлектрического генератора соответственно; K_m - коэффициент теплопередачи термоэлектрического генератора. Часть тепла, переданного термоэлектрическому генератору, преобразуется в электрическую энергию, а остальная часть передаётся в охлаждающий резервуар через «холодную» поверхность термоэлектрического генератора.

В общем случае мы можем рассчитать следующим образом:

$$Q_h = Q_c + P_{teg} \quad (4)$$

Величину Q_c можно рассчитать через полное термическое сопротивление с учётом тепла, переданного от защитной плёнки фотоэлектрической батареи к термоэлектрическому генератору и выделившегося в окружающую среду.

Генерирующая мощность фотоэлектрической батареи определяется следующим образом:

$$P_p = \xi_{\phi} \times I_{sc, \min} \sum_{i=1}^n U_{i, oc} \quad (5)$$

По данным расчётных книжек, с помощью отражателей можно увеличить плотность тока солнечного излучения во фронтальной рабочей зоне фотоэлемента в 1,6-1,7 раза, а также мощность фотоэлемента в 30 раз. 40%, мощность термоэлектрического генератора на 40-50% и более можно поднять.

На рис. 15.3 показаны результаты измерений термоэлектрической тепло электроэнергии в зависимости от разности температур ΔT . В рассматриваемом диапазоне температур термоэлектрическая движущая сила линейно зависит от ΔT , а градиент напряжения составляет $\sim 0,068$ в/градус.

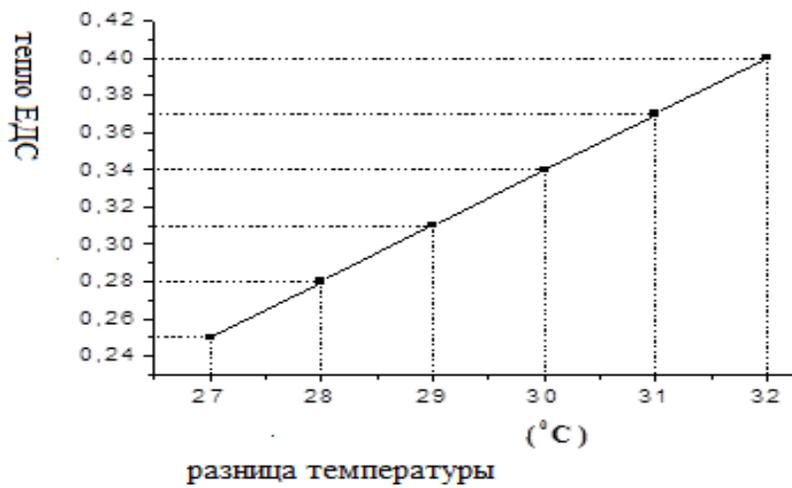


Рис 3. Зависимость термо ЭДС висмут-теллуровой термоэлектрической батареи от перепада температур ΔT

На основании полученных результатов получены результаты комбинированного гибридного фото термоэлектрического устройства без отражателя и с отражателем.

Таблица 1

№	t, °C	τ , мин	E_0 , Вт/м ²	$I_{к.з.}$, А	$U_{х.х.}$, В	I_t , мА	U_t , В
Измерение при $\Delta T = 24 \div 27$ °C (без отражателя)							
1		11 ⁰⁰	790	2,1	0,59	60	0,21
2		11 ¹⁵	795	2,3	0,60	60	0,22
3		11 ³⁰	798	2,4	0,60	60	0,23

4	17÷19	11 ⁴⁵	798			90	0,28
5		12 ⁰⁰	800			80	0,24
6		12 ¹⁵	800			60	0,21
7		12 ³⁰	800			80	0,25
8		12 ⁴⁵	800			90	0,29
9		13 ⁰⁰	800			80	0,25

Таблица 2

№	t, °С	τ, мин	E ₀ , Вт/м ²	I _{к.з.} , А	U _{х.х.} , В	I _t , мА	U _t , В
Измерение при ΔT = 45 ÷ 48 °С (без отражателя)							
1	17 ÷ 19	0	1260	2,5	0,62	80	0,24
2		5	1260	2,58	0,63	90	0,30
3		10	1262	2,6	0,63	80	0,25
4		15	1263			100	0,35
5		20	1263			100	0,32
6		25	1264			80	0,25
7		30	1264			100	0,34
8		35	1264			110	0,37
9		40	1270			120	0,38
Через 20 минут							
1	19 ÷ 21	0	1270	2,58	0,64	80	0,25
2		5	1272	2,6	0,66	100	0,35
3		10	1272	2,62	0,67	90	0,30
4		15	1274			120	0,39
5		20	1274			110	0,37
6		25	1274			80	0,25
7		30	1274			110	0,37
8		35	1274			120	0,38
9		40	1274			130	0,40

Порядок работы: Экспериментальная работа проводится на открытом воздухе в естественных условиях. Сначала выбирается и измеряется оптимальный угол фотоэлементной части прибора, ориентированной на юг. Перед измерением параметров комбинированного гибридного фото термоэлектрического прибора обращают внимание на использование отражателей. Сначала каждые 10 минут измеряют температуру окружающей среды, плотность тока солнечного излучения, скорость ветра и ток генерации, напряжение фотоэлементной части устройства, температуру задней защитной части фотоэлемента (Tedlar) с помощью 3-х термопар (медь-константа), 1 хромель-алюминиевой термопарой, также измеряют термо ЭДС ТЭГ, ток генерации, температуру t_1 ($^{\circ}\text{C}$) на входе в охлаждающую ёмкость и температуру t_2 ($^{\circ}\text{C}$) на выходе теплоносителя и заполняют таблицу 3-4.

Таблица №3

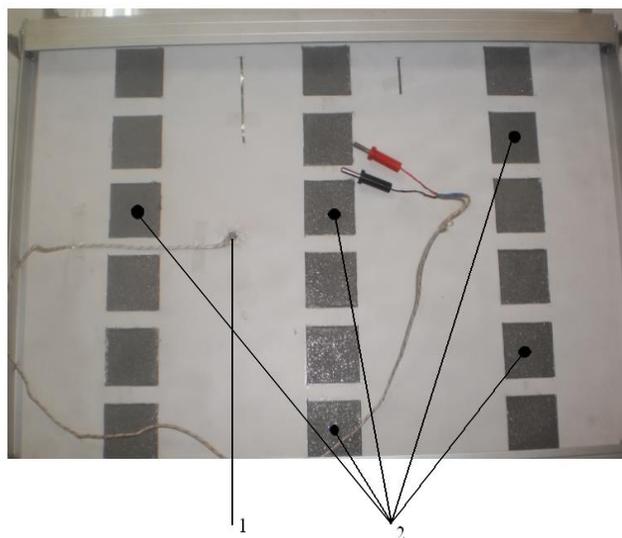
Косой угол, образуемый комбинированным гибридным фото термоэлектрическим устройством с горизонтом, составляет градусов.										
№	τ (мин)	$t_a(^{\circ}\text{C})$	$E(\text{Вт}/\text{м}^2)$	$v(\text{м}/\text{с})$	ФЭБ $U_{o.c}$ (В)	ФЭБ $I_{s.c}$ (А)	тепловой ЭДС термоэлектри ческого генератора(V)	Тока ТЭГ (мА)	t_1 ($^{\circ}\text{C}$)	t_2 ($^{\circ}\text{C}$)
1	0									
2	10									
3	20									
4	30									
5	40									
Продолжение табл 1										
6	50									
7	60									
8	70									
9	80									

Таблица №

№	T (мин)	U ₁ (мВ)	t _{1.th} (°C)	U ₂ (мВ)	t _{2.th} (°C)	U ₃ (мВ)	t _{3.th} (°C)
1	0						
2	10						
3	20						
4	30						
5	40						
6	50						
7	60						
8	70						
9	80						

Температуру фотоэлектрической части прибора измеряют с помощью 3 термопар (медь-константа), 1 хромель-алюминевой термопары (рис.4).

Во время измерения берётся один конец термопары, который выдерживается при 0°C, при этом отгружается из контейнера со льдом.



1. Рабочая солнечная батарея; 2. На обратной стороне солнечной батареи

Рис 4. Расположение термопар на тыльной стороне фотоэлектрической аккумуляторной части комбинированного фото термоэлектрического устройства

Его напряжение измеряют через выходные клеммы с помощью потенциометра или милливольтметра, а затем определяют значение температуры при $^{\circ}\text{C}$ с помощью специальной медно-константановой или хромель-алюмениевой градуировочной таблицы.

Подготовка отчётов

1. Ознакомьтесь с информацией, необходимой для данной лабораторной работы.
2. Название работы и её цель.
3. Записывается мнение студента об уравнении теплового баланса комбинированного гибридного фото термоэлектрического устройства, теплообмена и результатах эксперимента.
4. Заполнить таблицу 3-4 по результатам эксперимента.
5. Напишите выводы.

Контрольные вопросы:

1. Кто первым предложил идею объединения фотоэлектрических и термоэлектрических батарей?
2. Что такое термоэлектрические выключатели? На какие классы они делятся?
3. Что вы знаете об эффекте Зебека и Пельте? Объясните природу этих процессов.
4. Подробно опишите рабочий процесс комбинированного гибридного фото термоэлектрического устройства.

Лабораторная работа №14 ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ЦИФРОВОГО ЛЮКСМЕТРА RS 180-7133

Цель работы: ознакомление с конструкцией и принципом действия цифрового люксметра RS 180-7133.

Программа работы

1. Изучение конструкции и технических характеристик цифрового люксметра RS 180-7133.
2. Выполнение измерений освещённости в лаборатории с использованием всех функций прибора.

3. Составление отчёта.

Краткие теоретические сведения

Люксметр - это прибор, который используется для измерения уровня освещённости. Принцип работы люксметра основан на явлении фотоэлектрического эффекта. Свет, при попадании на полупроводниковый фотоэлемент, передаёт свою энергию электронам. В результате происходит высвобождение электронов в объёме полупроводника, вследствие чего через фотоэлемент начинает проходить ток. Величина силы тока пропорциональна освещённости фотоэлемента. Единица измерения освещённости называется *люкс*. Например, в яркий солнечный день освещённость составляет от 32 тысяч до 130 тысяч люкс, а при полнолунии в ясном небе - всего 0,27 люкс.

В первых аналоговых люксметрах шкалой служил гальванометр, проградуированный в люксах. Освещённость вычислялась по углу отклонения стрелки гальванометра. Сейчас широкое распространение получил цифровой портативный люксметр. Такие приборы отображают результат на цифровом жидкокристаллическом экране. Корпус портативного люксметра сделан из прочного материала, а приёмная часть прибора покрыта матовым стеклом для защиты фотоэлемента от механических повреждений и попадания на него прямых солнечных лучей. Измерительная часть прибора может быть жёстко закреплена с корпусом, или соединятся с ним посредством гибкого провода. Последний тип соединения позволяет измерять освещённость в труднодоступных местах.

Обычно при использовании люксметра в бытовых нуждах (например, при измерении освещённости в жилой комнате или на рабочем месте) нет необходимости применять дополнительные приспособления. Если же возникает проблема измерения очень высокого уровня освещённости (больше 100 тысяч люкс), используют специальную светорассеивающую или свето поглотящую насадку. При этом показания люксметра необходимо умножать на поправочный коэффициент.

Порядок выполнения работы

Этап 1. Изучение конструкции и технических характеристик цифрового люксметра RS 180-7133



Цифровой люксметр RS 180-7133 предназначен для измерения освещённости от источников света различного типа при проведении работ в процессе наладки, ремонта и лабораторных исследований. В стандартный комплект поставки RS 180-7133 входят: электронный блок, светочувствительный датчик, инструкция по эксплуатации.

Технические характеристики

Источники освещения	лампы дневного света вольфрамовые лампы флуоресцентные лампы ртутные лампы
Диапазон измерений	от 0 до 50000 люкс (три диапазона 0-1999, 2000-19990, 20000-50000 люкс)
Точность	6% от диапазона
Тип датчика	специальный фотодиод и светофильтр
Питание	батарейка 9 В («Крона»)
Вывод информации	дисплей
Габаритные размеры	Размер электронного блока - 180 x 72 x 32 мм; размер зонда - 82 x 55 x 7 мм
Вес	335 г

Этап 2. Выполнение измерений освещенности в лаборатории с использованием всех функций прибора

- 2.1. Ознакомиться с инструкцией прибора.
- 2.2. Произвести измерения освещённости в аудитории в люксах, килолюксах и фут-канделах. Результаты занести в таблицу.
- 2.3. При помощи дополнительной литературы ознакомиться с нормативами освещённости для лабораторных помещений и сделать выводы.

Этап 3. Составление отчета

Отчёт по данной лабораторной работе должен содержать:

1. Наименование работы и её цель.
2. Описание принципа работы прибора.
3. Результаты выполнения измерений освещённости в лаборатории с использованием всех функций прибора.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Конструкция и принцип работы люксметра.
2. Область применения люксметра.
3. Какие существуют нормативы освещённости для разных типов помещений?

Лабораторная работа №15 ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ БЕСКОНТАКТНОГО ИНФРАКРАСНОГО ТЕРМОМЕТРА (ПИРОМЕТРА) DT-8862 И DT-8863

Цель работы: ознакомление с конструкцией и принципом действия бесконтактного инфракрасного термометра (пирометра) DT-8862 и DT-886.

Программа работы

1. Изучение конструкции и технических характеристик бесконтактного инфракрасного термометра (пирометра) DT-8862 и DT-8863.
2. Ознакомление с порядком работы бесконтактного инфракрасного термометра (пирометра) DT-8862 и DT-8863.
3. Выполнение измерений температуры различных объектов.
4. Составление отчёта.

Краткие теоретические сведения

Пирометр – это прибор, который измеряет температуру по тепловому электромагнитному излучению и предоставляет информацию в форме, удобной для пользователя. Наиболее распространенным классом среди устройств подобного рода являются инфракрасные пирометры, использующие метод радиационной пирометрии (другие названия — инфракрасный термометр или инфракрасный радиометр). Конструктивно такой прибор представляет собой пирометрический преобразователь и устройство отображения информации (аналоговое или цифровое). Принцип действия инфракрасного пирометра основан на измерении абсолютного значения амплитуды электромагнитного излучения от объекта в инфракрасной части спектра и последующем преобразовании измеренного значения в температуру.

Порядок выполнения работы

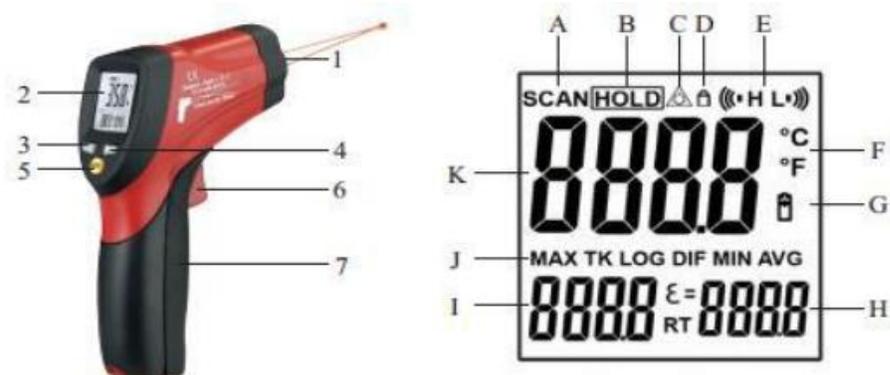
Этап 1. Изучение конструкции и технических характеристик бесконтактного инфракрасного термометра (пирометра) DT-8862 и DT-8863

Особенности

- Мгновенное измерение 150 мс (типичное время
- измерения других моделей пирометров 500...1000 мс);
- Двойной лазерный указатель области измерения
- температуры;
- Тройной ЖК-дисплей с подсветкой;

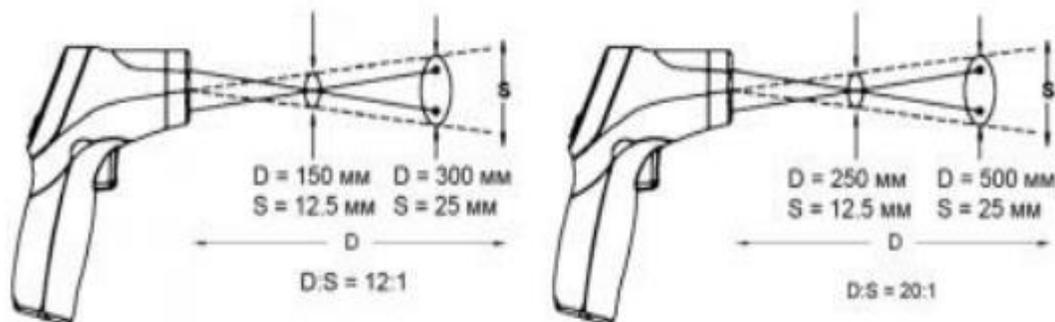
- Регулируемый коэффициент излучения;
- 2 уставки с сигнализацией;
- Определение максимального значения;
- Автоматическое удержание показаний на дисплее;
- Режим мониторинга (блокировка автовыключения);
- Сигнализация выхода за пределы диапазона измерения;
- Автоматическое выключение после 7 секунд:

Этап 2. Ознакомление с порядком работы бесконтактного инфракрасного термометра (пирометра) DT-8862 и DT-8863



1. Откройте отсек питания (7) и установите в него 9В батарею, соблюдая полярность. Если батарея разряжена, на дисплее (2) отобразится индикатор разряда батареи (G).
2. Для включения прибора и начала измерения нажмите и удерживайте курок
(6). Наведите лазерный указатель (1) на объект. На дисплее отобразится измеренное значение температуры (K). Значение будет обновляться, пока удерживается курок и активен индикатор **SCAN** (A). Для фиксации текущего значения температуры на дисплее отпустите курок. На дисплее отобразится индикатор **HOLD** (B).
Примечание: с увеличением расстояния до объекта увеличивается размер пятна контроля измеряемой области. Для обеспечения высокой точности измерения необходимо, чтобы размер объекта был больше, чем размер пятна контроля.
3. Для включения или выключения подсветки дисплея нажмите кнопку ^q (4) при удержании показаний (активном индикаторе **HOLD** (B)).
4. Для включения или выключения лазерного указателя нажмите кнопку ^p (3) при удержании показаний. Индикатор (C) показывает текущее состояние указателя (если индикатор активен, то функция включена).

5. Используйте кнопки P и Q (3, 4) для изменения коэффициента излучения
- (H) в режиме мгновенного измерения при нажатом курке или в режиме мониторинга.



6. Во время измерения прибор автоматически определяет максимальное измеренное значения. Данное значение отображается на вспомогательном дисплее (I) при активном индикаторе **MAX** (J).
7. Для задания режима работы нажмите кнопку **MODE** (5) необходимое число раз.

МЕРЫ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ

1. Не направляйте лазерную указку в глаза или на сильно отражающие поверхности во избежание попадания луча в глаза.
2. Прибор следует беречь от электромагнитных полей, источников тепла, перепадов температуры и воды.
3. Пар, пыль, дым или другие частицы влияют на точность измерений, создавая помехи оптическим элементам прибора.

Этап 3.Выполнение измерений температуры различных объектов.

Произвести измерения температуры различных объектов в лаборатории.

Результаты занести в таблицу:

наименование объекта	t, C
----------------------	---------------

Этап 3. Составление отчёта

Отчёт по данной лабораторной работе должен содержать:

1. Наименование работы и её цель.
2. Результаты измерений различных объектов.
3. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Назначение пирометра.
2. Конструкция и принцип работы пирометра.
3. Какие меры предосторожности необходимо соблюдать при работе с пирометром.

Литература

1. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика// Учебное пособие для Вузов-Москва: дом МЭИ, 2008.
2. Попел О.С., Фортов В.Е. Возобновляемая энергетика в современном мире//Учебное пособие-Москва: МЭИ.2015
3. Mukurjee A.K., Nivedita Thakur Photovoltaic Systems, analysis and design,2014/Dehli.
4. Арбузов Ю.Д, Евдокимов В.М. Основы фотоэлектричества. \- М.: Наука, 2007.С.258
5. Фалеев Д.С Основные характеристики солнечных модулей // Методические указания. - Хабаровск: ДВГУПС. 2013 С.28
6. Обухов С. Г Системы генерирования электрической энергии с использованием возобновляемых энергоресурсов.\Учебное пособие. Издательство Томского политехнического университета. 2008.С.140
7. Yuldoshev I.A., Saitov e.B. Quyosh panellarini o‘rnatish, sozlash va ishlatish. O‘quv qo‘llanma. –Toshkent: Noshir nashriyoti, 2017.
8. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. -М.: Энергоатомиздат,1991.С 208.

Дополнительная литература

1. Колтун М.М. Солнце и человечество.- М.: Наука, 1981.
2. Афанасьев В. П., Теруков Э.И., Шерченков А.А Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния. Санкт-Петербург: СПбГЕТУ «ЛЕТИ», 2011.
3. Gremenok V.F., Tivanov M. S., Zalesski V.B Solar cells based semiconductor materials// International Scientific Journal for Alternative energy and ecology – 2009 – Vol.69. №1. – P. 59-124
4. Юлдашев И.А. Комбинированные энергоустановки на основе фотоэлектрических батарей из кристаллического кремния. диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. ФТИ, НПО Физика-Солнце АН РУз. 2016. С.

Электронные ресурсы

1. <http://alternativenergy.ru>

2. <http://www.energy-bio.ru>
3. www.viecosolar.com
4. www.unisolar.com.ua
5. www.solarvalley.org
6. www.polpred.com
7. www.hitech.compulenta.ru
8. www.solar.newtel.ru

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение.....	3
1	Лабораторная работа №1 Изучение вольт-амперной и вольт-ваттной солнечной характеристики фотоэлектрической модули.....	5
2	Лабораторная работа №2 Изучение последовательного и параллельного соединения солнечных элементов.....	11
3	Лабораторная работа №3 Определение тепловой эффективности солнечной водонагревательной установки.....	15
4	Лабораторная работа №4 Исследование температурных режимов солнечного фотоэлектрического модуля (кристаллического кремния).....	20
5	Лабораторная работа №5 Изучение работы автономного фотоэлектрического устройства, расположенного на лабораторном столе.....	26
6	Лабораторная работа №6 Измерение угловой зависимости плотности тока короткого замыкания.....	31
7	Лабораторная работа №7 Изучение принципа работы малого солнечного концентратора параболического типа.....	36
8	Лабораторная работа №8 Исследование температурных режимов солнечного фотоэлектрического модуля (аморфного кремния).....	39
9	Лабораторная работа №9 Изучение принцип работы измерительных устройств плотности потока солнечного излучения.....	43
10	Лабораторная работа № 10. Изучение работы фотоэлектрической установки мощностью 20кВт, включённой параллельно в местную электрическую сеть.....	49

11	Лабораторная работа №11 Изучение рабочего процесса фотоэлектрической установки мощностью 10 кВт (без системы накопления), подключённой параллельно к местной электросети	55
12	Лабораторная работа №12 Исследование принципа работы малого солнечного концентратора параболического типа.....	61
13	Лабораторная работа №13 Исследование рабочего процесса комбинированного фото термоэлектрического устройства.....	63
14	Лабораторная работа №14 Изучение конструкции и принципа действия цифрового люксметра RS180-7133.....	71
15	Лабораторная работа №15 Изучение конструкции и принципа действия бесконтактного инфракрасного термометра (пирометра) dt-8862 и dt-8863.....	75
	Литература.....	81

Редактор:

Ахметжанова Г.М

