



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника»

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭНЕРГИИ – СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
для энергетических специальностей ВУЗа

Минск
БНТУ
2018

УДК 621.383.51 (076.5)
ББК 32.854я7
И 88

Составители:

И.Н. Прокопеня, Т.А. Петровская,
А.А. Богдан, Р.С. Игнатович, И.В. Павлович

Рецензент:

Н.Б. Карницкий

Исследование фотоэлектрического преобразователя энергии – солнечной батареи: для энергетических специальностей ВУЗа / сост. И.Н. Прокопеня, Т.А. Петровская, А.А. Богдан, Р.С. Игнатович, И.В. Павлович. – Минск: БНТУ, 2018.-57 с.

Лабораторный практикум содержит теоретический материал и практические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Нетрадиционные источники энергии», «Применение нетрадиционных источников». Лабораторный практикум составлен в соответствии с учебным планом специальностей и программой дисциплины.

© И.Н. Прокопеня, Т.А. Петровская
©БНТУ 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2.....	11
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.....	24
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4.....	33
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5.....	38
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6.....	46
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	56

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИЗУЧЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Цель: изучить устройство лабораторной установки, устройство прибора, применяемого для изучения теплового потока.

Теоретические сведения

Конструктивно стенд состоит из блока управления, двух модулей солнечных батарей (с монокристаллическими и поликристаллическими солнечными батареями) и блока освещения.

Блок управления состоит из корпуса, на котором установлены: источники питания, электронные платы, нагрузочные резисторы, лицевая панель и столешница интегрированного рабочего стола.

На лицевой панели блока управления изображены схемы солнечной батареи, подключения нагрузки и измерительных приборов.

На лицевой панели также расположены:

- 1 - сетевой выключатель;
- 2 - функциональные переключатели;
- 3 - светильники с галогенными лампами (4 лампы);
- 4 - цифровые индикаторы.

Модули солнечных батарей представляют собой передвижные рамы из стального профиля (рисунок 1). На каждом блоке закреплены по две солнечные батареи. Угол наклона батарей может быть изменен от 0 до 90 градусов с фиксированным шагом в 5 градусов.

Температура каждой батареи контролируется цифровым термометром (рисунок 1.3). Тип исследуемых монокристаллических батарей: ТСМ-80А, поликристаллических: ТСМ-75.



Рисунок 1.1 – Модуль солнечных батарей

Блок освещения представляет собой передвижную раму из стального профиля, на которой смонтированы 8 (2 группы по 4 светильника) галогенных светильников мощностью 0,5 кВт каждый (рисунок 1.2). Каждая группа светильников имеет собственный выключатель.

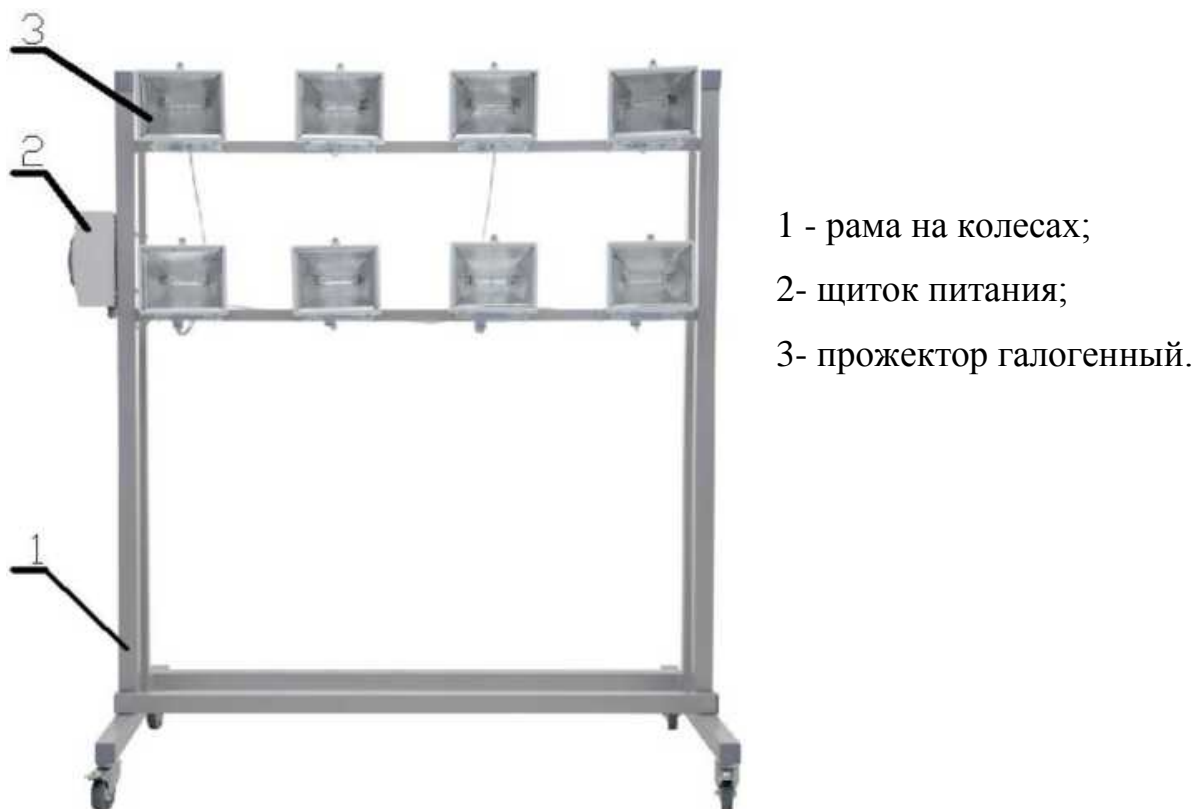


Рисунок 1.2 - Блок освещения

Подключение солнечных модулей к блоку управления осуществляется присоединением кабеля к разъемам сбоку солнечных модулей (рисунок 1.4). Для проведения опытов солнечные модули подключаются к блоку управления по очереди.

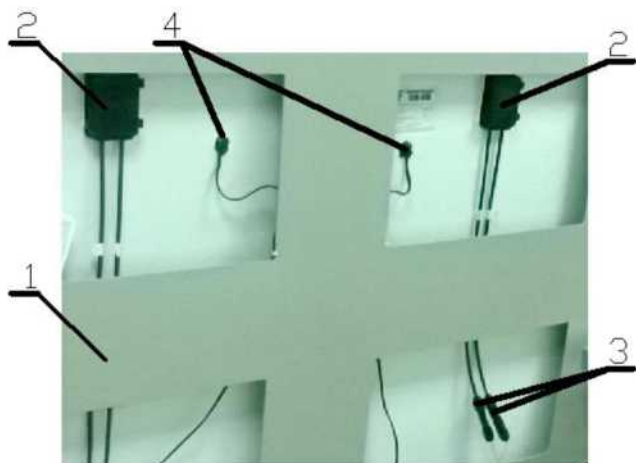


Рисунок 1.3 – Модуль вид сзади

1 – рамка солнечных батарей;
 2 – распределительная коробка
 солнечной батареи;
 3 – выходные разъемы солнечной
 батареи
 4 – датчики температуры.

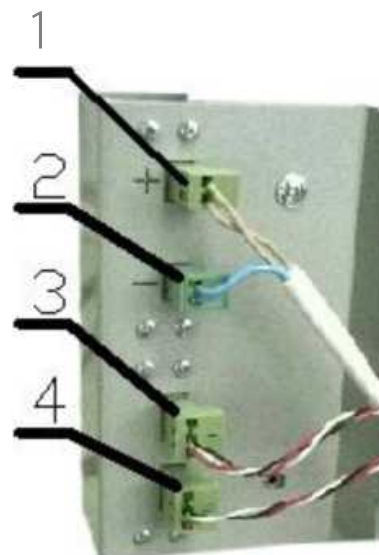


Рисунок 1.4 – Разъемы подключения

1 – разъем положительных клемм;
 2 – разъем отрицательных клемм;
 3 – разъем датчика температуры
 батареи BL1;
 4 – разъем датчика температуры
 батареи BL2.

Измерение освещенности исследуемых солнечных батарей осуществляется люксметром (входит в комплект).

Стенд может комплектоваться измерителем теплового потока типа ИПП-2. Прибор представлен на рисунке 1.5. Прибор предназначен для измерения плотности тепловых потоков, проходящих через однослойные и многослойные ограждающие конструкции зданий и сооружений, через облицовку и теплоизоляцию объектов энергетики при экспериментальном исследовании и в условиях эксплуатации.

Принцип работы прибора

Режим “РАБОТА” является основным эксплуатационным режимом [1]. Переход в данный режим при выключенном приборе осуществляется кратковременным нажатием на кнопку «В». В данном режиме производится циклическое измерение выбранного параметра. Кратковременным нажатием кнопки

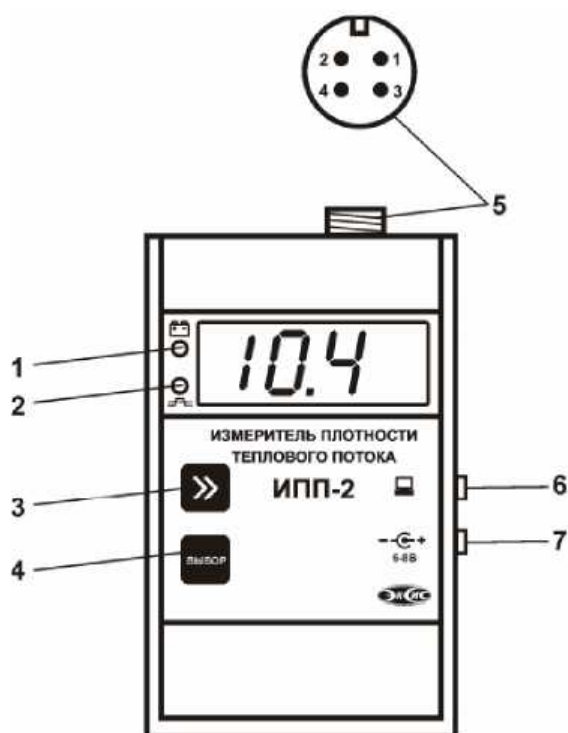
“»” осуществляется переход между режимами измерения плотности теплового потока и температуры, а также индикации заряда аккумуляторов в процентах 0%...100%. При этом при переходе между режимами на индикаторе отображается соответствующая надпись выбранного режима. Нажатием кнопки “»” в течение двух секунд осуществляется переход прибора в режим “SLEEP”, в этом режиме прибор гасит светодиодную индикацию, но продолжает измерения текущего параметра и запись статистики. Выход из режима “SLEEP” производится нажатием любой кнопки. Кратковременное нажатие кнопки «В» в режиме “РАБОТА” выключает прибор. В выключенном состоянии прибор прекращает измерения и запись автоматической статистики, при этом все настройки работы прибора и часов реального времени сохраняются.

В режиме “РАБОТА” прибор может производить периодическую автоматическую запись измеренных значений в энергонезависимую память с привязкой ко времени. Включение/выключение записи статистики, настройка параметров записи, считывание накопленных данных осуществляется с помощью программного обеспечения, поставляемого с прибором по заказу. Помимо всех описанных выше функций в режиме “РАБОТА” доступна функция автоматического определения неисправности подключенного зонда теплового потока. Прибор каждые 10 секунд опрашивает измерительный канал теплового потока и в случае обрыва соединительного кабеля, либо неисправности датчика теплового потока, на индикатор прибора выводится надпись “Err” Температурный канал прибор опрашивает непрерывно и в случае неисправности на индикатор выводится надпись “- - - -”. Светодиодная индикация в режиме “РАБОТА”. Светодиод позиции 1 (рисунок 1.5) индицирует состояние аккумуляторной батареи. В режиме заряда при подключенном сетевом адаптере светодиод горит постоянно до состояния 100% зарядки, затем гаснет. В режиме работы с отключенным сетевым адаптером светодиод погашен, если батарея заряжена более чем на 10% и мигает в противном случае. Светодиод позиции 2 (рисунок 1.5) миганием индицирует нарушение порогов. В режиме “SLEEP” мигает точка в четвертом разряде семисегментного индикатора. Прибор может оснащаться различными измерительными зондами.

Модификации зондов для измерения плотности теплового потока перечислены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Зависимость диапазона измерения плотности теплового потока от модификации зонда

Название модификации	Диапазон измерения плотности теплового потока, Вт/м ²
ПТП-0.25	От 10 до 250
ПТП-0.5	От 10 до 500
ПТП-2.0	От 10 до 2000
ПТП-9.9	От 10 до 9999
ПТП-0.25 П	от 10 до 250
ПТП-0.5 П	От 10 до 500
ПТП-2.0 П	От 10 до 2000
ПТП-9.0 П	От 10 до 9999



- 1 - Индикация режимов работы аккумулятора
- 2 - Индикация нарушения порогов
- 3 - Кнопка ">>"
- 4 - Кнопка "Выбор"
- 5 - Разъём для подключения зонда
- 6 - Разъем для подключения к компьютеру
- 7 - Разъем для подключения сетевого адаптера

Рисунок 1.5 - Измеритель плотности теплового потока ИПП-2

Контрольные вопросы:

1. Какие бывают солнечные батареи?
2. Что установлено на корпусе блока управления?

3. Как осуществляется подключение солнечных батарей?
4. На какой диапазон углов поворачивается солнечная батарея? С каким шагом?
5. Каким прибором осуществляют измерение освещенности солнечных батарей?
6. Каким прибором осуществляют измерение плотности тепловых потоков?

В отчете предоставить:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Ход работы.
4. Расчеты (если есть).
5. Графики.
6. Ответы на вопросы.
7. Выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Цель: изучить конструкцию и принцип действия фотоэлектрических преобразователей, сформировать понятия о разновидности фотоэлектрических преобразователей.

Теоретические сведения

Солнечная батарея — несколько объединённых фотоэлектрических преобразователей (фотоэлементов) — полупроводниковых устройств, прямо преобразующих солнечную энергию в постоянный электрический ток, в отличие от солнечных коллекторов, производящих нагрев материала-теплоносителя. Различные устройства, позволяющие преобразовывать солнечное излучение в тепловую и электрическую энергию, являются объектом исследования гелиоэнергетики (от гелиос греч. Ἥλιος, Helios — Солнце).

Производство фотоэлектрических элементов и солнечных коллекторов развивается в разных направлениях [7]. Солнечные батареи бывают различного размера: от встраиваемых в микрокалькуляторы до занимающих крыши автомобилей и зданий.



Рисунок 2.1 – Виды солнечных батарей

Солнечные батареи на основе кремния

Батареи, основой которых служит кремний, на сегодняшний день являются самыми популярными. Объясняется это широким распространением кремния в земной коре, его относительной дешевизной и высоким показателем производительности, в сравнении с другими видами солнечных батарей. Как видно из рисунка выше кремниевые батареи производят из моно- и поликристаллов Si и аморфного кремния.

Монокристаллические солнечные батареи, показанные на рисунке 2.2, представляют собой силиконовые ячейки, объединенные между собой.



Рисунок 2.2

Для их изготовления используют максимально чистый кремний, получаемый по методу Чохральского. После затвердевания готовый монокристалл разрезают на тонкие пластины толщиной 250-300 мкм, которые пронизывают сеткой из металлических электродов (рис. нарезка). Используемая технология является сравнительно дорогостоящей, поэтому и стоят монокристаллические батареи дороже, чем поликристаллические или аморфные. Выбирают данный вид солнечных батарей за высокий показатель КПД (порядка 17-22%).

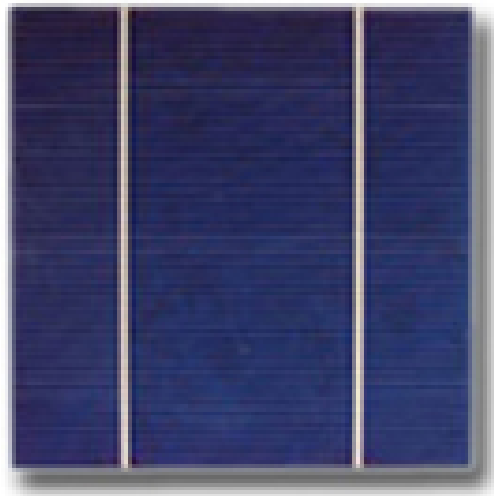


Рисунок 2.3

Для получения поликристаллов кремниевый расплав подвергается медленному охлаждению. Полученные поликристаллические солнечные батареи выглядят как на рисунке 2.3. Такая технология требует меньших энергозатрат, следовательно, и себестоимость кремния, полученного с ее помощью меньше. Единственный минус: поликристаллические солнечные батареи имеют более низкий КПД (12-18%), чем их моно «конкурент». Причина заключается в том, что внутри поликристалла образуются области с зернистыми границами, которые и приводят к уменьшению эффективности элементов. В таблице 2.1 приведены основные различия между моно и поли солнечными элементами.

Таблица 2.1 – Различия между моно и поли солнечными элементами

Показатель	Моно элементы	Поли элементы
Кристаллическая структура	Зерна кристалла параллельны Кристаллы ориентированы в одну сторону	Зерна кристалла не параллельны Кристаллы ориентированы в разные стороны
Температура производства	1400 °С	800-1000 °С
Цвет	Черный	Темно-синий
Стабильность	Высокая	Высокая, но меньше, чем у моно
Цена	Высокая	Высокая, но меньше, чем у моно
Период окупаемости	2 года	2-3 года

Батареи из аморфного кремния

Если проводить деление в зависимости от используемого материала, то аморфные батареи относятся к кремниевым, а если в зависимости от технологии производства – к пленочным. В случае изготовления аморфных панелей, используется не кристаллический кремний, а силан или кремневодород, который тонким слоем наносится на материал подложки. КПД таких батарей составляет всего 5-6%, у них очень низкий показатель эффективности, но, несмотря на эти недостатки, они имеют и ряд достоинств:

- 1 Показатель оптического поглощения в 20 раз выше, чем у поли- и монокристаллов.
- 2 Толщина элементов меньше 1 мкм.
- 3 В сравнении с поли- и монокристаллами имеет более высокую производительность при пасмурной погоде.
- 4 Повышенная гибкость.

Помимо описанных выше видов кремниевых солнечных батарей, существуют и их гибриды. Так для большей стабильности элементов используют двухфазный материал, представляющий собой аморфный кремний с включениями нано- или микрокристаллов. По свойствам полученный материал сходен с поликристаллическим кремнием.

Разработка пленочных батарей обусловлена:

1. Потребностями в снижении стоимости солнечных батарей.
2. Необходимостью в улучшении производительности и технических характеристик.

На основе CdTe

Исследования теллурида кадмия, как светопоглощающего материала для солнечных батарей начались еще в 70-х годах.

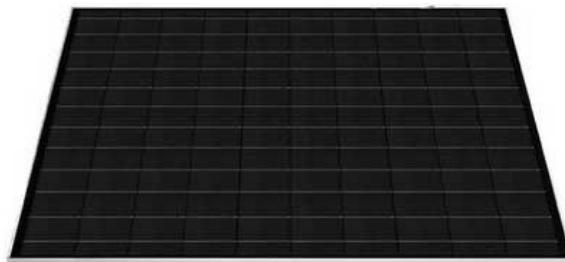


Рисунок 2.4

В то время его рассматривали как один из оптимальных вариантов для использования в космосе, сегодня же батареи на основе CdTe, рисунок 2.4, являются одними из самых перспективных в земной солнечной энергетике. Так как кадмий является кумулятивным ядом, то дискуссии возникают лишь по одному вопросу: токсичен или нет? Но исследования показывают, что уровень кадмия, высвобождаемого в атмосферу, ничтожно мал, и опасаться его вреда не стоит. Значение КПД составляет порядка 11%. Согласитесь, цифра небольшая, зато стоимость ватта мощности таких батарей на 20-30% меньше, чем у кремниевых.

На основе селенида меди-индия

Как понятно из названия, в качестве полупроводников используются медь, индий и селен, иногда некоторые элементы индия замещают галлием. Примера на рисунке 2.5.

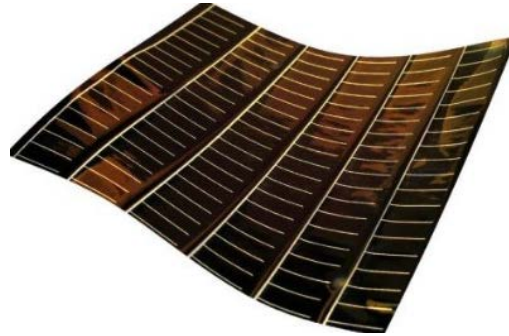


Рисунок 2.5

Такая практика объясняется тем, что большая часть производящегося на сегодня индия требуется для производства плоских мониторов. Именно поэтому с целью экономии индий замещают на галлий, который обладает схожими свойствами. Пленочные солнечные батареи на основе селенида меди-индия имеют КПД равный 15-20%. Следует иметь в виду, что без использования галлия эффективность солнечных батарей возрастает примерно на 14%.

На основе полимеров

Разработка данного вида батарей началась сравнительно недавно. В качестве светопоглощающих материалов используются органические полупроводники, такие как полифенилен, углеродные фуллерены, фталоцианин меди и другие.

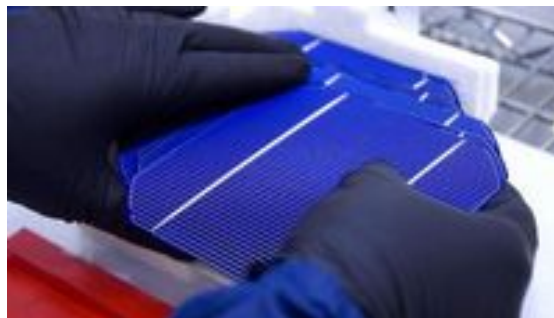


Рисунок 2.6

Толщина пленок составляет 100 нм. Полимерные солнечные батареи, как на рисунке 2.6, имеют на сегодняшний день КПД всего 5-6%.

Но их главными достоинствами считаются:

1. Низкая стоимость производства.
2. Легкость и доступность.
3. Отсутствие вредного воздействия на окружающую среду.

Применяются полимерные батареи в областях, где наибольшее значение имеет механическая эластичность и экологичность утилизации.

В таблице 2.2 приведены обобщенные данные о КПД разных видов солнечных батарей.

Таблица 2.2 – КПД разных видов солнечных батарей

КПД солнечных элементов, выпускаемых в производственных масштабах	
Моно	17-22%
Поли	12-18%
Аморфные	5-6%
На основе теллурида кадмия	10-12%
На основе селенида меди-индия	15-20%
На основе полимеров	5-6%

Фотоэлектрический преобразователь (фотоэлемент) - электронный прибор, который преобразует энергию фотонов в электрическую энергию.

Преобразование энергии в ФЭП (фотоэлектрический преобразователь) основано на фотоэлектрическом эффекте, который возникает в неоднородных полупроводниковых структурах при воздействии на них солнечного излучения.

Эффективность преобразования зависит от электрофизических характеристик неоднородной полупроводниковой структуры, а также оптических свойств ФЭП, среди которых наиболее важную роль играет фотопроводимость. Она обусловлена явлениями внутреннего фотоэффекта в полупроводниках при облучении их солнечным светом.

Основные необратимые потери энергии в ФЭП вызваны:

1. отражением солнечного излучения от поверхности преобразователя;
2. прохождением части излучения через ФЭП без поглощения в нём;

3. рассеянием на тепловых колебаниях решётки избыточной энергии фотонов;
4. рекомбинацией образовавшихся фото пар в ФЭП;
5. внутренним сопротивлением преобразователя.

Кристаллический модуль (солнечная батарея) состоит из нескольких отдельных солнечных элементов, практически всегда соединенных последовательно, что позволяет увеличить напряжение и выходную мощность по сравнению с одним солнечным элементом. Обычно напряжение модуля проектируется так, чтобы оно соответствовало напряжению батареи 12В. Напряжение отдельного солнечного элемента при 25 °С и атмосферной массе 1.5 составляет около 0,6 В. Принимая во внимание то, что производительность солнечных элементов уменьшается при увеличении температуры, а для зарядки аккумулятора требуется напряжение порядка 15В, большинство модулей включают в себя 36 элементов, соединенных последовательно. Такой модуль вырабатывает напряжение 21 В при стандартных условиях тестирования и имеет рабочее напряжение равное 17-18 В при максимальной мощности и температуре. Избыточное напряжение необходимо, чтобы компенсировать падение напряжения на других элементах фотоэлектрической системы и работу не в точке максимальной мощности в следствии уменьшения интенсивности излучения. Устройство солнечной батареи показано на рисунках 2.7, 2.8.

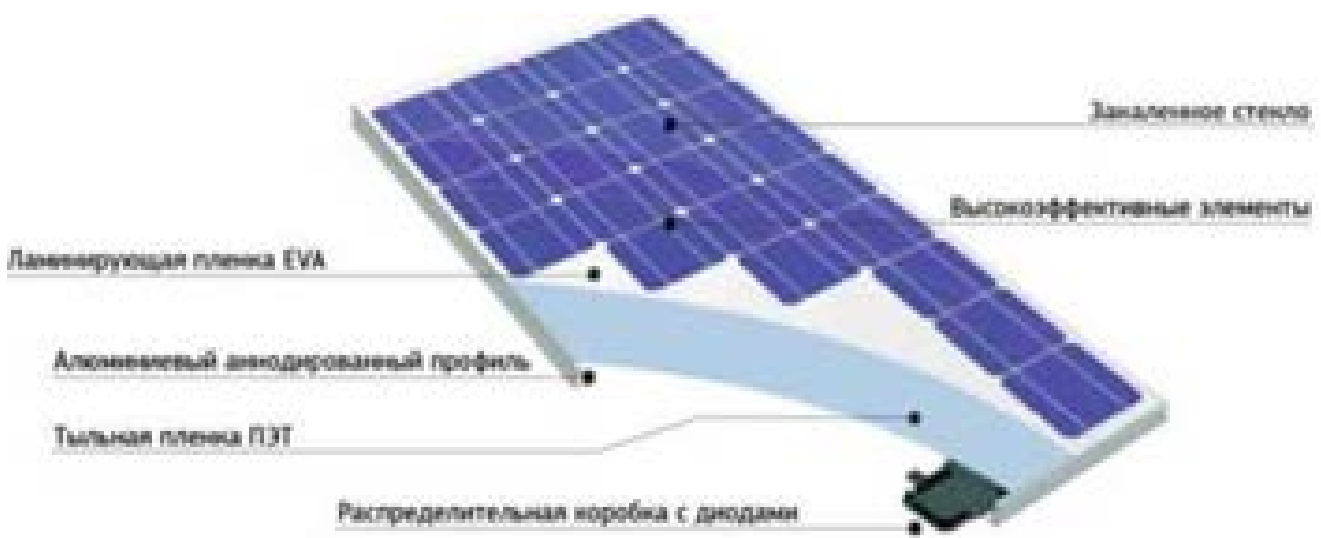


Рисунок 2.7 - Устройство солнечной батареи

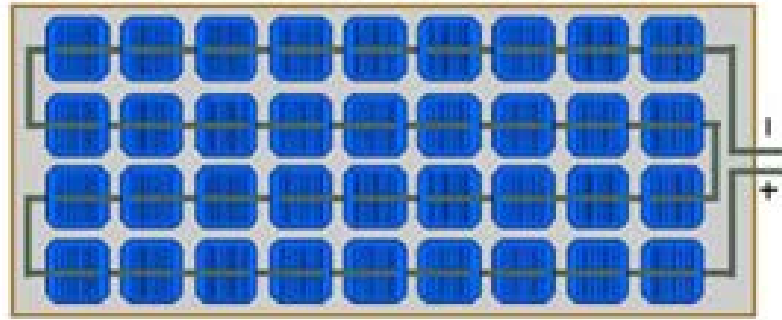


Рисунок 2.8 – Соединение элементов

Плотность упаковки солнечных элементов в модуле равна отношению площади модуля, которую занимают солнечные элементы к общей площади. Плотность упаковки наряду с рабочей температурой и КПД ФЭП является фактором, определяющим выходную мощность батареи. Плотность упаковки зависит от формы используемых солнечных элементов. Например монокристаллические элементы бывают круглыми или полукруглыми, поликристаллические элементы обычно квадратные. Поэтому плотность упаковки монокристаллических элементов ниже, чем поликристаллических. Возможные варианты упаковки круглых и квадратных элементов показана в таблице 2.3.

Если между элементами специально оставить зазоры и заднюю поверхность сделать из белого материала, то можно увеличить выходную мощность за счет эффекта концентрации излучения. Определенное количество света, попадающего в области между солнечными элементами и проводкой, рассеивается и направляется в активные области модуля.

Таблица 2.3 – Геометрическая форма батарей

Монокристаллические		Поликристаллические
Круглые	Обточенные	

Плотность упаковки поликристаллических солнечных элементов в модуле больше, но они вырабатывают меньшую мощность так как их эффективность ниже.

Спектр солнечного излучения, основные параметры излучения

При прохождении через атмосферу солнечный свет ослабляется за счет поглощения инфракрасного излучения парами воды, ультрафиолетового излучения озоном и рассеяния излучения молекулами газов и частицами [10]. Параметр, отражающий влияние атмосферы на солнечное излучение, достигающее до земной поверхности - атмосферная масса (или воздушная масса). Атмосферная масса - это длина пути, который проходит свет через атмосферу, отнесенная к кратчайшему возможному пути (Солнце находится в зените). Атмосферная масса показывает на сколько уменьшилась спектральная плотность потока излучения после прохождения через атмосферу и поглощения воздухом и пылью.

Соотношение для вычисления номера атмосферной массы*:	
$AM = \frac{1}{\cos\theta}$	(1.1)

θ° – угол между нормалью к земной поверхности и солнечными лучами (зенитный угол).

Спектр солнечного излучения может быть аппроксимирован спектром излучения абсолютно черного тела при температуре 5762К (рисунок 2.9).

* соотношение (1) применяется для ясной погоды и не учитывает атмосферное давление.

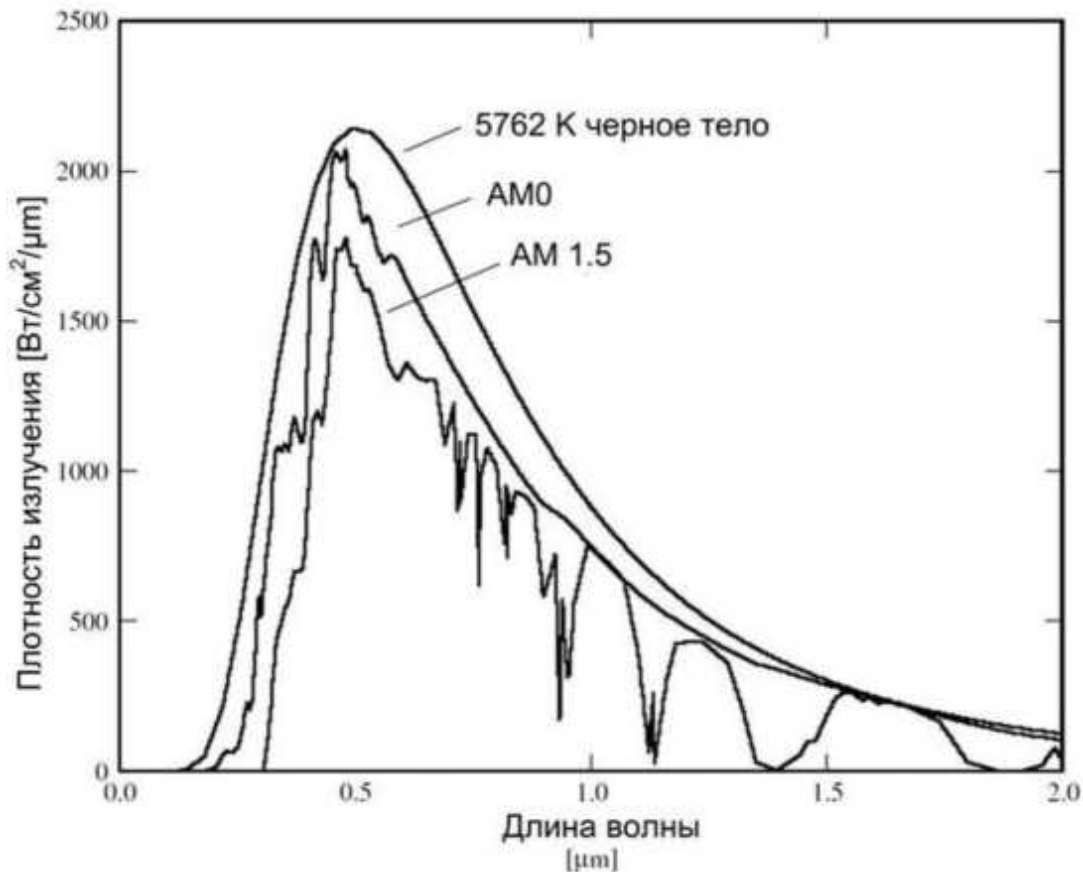


Рисунок 2.9 – Зависимость плотности излучения от длины волны

Через параметр атмосферной массы может быть определена интенсивность солнечного излучения падающего на поверхность фотоэлектрического преобразователя. Различают интенсивность прямой составляющей и общую интенсивность.

Интенсивность прямой составляющей солнечного излучения:

$$I_D = 1353 \cdot 0.7^a$$

$$a = AM^{0.678}$$

(1.2)

Общая интенсивность солнечного излучения:

$$I_g = 1.1 \cdot I_d$$

(1.3)

Общая интенсивность включает прямую и диффузную составляющую. На практике величина диффузной составляющей принимается равной 10% от прямой. В зависимости от состава излучения спектры по AM могут иметь обозначение D (direct) и G (global).

Стандартный спектр на поверхности Земли соответствует атмосферной массе AM1.5 (AM1.5G). Рассчитав по (2 и 3) интенсивность для AM1.5G получим 931 Вт/м². На практике стандартом определено значение интенсивности (нормализованная суммарная плотность излучения), равное 1 кВт/м². Стандартный спектр вне земной атмосферы соответствует AM0, так как свет не ослабляется атмосферой. Этот спектр используют для расчета солнечных элементов орбитальных аппаратов. Для наиболее часто встречающихся номеров AM в таблице 2.4 приведены расчетные и стандартные значения интенсивности солнечного излучения.

Таблица 2.4 – Интенсивность солнечного излучения

	Метод					
		AM0	AM1	AM1.5	AM2	AM10
Интенсивность, Вт/м ²	ID	1353	974	846	765	247
	IG	1488	1042	931	841	272
	Стандарт	1350		1000		

Контрольные вопросы:

1. Что такое солнечная батарея?
2. Какие типы солнечных батарей вы знаете?
3. Чем отличаются монокристаллические и поликристаллические солнечные батареи?
4. Где применяются полимерные солнечные батареи?
5. Что такое фотоэлектрический преобразователь?
6. Чем вызваны основные необратимые потери энергии в ФЭП?
7. Напишите соотношение для вычисления номера атмосферной массы.
8. Какой спектр используют для расчета солнечных элементов орбитальных аппаратов?

В отчете предоставить:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.

3. Ход работы.
4. Расчеты (если есть).
5. Графики.
6. Ответы на вопросы.
7. Выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

Цель: определить и исследовать вольт-амперные характеристики (ВАХ) солнечной батареи в зависимости от нагрузки.

Теоретические сведения

Вольт-амперная характеристика — зависимость тока проходящего через цепь от напряжения на этой цепи [10]. Описывает поведение цепи на постоянном токе. А также функция выражающая (описывающая) эту зависимость. А также - график этой функции. Чаще всего рассматривают ВАХ нелинейных элементов (степень нелинейности определяется коэффициентом нелинейности $\beta = \frac{U}{I} \cdot \frac{dI}{dU}$ поскольку для линейных элементов ВАХ представляет собой прямую линию (описываемую законом Ома) и не представляет особого интереса. Солнечный модуль может работать при любой комбинации напряжения и тока. Однако в реальности модуль работает в одной точке в данное время. Эта точка выбирается не модулем, а электрическими характеристиками цепи, к которой данный модуль (или солнечная батарея) подключен.

Напряжение, при котором ток равен 0, называется напряжением холостого хода (ХХ). С другой стороны, ток, при котором напряжение равно 0, называется током короткого замыкания (КЗ). В этих крайних точках ВАХ мощность модуля равна 0. Лучшее сочетание называется точкой максимальной мощности. Напряжение и ток в данный момент времени обозначаются как U и I . Для этой точки определяются мощность и КПД солнечного модуля.

Ход работы

Подготовка установки к работе:

Подключить один из модулей солнечных батарей к блоку управления (рисунок 1.4 ЛР1).

Установить солнечные батареи в вертикальное положение.

Разместить блок освещения напротив солнечных батарей исследуемого модуля.

При работе прожекторов солнечные батареи могут нагреваться до высоких температур, поэтому расстояние между прожекторами и поверхностью солнечных батарей не должно быть менее 0,5м. Следует учитывать, что максимальная температура работы солнечных батарей не должна превышать 80 °С (см. паспорт солнечных батарей).[3]

При сравнении различных солнечных элементов в качестве стандарта используется спектр излучения, соответствующий атмосферной массе AM1.5 нормализованный на суммарную плотность излучения 1 кВт/м².

В таблицу 3.1 занести данные исследуемой батареи.

Таблица 3.1 – Параметры батареи.

Параметр	Ед. изм.	Значение
Тип батареи	-	TSM-80A
Тип фотоэлементов	-	монокристаллические
Габаритная площадь	мм	770x675
Площадь фотоэлементов солнечной батареи	м ²	

Включить питание блока управления. Проверить работу термометров T1, T2.

Подключить питание блока освещения.

Включить обе секции прожекторов (автоматические выключатели в щитке блока освещения).

Установить блок освещения параллельно плоскости солнечных батарей на требуемое расстояние (рекомендуемое расстояние для данной работы 0,6...0,7 м).

Расстояние L отразить в таблице 3.2.

Определение характеристик:

Используя измеритель плотности теплового потока (если имеется) определить плотность потока излучения на поверхности батареи BL1 (см. рисунок 1) в четырех секторах. Данные занести в таблицу 2.

Используя люксметр определить освещенность поверхности батареи BL1 (см. рисунок 1) в четырех секторах. Данные занести в таблицу 3.2.

Рассчитать средние значения плотности излучения и освещенности на поверхности батареи.

Таблица 3.2 – Освещенность и интенсивность излучения на монокристаллической батарее

Расстояние L между блоком освещения и солнечной батареей	М	
Измеренная плотность излучения, Вт/м²		
Среднее значение интенсивности излучения	Вт/м ²	
Измеренная освещенность, лк		
Среднее значение освещенности	лк	

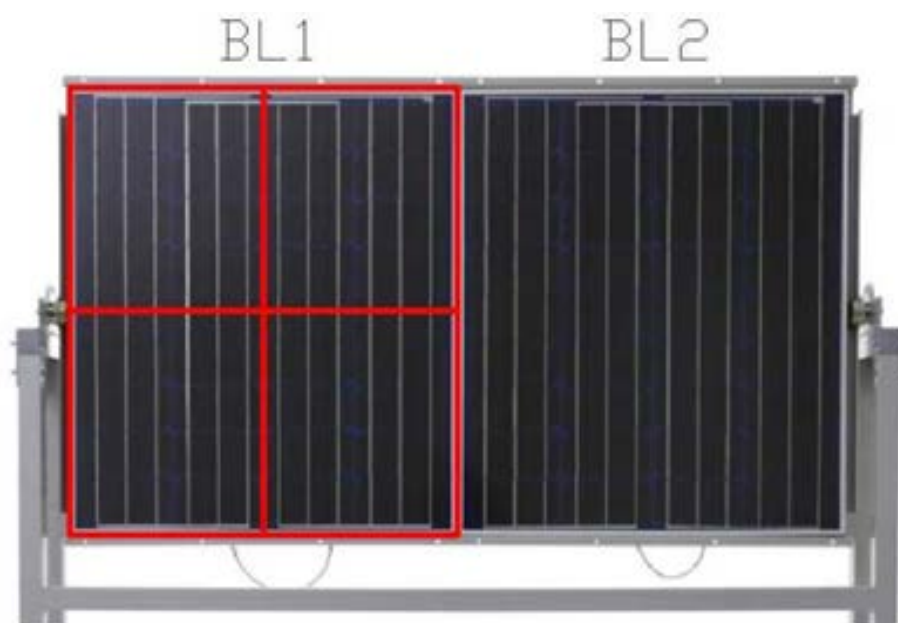


Рисунок 3.1 – Монокристаллическая батарея

Собрать на панели блока управления схемы как показано на рисунках 3.2, 3.3.

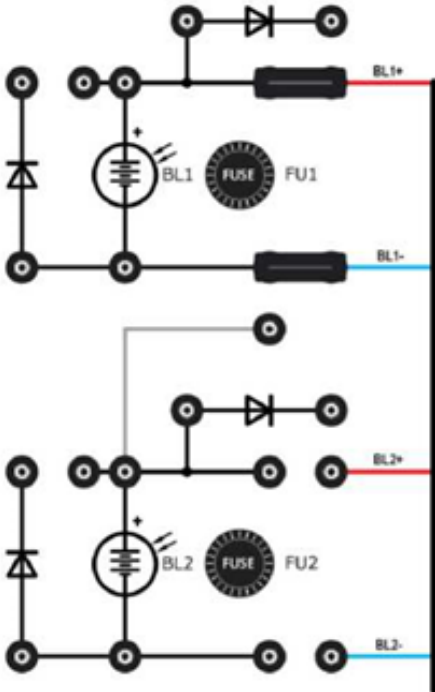


Рисунок 3.2

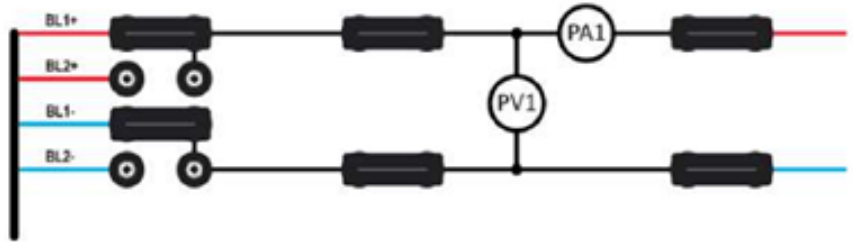


Рисунок 3.3

Провести опыт холостого хода (рисунок 3.4). При правильном подключении модуля прибор PV1 должен измерять напряжение холостого хода батареи BL1. При необходимости проверьте правильность подключения. Измеренное значение напряжения занести в таблицу 3.3.

Подключить нагрузку к выходу солнечной батареи (рисунок 3.5).

Провести серию опытов постепенно увеличивая нагрузку. Данные занести в таблицу 3. В таблице 3 в столбце «Нагрузка» приведены номера (для примера) положений переключателя ступенчатой резистивной нагрузки R1.

Последовательность переключения ступеней нагрузки, а также необходимость введения в цепь нагрузки дополнительных сопротивлений R1 и R2 должна определяться для каждого опыта исходя из условий освещенности для получения достаточного количества экспериментальных точек исследуемой характеристики.

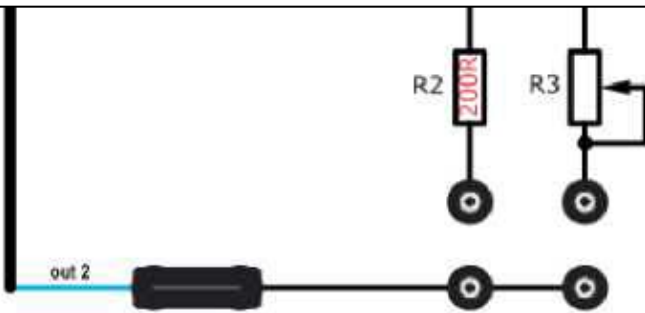


Рисунок 3.4 – Холостой ход

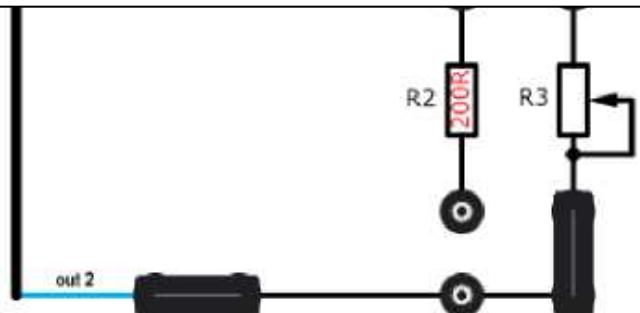


Рисунок 3.5 - Резистивная нагрузка

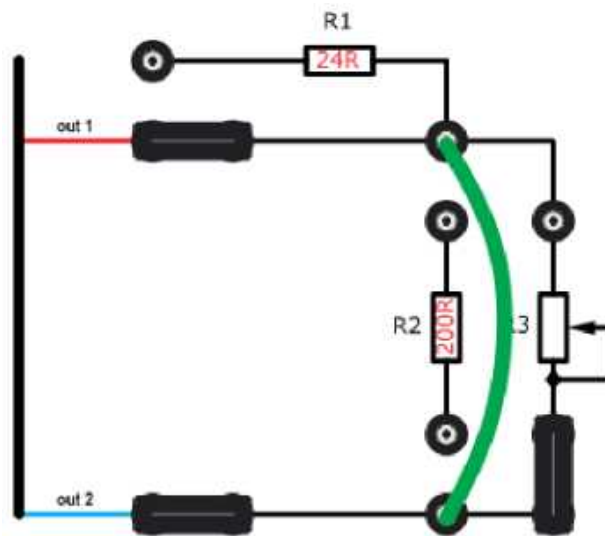


Рисунок 3.6 - Короткое замыкание

Провести опыт короткого замыкания (рисунок 3.6). Данные занести в таблицу 3.3.

Выключить прожекторы. Отодвинуть блок освещения на 1,5...2 м от солнечных батарей.

Таблица 3.3 – Вольт-амперные характеристики в зависимости от нагрузки

	Измерено			Вычислено		
	U	I	P	I%	P%	η
Нагрузка	B	A	Bт	-	-	-
XX						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
11						
K3						

По данным таблицы 3.3 определить максимальный ток и мощность батареи. Данные занести в таблицу 3.4.

Рассчитать плотность (8) облучения и КПД (7).

Параметры батареи из таблицы 3.3	Обозначение	Ед. изм.	Величина
максимальный ток	I_m	A	
максимальная мощность	P_m	Bт	
плотность облучения по (8)	I_p	Bт/м ²	
максимальный КПД по (7)	η_m	-	

Таблица 3.4 – Максимальные характеристики батареи

Относительная ток батареи:	
$I_{\%} = \frac{I}{I_m}$	(4)

Относительная мощность батареи:	
$P = \frac{P}{P_m}$	(5)
КПД солнечной батареи в зависимости от мощности:	
$\eta = \eta_m \frac{P}{P_m}$	(6)
Расчетный максимальный КПД:	
$\eta_m = \frac{P_m}{S \cdot I_{G(AM1.5)}}$	(7)

P_n	Вт	номинальная мощность (паспортная)
S	м ²	площадь фотоэлементов солнечной батареи или габаритная площадь
I_G	Вт/м ²	суммарная плотность излучения, для атмосферной массы AM1.5 равная 1 кВт/м ² .

Плотность облучения:	
$I_m = I_{G(AM1.5)} \cdot \frac{P_m}{P_n}$	(8)

Построить следующие характеристики: $U=f(I)$, $I=f(U)$, $P=f(U)$, $n=f(U)$.

Построить совмещенную характеристику батареи в относительных единицах: $I\%=f(U)$, $P\%=f(U)$, $n=f(U)$, (рисунок 3.7).

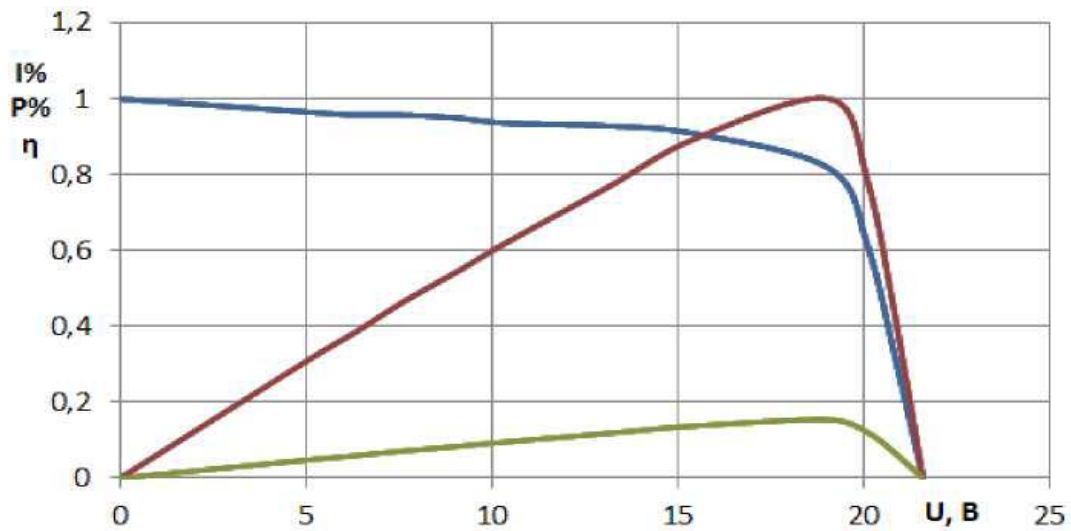


Рисунок 3.7 – График зависимости силы тока, мощности, КПД от напряжения ВАХ

Присоединить к блоку управления второй модуль солнечных батарей.

Повторить опыты для солнечных батарей с поликристаллическими солнечными элементами.

Выключить питание. Разобрать схемы на панели блока управления.

Контрольные вопросы

1. Что такое вольт-амперная характеристика?
2. Что такое напряжение холостого хода?
3. Что такое короткого замыкания?
4. Какова максимальная температура солнечных батарей?
5. Чему равна в крайних точках ВАХ мощность модуля?

В отчете предоставить:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Ход работы.
4. Расчеты (если есть).
5. Графики.

6. Ответы на вопросы.
7. Выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Цель: определить и исследовать вольт-амперные характеристики (ВАХ) солнечной батареи при параллельном соединении.

Теоретические сведения

Параллельное соединение солнечных панелей обеспечивает такое подключение моделей, при котором все элементы имеют два общих узла схождения или разветвления проводников [5, 8, 9]. То есть, в каком бы месте и последовательности не происходило соединение выводов солнечных батарей, все минусовые и плюсовые клеммы сойдутся в двух основных точках: соответственно плюс и минус. При параллельном подключении суммируются токи 2-х панелей, максимальное выходное напряжение будет ограничено панелью с меньшим напряжением на выходе.

Диод предотвращающий разряд аккумулятора через солнечную батарею при отсутствии достаточной освещенности для работы батареи (входит в состав контроллера заряда аккумулятора). При параллельном соединении модулей, каждый ряд модулей должен иметь блокирующий диод [4]. Это не только уменьшает нагрузку на отдельный диод, но и не позволяет току из одного параллельно соединенного ряда течь в ряд с меньшим током, что снижает потери, вызванные несоответствием при параллельном соединении рядов в батарее. При строительстве солнечной батареи больших размеров в виде матрицы (несколько столбцов и несколько строк) установка блокирующих диодов последовательно с каждым элементом позволяет автоматически «отключать» перегоревшие или затененные элементы солнечной батареи и сохранить ее работоспособность. Поэтому установка блокирующих диодов, показанных на рисунке 4.1, последовательно с каждым элементом (группой элементов) обязательна.

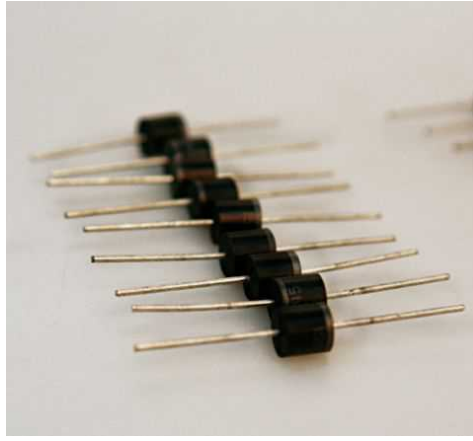


Рисунок 4.1 – Блокирующие диоды

Ход работы

Подготовить установку к работе (см. ЛР3). Установленное расстояние L отразить в таблице 4.1.

Повторить опыт по снятию характеристик одиночной батареи для BL1 (см. ЛР3). Данные занести в таблицу 4.2.

Собрать на панели блока управления схемы как показано на рисунках 4.2, 4.3.

Снять характеристику одиночной батареи BL2.

Данные занести в таблицу 4.2.

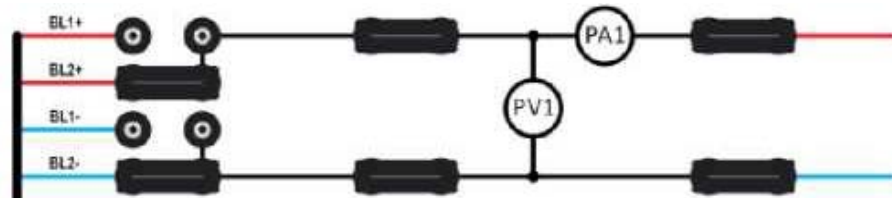


Рисунок 4.2

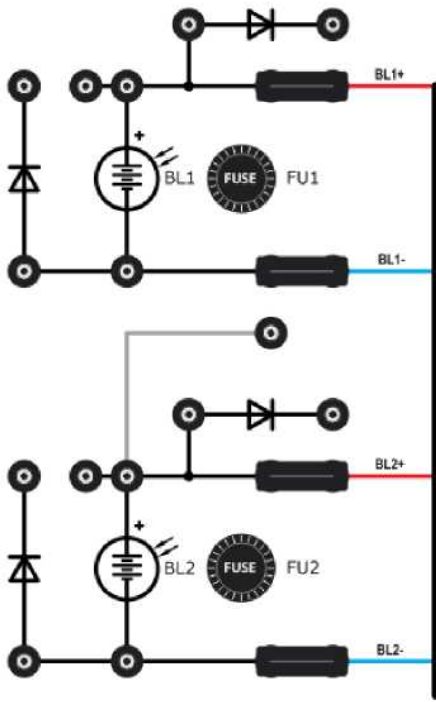


Рисунок 4.3

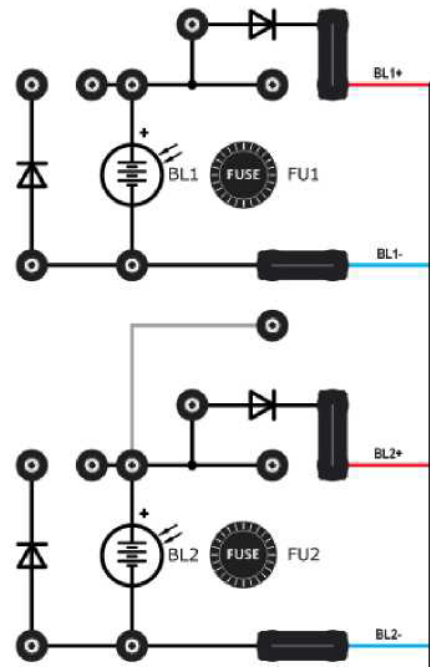


Рисунок 4.4

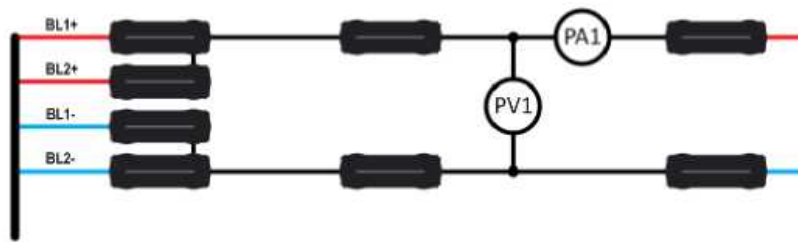


Рисунок 4.5

Собрать на панели блока управления схемы как показано на рисунках 4.4, 4.5.

Снять характеристики для случая параллельной работы BL1 и BL2. Данные занести в таблицу 4.3.

Собрать на панели блока управления схемы как показано на рисунках 4.4, 4.5.

Снять характеристики для случая параллельной работы BL1 и BL2 с применением блокирующих диодов. Данные занести в таблицу 4.3.

Выключить прожекторы. Отодвинуть блок освещения на 1,5...2 м от солнечных батарей.

На одном графике построить следующие характеристики: $U=f(I)$, $I=f(U)$, $P=f(I)$ для данных из таблиц 2, 3.

При необходимости повторить опыты для солнечных батарей с поликристаллическими солнечными элементами.

Выключить питание. Разобрать схемы на панели блока управления.

Таблица 4.1 – Расстояние между батареями.

Расстояние между прожекторами и батареей	L	M	
--	---	---	--

Таблица 4.2 – Одиночная характеристика BL2

	BL1			BL2		
	U	I	P	U	I	P
Нагрузка	B	A	Вт	B	A	Вт
XX						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
11						
K3						

Таблица 4.3 – Характеристика батарей, работающих параллельно и с блокирующими диодами.

	BL1и BL2 параллельно			BL1 и BL2 с диодами		
	U	I	P	U	I	P
Нагрузка	B	A	Вт	B	A	Вт
XX						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
11						
K3						

Контрольные вопросы.

1. Зачем нужно параллельное соединение солнечных батарей?
2. Постройте условную схему изображения параллельного соединения.
3. Зачем нужен блокирующий диод?
4. Чем будет ограничено максимальное выходное напряжение?

В отчете предоставить:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Ход работы.
4. Расчеты (если есть).
5. Графики.
6. Ответы на вопросы.
7. Выводы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ, БАЙПАСНЫЕ ДИОДЫ

Цель: определить и исследовать вольт-амперные характеристики солнечной батареи при последовательном соединении, выполнить наглядную демонстрацию работы байпасных диодов.

Теоретические сведения

Частичное затенение отдельного модуля в цепи может являться причиной протекания обратного тока через затененный модуль, вызывая локальный нагрев и снижая общую производительность цепи. Байпасный диод подключен параллельно с серией фотоактивных ячеек ФЭМ в прямом направлении протекания тока, ток цепи (в случае затенения) пройдет через диод, тем самым минимизируя нагрев модуля и потери в цепи, как на рисунке 5.1.

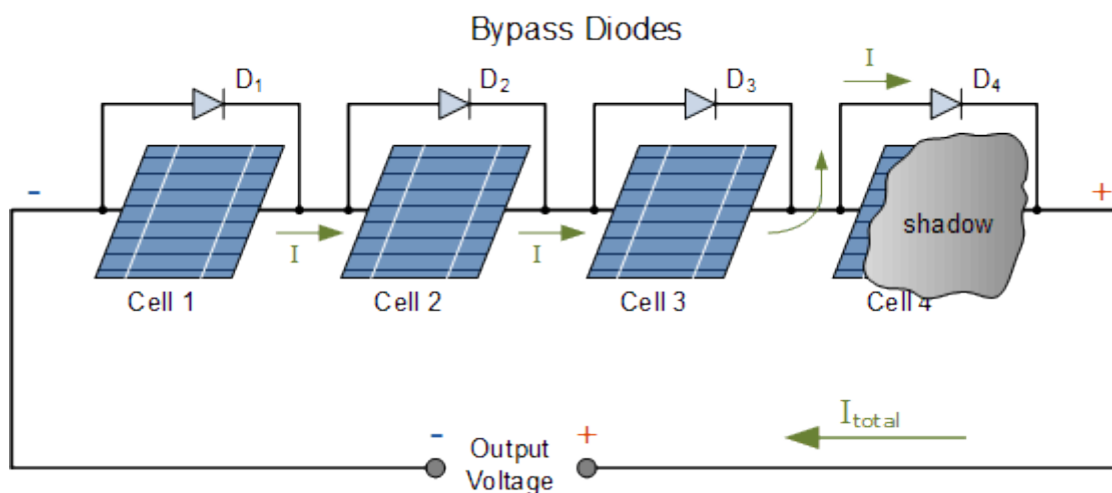


Рисунок 5.1

Последовательное соединение

Эта схема, рисунок 5.2, подразумевает соединение «плюса» первого модуля с «минусом» второго, и вывод внешних проводов от «минуса» первого фотомодуля и

«плюса» второго [5, 8, 9]. Не имеет значения, сколько солнечных панелей будет объединено в одну батарею. Главное – не нарушить принцип. «Плюс» первого на «минус» второго, «плюс» второго на «минус» третьего, «плюс» третьего на «минус» четвертого и т.д. Провода от незадействованных клемм («минус» первого модуля и «плюс» последнего) выводятся на контроллер или аккумулятор.

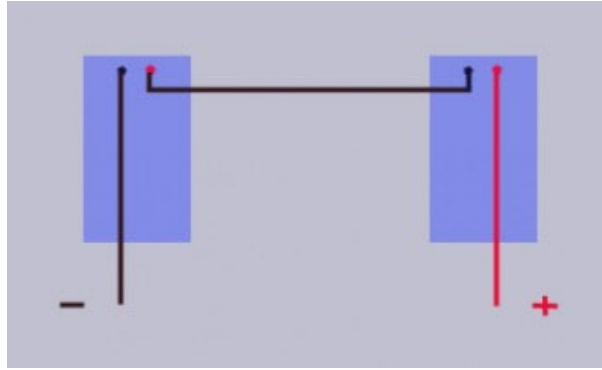


Рисунок 5.2

Ход работы

Подготовить установку к работе. Расстояние L привести в соответствие с ЛР4.

Снять характеристики одиночной батареи BL1 (рисунки 5.3, 5.4) и BL2 (рисунки 5.5, 5.6) или воспользоваться данными таблицы 5.2 из ЛР4. Данные занести в таблицу 1.

Собрать на панели блока управления схемы как показано на рисунках 5.7, 5.9.

Снять характеристики для случая последовательной работы BL1 и BL2. Данные занести в таблицу 5.2.

При необходимости снять характеристики для случая последовательной работы BL1 и BL2 с применением блокирующие диодов (схема на рисунке 5.8). Данные занести в таблицу 5.2.

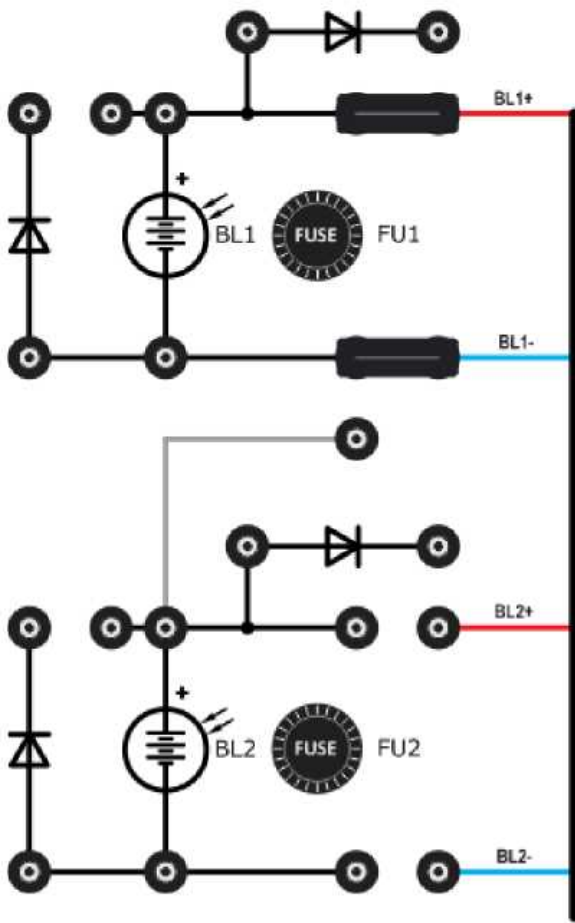


Рисунок 5.3

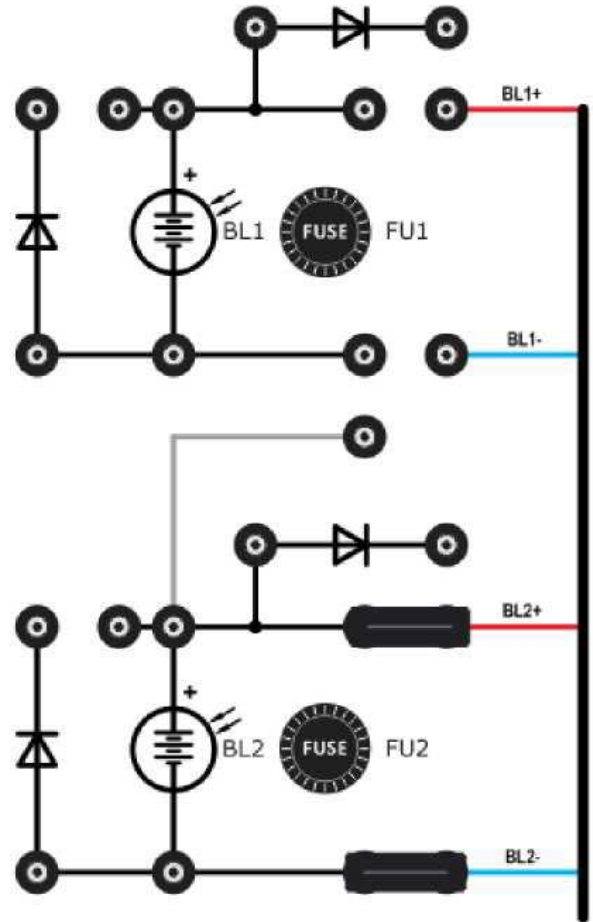


Рисунок 5.4

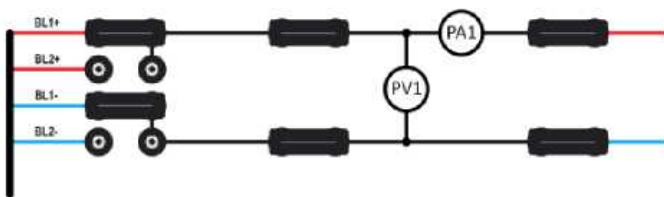


Рисунок 5.5

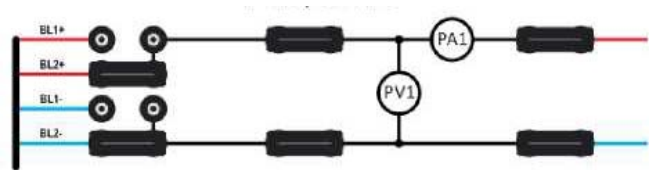


Рисунок 5.6

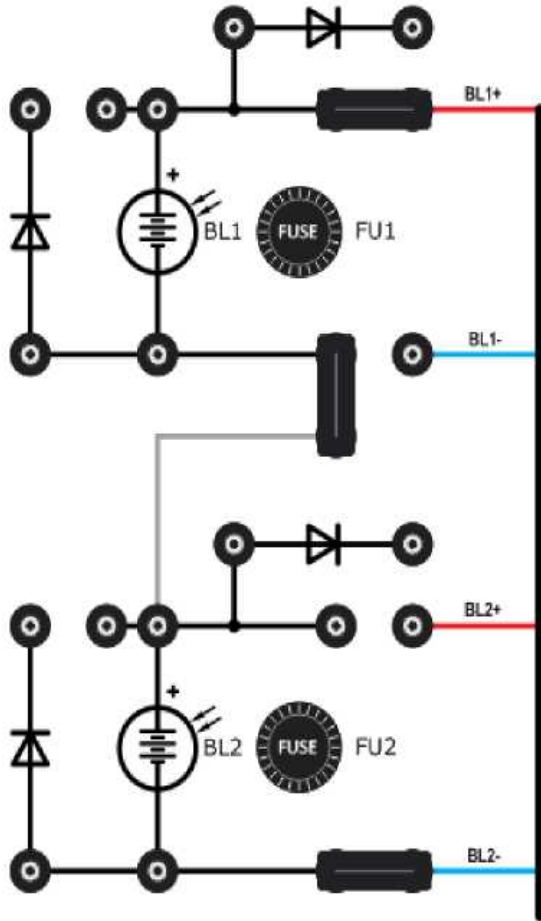


Рисунок 5.7

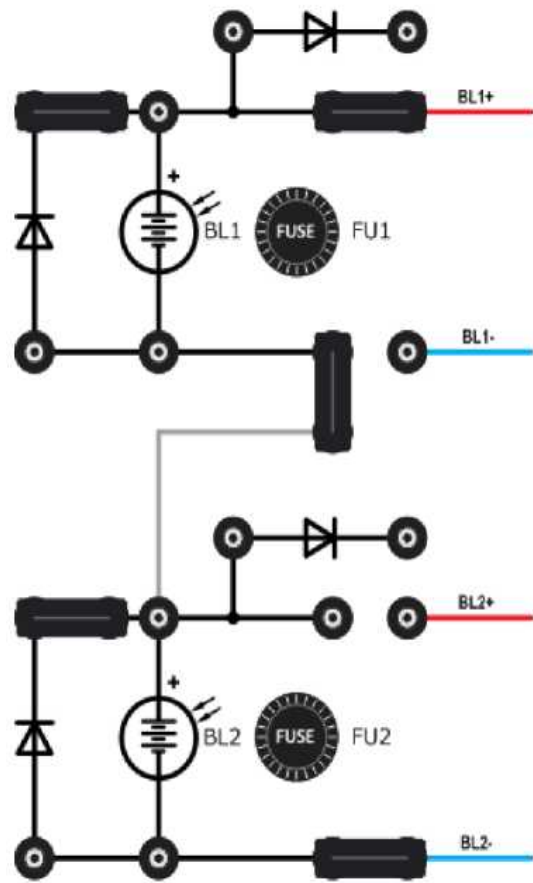


Рисунок 5.8

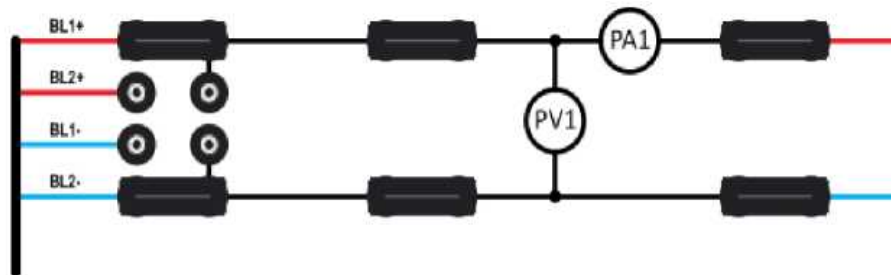


Рисунок 5.9

Выключить прожекторы. Отодвинуть блок освещения на 1,5...2 м от солнечных батарей.

На одном графике построить следующие характеристики: $U=f(I)$, $I=f(U)$, $P=f(I)$ для данных из таблиц 5.1, 5.2.

При необходимости повторить опыты для солнечных батарей с поликристаллическими солнечными элементами.

Расстояние между прожекторами и батареей	L	М	
--	---	---	--

Таблица 5.1

	BL1			BL2		
	U	I	P	U	I	P
Нагрузка	В	А	Вт	В	А	Вт
XX						
1						
2						
3						
4						
56в5						
6						
7						
8						
9						
11						
КЗ						

Таблица 5.2

	BL1 и BL2 последовательно			BL1 и BL2 последовательно с диодами		
	U	I	P	U	I	P
Нагрузка	В	А	Вт	В	А	Вт
XX						
R1+1						
R1+2						
R1+4						
R1+6						
2						
3						
4						
8						
КЗ						

Затенение части последовательно работающих батарей

Подготовить установку к работе.

Собрать на панели блока управления схемы как показано на рисунках 5.7, 5.9.

Отключить освещение батареи BL2 (выключить одну секцию прожекторов).

Снять характеристики для случая последовательной работы BL1 и BL2 при освещении только BL2. Данные занести в таблицу 5.3.

Снять характеристики для случая последовательной работы BL1 и BL2 с применением байпасных диодов (схема на рисунке 5.6).

Данные занести в таблицу 5.4.

Выключить прожекторы. Отодвинуть блок освещения на 1,5...2 м от солнечных батарей.

На одном графике построить следующие характеристики: $U=f(I)$, $I=f(U)$, $P=f(I)$ для данных из таблицы 5.3.

При необходимости повторить опыты для солнечных батарей с поликристаллическими солнечными элементами.

Таблица 5.3

	BL1 и BL2 последовательно			BL1 и BL2 последовательно с диодами		
	U	I	P	U	I	P
Нагрузка	В	А	Вт	В	А	Вт
XX						
R1+1						
R1+2						
R1+4						
R1+6						
2						
3						
4						
8						
КЗ						

Наглядная демонстрация работы байпасных диодов

Подготовить установку к работе.

Собрать на панели блока управления схемы как показано на рисунках 5.10...12.

Блок освещения установить на расстояние L (см. выше). При этом должны гореть лампы HL на панели.

Отключить освещение батареи BL2. Лампы HL продолжают гореть с пониженной яркостью.

Отключить (извлечь перемычки) байпасные диоды с батареями BL1 и BL2.

Лампы потухнут вследствие прекращения протекания тока через затененную батарею (рисунок 5.13).

Выключить прожекторы. Отодвинуть блок освещения на 1,5...2 м от солнечных батарей.

Выключить питание. Разобрать схемы на панели блока управления.

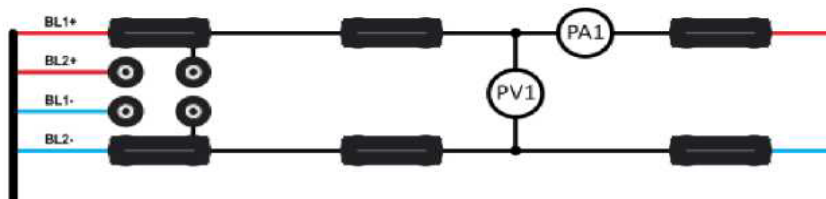


Рисунок 5.10

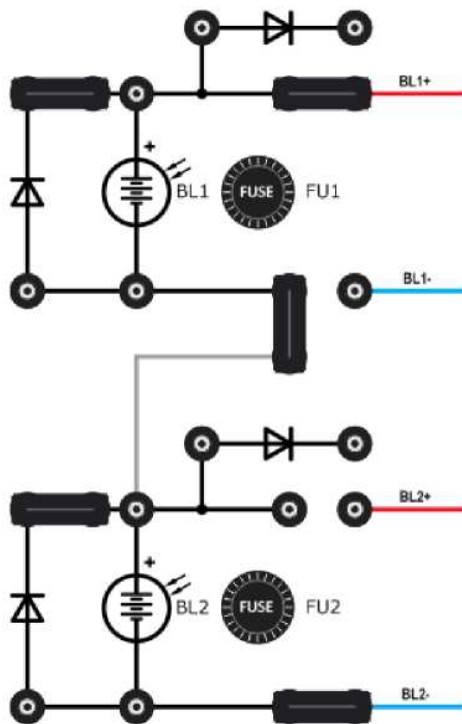


Рисунок 5.11

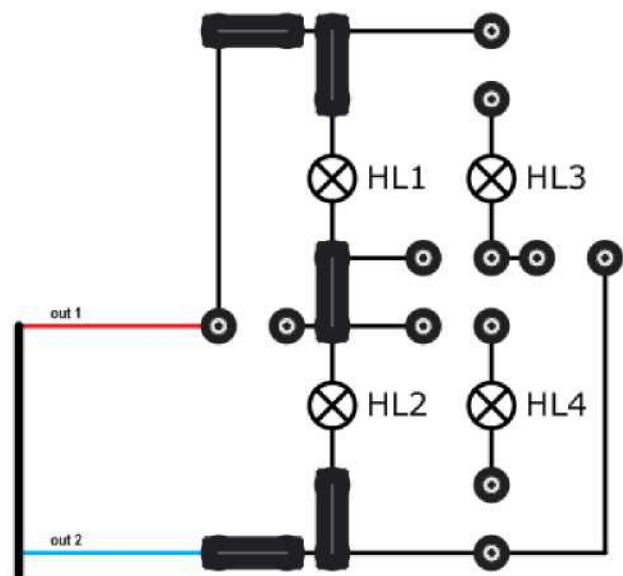
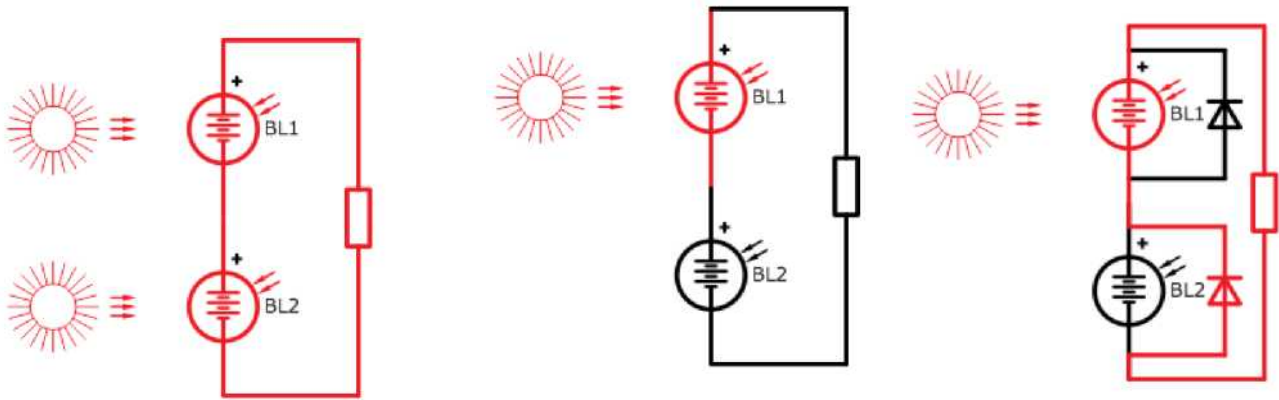


Рисунок 5.12 – Схема нагрузки для наглядной демонстрации



Освещены обе батареи

Одна батарея

Ток течет через диод

Рисунок 5.13

Контрольные вопросы:

1. Как выполняется последовательное соединение?
2. Постройте условную схему изображения последовательного соединения.
3. Зачем нужен байпасный диод?
4. Как подключается байпасный диод?

В отчете предоставить:

8. Титульный лист.
9. Цель работы.
10. Ход работы.
11. Расчеты (если есть).
12. Графики.
13. Ответы на вопросы.
14. Выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ ОБЛУЧЕНИЯ, УГЛА ПАДЕНИЯ ЛУЧЕЙ И ТЕМПЕРАТУРЫ

Цель: определить и исследовать характеристики солнечных батарей в зависимости от интенсивности облучения, угла падения лучей и температуры.

Теоретические сведения

Температурная чувствительность напряжения холостого хода

При увеличении температуры эффективность солнечных батарей снижается [3]. С ростом температуры поток электронов нарастает, что вызывает увеличение силы тока и падение напряжения. Падение напряжения при этом больше, чем увеличение силы тока. Поэтому общая мощность уменьшается, что приводит к тому, что панель работает с меньшей эффективностью.

Вольт-амперные характеристики солнечных батарей в зависимости от угла наклона (угла падения лучей)

Солнечные панели наиболее эффективно работают, когда они направлены на солнце и их поверхность перпендикулярна солнечным лучам [2, 6]. Солнечные панели обычно располагаются на крыше или поддерживающей конструкции в фиксированном положении и не могут следить за положением солнца в течение дня. Угол между горизонтальной плоскостью и солнечной панелью обычно называют углом наклона.

Вследствие движения Земли вокруг Солнца, имеют место также сезонные вариации. Зимой солнце не достигает того же угла, как летом. В идеале, солнечные

панели должны располагаться летом более горизонтально, чем зимой. Поэтому угол наклона для работы летом выбирается меньше, чем для работы зимой. Если нет возможности менять угол наклона дважды в год, то панели должны располагаться по оптимальному углу, значение которого лежит где-то посередине между оптимальными углами для лета и зимы. Для каждой широты есть свой оптимальный угол наклона панелей. Только для местностей около экватора солнечные панели должны располагаться горизонтально.

Обычно принимается для весны и осени оптимальный угол наклона равным значению широты местности. Для зимы к этому значению прибавляется 10-15 градусов, а летом от этого значения отнимается 10-15 градусов. Поэтому обычно рекомендуется менять дважды в год угол наклона с "летнего" на "зимний". Если такой возможности нет, то угол наклона выбирается примерно равным широте местности. Пояснение показано на рисунке 6.1.

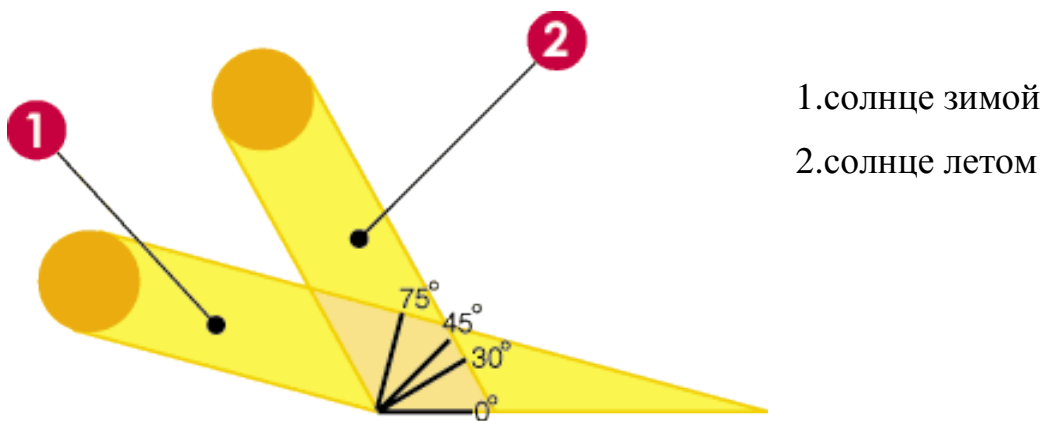


Рисунок 6.1 – Оптимальный угол наклона зимой и летом

Небольшие отклонения до 5 градусов от этого оптимума оказывают незначительный эффект на производительность модулей. Различие в погодных условиях более влияет на выработку электричества. Для автономных систем оптимальный угол наклона зависит от месячного графика нагрузки, т.е. если в данном месяце потребляется больше энергии, то угол наклона нужно выбирать оптимальным именно для этого месяца. Также, нужно учитывать, какое есть затенение в течение дня. Например, если с восточной стороны у вас дерево, а с западной все чисто, то, скорее всего, имеет смысл сместить ориентацию с точного юга на юго-запад.

Таблица 6.1 – Потери выработки вследствие отражения (в процентах к перпендикулярному направлению на модуль)

Угол падения лучей света	Потери
9	1.2%
18	4.9%
40	19.0%
45	29.0%

Оптимальный угол наклона для широты 52 градуса (северной широты) для соединенных с сетью систем составляет 36 градусов. Однако, для автономной системы с примерно равной потребностью в энергии в течение года, оптимальный угол наклона будет составлять около 65-70 градусов.

Вольт-амперные характеристики солнечных батарей в зависимости от интенсивности облучения

Мощность солнечных энергетических систем зависит от интенсивности солнечного излучения. Если интенсивность солнечного излучения мала или отсутствует вовсе, то мощность солнечных панелей снижается. Для того, чтобы уменьшить влияние этого недостатка, солнечные батареи снабжают аккумуляторами, которые, накопив энергию днем, в ночное время отдают свою энергию потребителю. Интенсивность – это мощность лучистой энергии, приходящей за пределами земной атмосферы в секунду на квадратный метр площадки, перпендикулярной солнечным лучам. Поток солнечного излучения, проходящий через площадку в 1 м^2 , расположенную перпендикулярно потоку излучения на расстоянии одной астрономической единицы от центра Солнца (вне атмосферы Земли), равен 1367 Вт/м^2 (солнечная постоянная). Из-за поглощения атмосферой Земли, максимальный поток солнечного излучения на уровне моря – 1020 Вт/м^2 . В средних широтах в дневное время значение потока солнечного излучения достигает 800 Вт/м^2 летом, снижаясь до $250\text{-}300 \text{ Вт/м}^2$ зимой. Ночью это значение равно 0. Как правило, в ночное время суток потребление электроэнергии снижается и, если речь идет об автономных

гелиосистемах обеспечения электроэнергией, запаса энергии вполне хватает для обеспечения потребностей в электроэнергии ночью.

Ход работы

Температурная чувствительность напряжения холостого хода

Подготовить установку к работе. Прожекторы не включать.

Блок освещения установить на расстояние L равное 0,5м.

Собрать на панели блока управления схемы как показано на рисунках 6.2, 6.3.

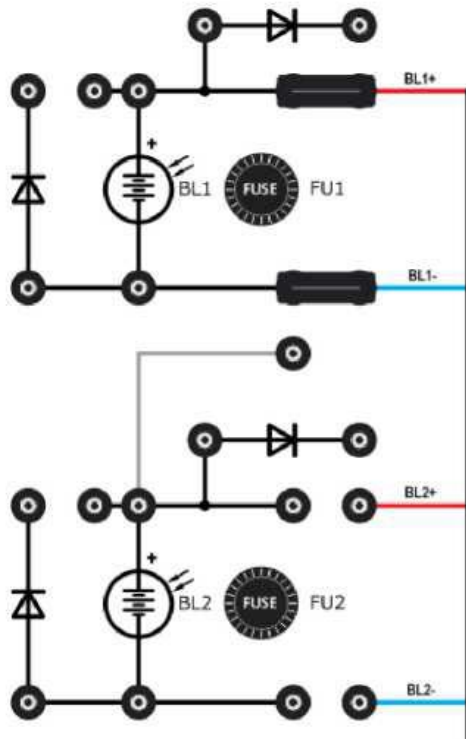


Рисунок 6.2

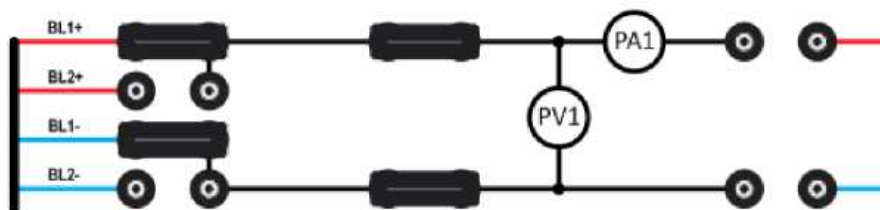


Рисунок 6.3

Пред началом опыта температура батарей не должна превышать 25 °С (идеально 20 °С).

Занести в таблицу 6.2 значение начальной температуры.

Включить прожекторы.

На фиксированных отрезках времени определить установившуюся температуру батареи и напряжение холостого хода. Данные занести в таблицу 6.3.

Выключить прожекторы. Отодвинуть блок освещения на 1,5...2 м от солнечных батарей.

При работе прожекторов солнечные батареи могут нагреваться до высоких температур. Следует учитывать, что максимальная температура работы солнечных батарей не должна превышать 80 °С (см. паспорт солнечных батарей).

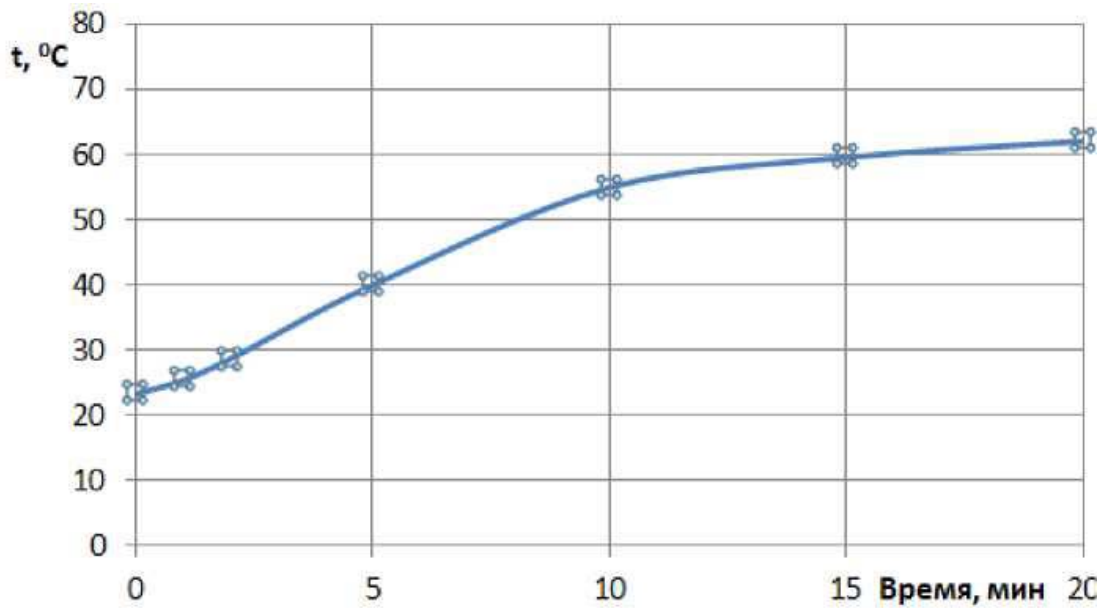
Таблица 6.2

Время	Температура	Напряжение
-	t	U_{xx}
мин	°С	В
0		
1		
2		
5		
10		
15		
20		

Построить характеристику нагрева (кривую нагрева) для данных из таблицы 6.1 (рисунок 6.4).

Построить зависимость $U_{xx}=f(t)$ (рисунок 6.5).

На графике выбрать относительно ровный участок между двумя точками (показано на рисунке 6.4).



+Рисунок 6.4

Рассчитать коэффициент зависимости напряжения холостого хода от температуры по (9).

Зависимость напряжения холостого хода от температуры [В/°C]:	
$V_{O(t)} = \frac{U_{XX2} - U_{XX1}}{t_2 - t_1}$	(9)

U_{XX1} В напряжение холостого хода в начальной точке

U_{XX2} В напряжение холостого хода в конечной точке

t_1 °C средняя температура батареи в начальной точке

t_2 °C средняя температура батареи в конечной точке

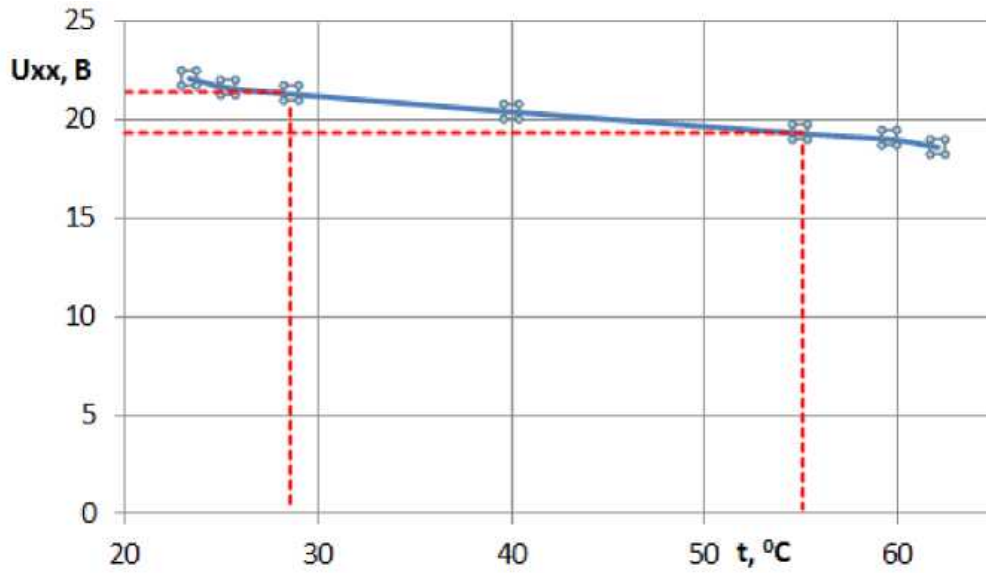


Рисунок 6.5

Вольт-амперные характеристики солнечных батарей в зависимости от угла наклона (угла падения лучей)

Подготовить установку к работе.

Собрать на панели блока управления схемы как показано на рисунках 6.6, 6.7.

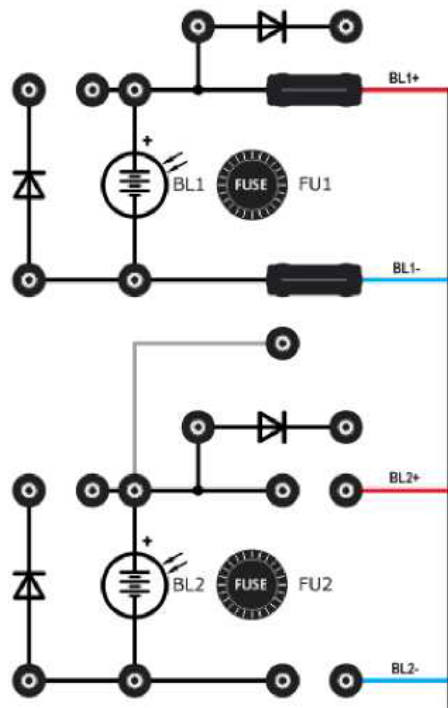


Рисунок 6.6

Вольт-амперные характеристики солнечных батарей в зависимости от интенсивности облучения

Подготовить установку к работе.

Расстояние L установить равным 0,6...0,8 м. Данные занести в таблицу 3.

Используя измеритель плотности теплового потока (если имеется) определить плотность потока излучения на поверхности батареи BL1 (см. ЛР 3) в четырех секторах.

Используя люксметр определить освещенность поверхности батареи BL1 в четырех секторах.

Рассчитать средние значения плотности излучения и освещенности на поверхности батареи. Данные занести в таблицу 6.4.

Снят характеристики одиночной батареи BL1. Данные занести в таблицу 4.

Увеличить расстояние L, например на 0,2 м.

Повторить пункты 3...6.

Повторить пункты 2...6 для других величин расстояния L.

Выключить прожекторы. Отодвинуть блок освещения на 1,5...2 м от солнечных батарей.

На одном графике построить характеристики $U=f(I)$ для данных из таблицы 6.4.

Выключить питание. Разобрать схемы на панели блока управления.

Таблица 6.4

	Расстояние, м	Измеренная плотность излучения, Вт/м ²	Измеренная освещенность, лк
L1			
L2			
L3			
L4			

Таблица 6.5

	Расстояние							
	L1=		L2=		L3=		L4=	
Нагрузка	I, А	U, В	I, А	U, В	I, А	U, В	I, А	U, В
XX								
1								
2								
3								
5								
8								
КЗ								

Контрольные вопросы

1. Как зависит эффективность солнечной батареи от температуры?
2. Почему с ростом температуры напряжение в цепи падает?
3. Какой самый оптимальный угол наклона солнечной батареи?
4. Для какой поры года выбирается меньший угол?
5. С какой целью солнечные батареи снабжают аккумуляторами?
6. Что такое интенсивность?

В отчете предоставить:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Ход работы.
4. Расчеты (если есть).
5. Графики.
6. Ответы на вопросы.
7. Выводы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Измеритель плотности теплового потока ИПП-2. Руководство по эксплуатации и паспорт ТФАП.405126.003 РЭ
2. Некоторые вопросы о солнечных батареях [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: [\[http://avtonom.com.ua/stati/towari_alternativnoy_energetiki/solnechnie_batarei/davajte-vkrattse-razberem-nekotorye-voprosy-o-solnechnyh-batarejah\]](http://avtonom.com.ua/stati/towari_alternativnoy_energetiki/solnechnie_batarei/davajte-vkrattse-razberem-nekotorye-voprosy-o-solnechnyh-batarejah). – Дата доступа: [15.09.2016].
3. Влияние температуры на эффективность солнечных батарей [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: [\[http://gws-energy.ru/blog/40-vliyanie-temperatury-na-effektivnost-solnechnykh-batarej\]](http://gws-energy.ru/blog/40-vliyanie-temperatury-na-effektivnost-solnechnykh-batarej). – Дата доступа: [24.09.2016].
4. Блокирующий диод [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: [\[http://greenevolution.ru/enc/wiki/blokiruyushhij-diod/\]](http://greenevolution.ru/enc/wiki/blokiruyushhij-diod/). – Дата доступа: [26.09.2016].
5. Способы соединения солнечных модулей [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: [\[http://ekobatarei.ru/sdelaj_sam/sposoby-soedineniya-solnechnyx-modulej\]](http://ekobatarei.ru/sdelaj_sam/sposoby-soedineniya-solnechnyx-modulej). – Дата доступа: [30.09.2016].
6. Угол наклона солнечных батарей [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: [\[http://www.solarhome.ru/basics/pv/techtilt.htm\]](http://www.solarhome.ru/basics/pv/techtilt.htm). – Дата доступа: [04.10.2016].
7. Разбираемся в многообразии видов солнечных панелей в батареях [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: [\[http://altenergiya.ru/sun/mnogoobrazie-vidov-solnechnyx-panelej.html\]](http://altenergiya.ru/sun/mnogoobrazie-vidov-solnechnyx-panelej.html). – Дата доступа: [12.10.2016].
8. Как правильно подключать солнечные панели разной мощности и напряжения [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: [\[http://www.itdufa.ru/public/2174/\]](http://www.itdufa.ru/public/2174/). – Дата доступа: [15.10.2016].

9. Как подключить солнечные батареи: схемы и пояснения [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: [\[http://solarb.ru/kak-podklyuchit-solnechnye-batarei-skhemu-i-poyasneniya/\]](http://solarb.ru/kak-podklyuchit-solnechnye-batarei-skhemu-i-poyasneniya/). – Дата доступа: [15.10.2016].
10. Солнечная энергетика [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: [\[http://portal.tpu.ru/SHARED/n/NASA/Education/NiVIE/Tab/p2.pdf/\]](http://portal.tpu.ru/SHARED/n/NASA/Education/NiVIE/Tab/p2.pdf/). – Дата доступа: [15.10.2016].